

Малькова Н.Ю.^{1,2}, Петрова М.Д.¹

Вопросы отечественного и международного нормирования лазерной безопасности для населения (обзор литературы)

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 191015, Санкт-Петербург, Россия

Введение. В статье представлен анализ существующей на сегодняшний день российской и иностранной литературы по вопросу отечественного и международного нормирования лазерной безопасности для населения.

Цель исследования – поиск информации и анализ отечественного и международного опыта в области нормирования уровней лазерного излучения для населения.

Проведён обзор доступных научных российских и иностранных литературных источников и нормативных документов. Поиск и отбор источников был осуществлён с использованием открытых баз данных PubMed и РИНЦ. Отечественные гигиенические нормативы лазерного излучения для непрерывного лазерного излучения в спектральном диапазоне 380–1400 нм являются на порядок более жёсткими, чем нормативы, применяемые за рубежом. В то же время при разработке ПДУ не учитывалась возможность действия излучения на население и слепящий эффект. Зарубежные и отечественные авторы отмечают особенности действия лазерного излучения видимой области спектра, в том числе его способность беспрепятственно проходить через оптические среды глаза и повреждать сетчатку и прилегающие ткани. Анализ нормативных документов показал ряд различий в нормировании российских и международных стандартов, а также несоответствие и размытость требований в существующих санитарно-эпидемиологических документах.

Заключение. Существующие стандарты порой противоречат друг другу, что мешает грамотной оценке опасности лазера и лазерной системы, поэтому пересмотр существующей нормативной базы лазерной безопасности для населения является актуальной задачей, решение которой позволит минимизировать негативные изменения со стороны органа зрения у лиц, не связанных профессионально с действием лазерного излучения, и качественно улучшить гигиеническую оценку лазерного излучения.

Ключевые слова: лазерное излучение; нормирование лазерной безопасности; обзор

Для цитирования: Малькова Н.Ю., Петрова М.Д. Вопросы отечественного и международного нормирования лазерной безопасности для населения (обзор литературы). *Гигиена и санитария*. 2021; 100 (8): 787–791. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-787-791>

Для корреспонденции: Малькова Наталья Юрьевна, доктор биол. наук, гл. науч. сотр. отд. комплексной гигиенической оценки физических факторов ФБУН «Северо-Западный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург. E-mail: lasergmal@mail.ru

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Участие авторов: Малькова Н.Ю. – концепция и дизайн исследования, анализ и интерпретация данных, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи; Петрова М.Д. – сбор и анализ данных, написание текста, редактирование.

Поступила 30.03.2021 / Принята к печати 09.07.2021 / Опубликована 31.08.2021

Natalia Yu. Mal'kova^{1,2}, Milena D. Petrova¹

Issues of domestic and international regulation of laser safety for the population (literature review)

¹North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation;

²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St.-Petersburg, 191015, Russian Federation

Introduction. The article presents an analysis of the existing Russian and foreign literature on the issue of domestic and international regulation of laser safety for the population.

Purpose. Search for information and analysis of domestic and international experience in the field of regulation of laser radiation levels for the population.

The review of available scientific Russian and foreign literary sources and regulatory documents is carried out. The search and selection of sources was carried out using the open databases PubMed and RSCI. The domestic hygienic standards for continuous laser radiation in the spectral range of 380–1400 nm are much more stringent than the standards applied abroad given in IEC-1. At the same time, when developing standards for maximum permissible levels, the possibility of radiation acting on the population and the blinding effect were not taken into account. Foreign and domestic authors note the peculiarities of the effect of laser radiation in the visible region of the spectrum, including its ability to pass freely through the optical media of the eye and damage the retina and adjacent tissues. The analysis of regulatory documents showed a number of differences in the normalization of Russian and international standards, as well as the discrepancy and vagueness of requirements in existing sanitary and epidemiological documents.

Conclusion. Existing standards sometimes contradict each other, which prevents a competent assessment of the danger of the laser and the laser system, so the revision of the existing regulatory framework for laser safety for the public is an urgent task, the solution of which will minimize negative changes on the part of the visual organ in persons who are not professionally connected with the action of laser radiation and qualitatively improve the hygienic assessment of laser radiation.

Keywords: laser radiation; standardization of laser safety; review

For citation: Mal'kova N.Yu., Petrova M.D. Issues of domestic and international regulation of laser safety for the population (literature review). *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100 (8): 787–791. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-8-787-791> (In Russ.)

For correspondence: Natalia Yu. Mal'kova, MD, PhD, DSci., chief researcher of department of complex hygienic assessment of physical factors of North-West Public Health Research Center, St.-Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: lasergmal@mail.ru

Information about authors: Mal'kova N.Yu., <https://orcid.org/0000-0002-0426-8851> Petrova M.D., <https://orcid.org/0000-0001-5506-6523>

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Contribution: Mal'kova N.Yu. – the concept and design of the study, data collection and analysis, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Petrova M.D. – data collection and analysis, writing a text, editing.

Received: March 30, 2021 / Accepted: July 9, 2021 / Published: August 31, 2021

Введение

Развитие современных лазерных технологий и их внедрение в различные области науки и техники позволило лазерам широко войти в повседневный быт человека, а также в сферу культуры, изобразительного искусства и шоу индустрии [1, 2]. Разнообразие вариантов использования лазерного излучения (ЛИ) привело к появлению лиц, которые профессионально не связаны с действием лазерного излучения, но подвергаются случайному облучению. Расширение круга контактирующих с излучением лиц способствовало появлению случаев негативного влияния ЛИ на человека во время использования лазерного оборудования в концертных и театральном-зрелищных мероприятиях, на дискотеках.

Цель исследования – поиск и анализ отечественного и международного опыта нормирования уровней лазерного излучения для населения.

Основная часть

Проведён обзор доступных научных иностранных и российских литературных источников и нормативных документов. Поиск и отбор источников осуществлён с использованием открытых баз данных PubMed и РИНЦ.

В отличие от лазерных установок, предназначенных для промышленного использования, в которых можно встретить почти весь спектральный диапазон излучения, в оборудовании, используемом в быту, в силу специфики применения предпочтение отдаётся видимому диапазону излучения. Хотя в отличие от УФ- и ИК-диапазонов излучения возможность видеть луч снижает вероятность случайного попадания, но не исключает её.

Принцип взаимодействия лазерного излучения с биологическими средами состоит в том, что при определённых условиях происходит поглощение света хромофорами различных биологических структур и последующий процесс преобразования световой энергии в тепловую [3].

Основными хромофорами, взаимодействующими с лазерным светом в организме человека, являются меланин, гемоглобин, оксигемоглобин и вода [4, 5]. Каждый хромофор обладает своим коэффициентом поглощения волн разной длины, зависящим от теплопроводности вещества, и именно этот фактор определяет, какое воздействие будет оказано на ту или иную ткань-мишень. Однако вследствие переноса тепла происходит нагревание и соседних областей, даже если они содержат мало светопоглощающих хромофоров [6, 7], что обуславливает неспецифическое действие ЛИ.

Вода может составлять до 90% тканей анатомических структур зрительной системы человека. Это определяет спектральную зависимость оптического пропускания нормального глаза человека на участке от роговицы до пигментного слоя сетчатки (ретиальный пигментный эпителий – РПЭ). При прямом попадании в глаз лазерного луча с длиной волны в видимой области спектра ЛИ беспрепятственно проходит через оптические среды глаза (роговицу, влагу передней камеры, хрусталик и стекловидное тело) и достигает сетчатой оболочки. РПЭ содержит мелано-протеиновые гранулы, поглощающие основную часть попавшего в глаз видимого излучения. Именно этот участок повреждается в первую очередь [8]. Сетчатка поглощает около 10% коротковолнового сине-зелёного излучения, при этом опасность повреждения нервных волокон сетчатки в макулярной области ещё более возрастает, поскольку жёлтый пигмент интенсивно поглощает сине-зелёное (особенно синюю составляющую) излучение. Поэтому синие лазеры и считаются более опасными для органа зрения [9].

Известно, что лазерное излучение большой интенсивности повреждает все слои сетчатки: возникают ожоги сетчатки, кровоизлияния в сетчатку и прилегающие ткани, в дальнейшем на месте ожога формируется рубец, ведущий к стойкому снижению зрения. Такое излучение используется

в так называемых бытовых лазерах, доступных широкому кругу пользователей. Данные исследований указывают на то, что за счёт эффекта фокусирования плотность потока энергии на сетчатке может быть в 4–5 (до 10) раз выше, чем на роговице глаза, что может приводить к карбонизации, абляции тканей и фоторазрыву [10, 11]. Следовательно, даже «безопасные» мощности ЛИ при попадании в глаз могут вызывать серьёзные травмы, в том числе в диффузно рассеянном лазерном свете при соответствующей мощности лазера.

Нередко люди недостаточно осведомлены об их серьёзной опасности для глаз в случаях пренебрежения правилами безопасности.

Уже классическим стал пример активации каталазы в результате поглощения красного света гелий-неонового лазера её хромофорной группой [12, 13]. При облучении глаза кроликов излучением гелий-неонового лазера (10 дней) в сетчатке и пигментом эпителии наблюдалось повышение суммарного содержания SH-групп и соответственно соотношения SH/SS, а также активности ферментов глутатионредуктазы, супероксиддисмутазы и каталазы в 1,5–2,5 раза [14].

Интересно отметить, что зелёный лазер (0,53 мкм) не влиял на активность каталазы ни в пигментном эпителии, ни в сетчатке, незначительно снижая активность СОД только в пигментном эпителии. Тиолдисульфидная система сохраняла стабильное состояние в обеих тканях глаза [15].

Облучение глаза кролика светом синего лазера приводило к резкому сдвигу в сторону окисления в тиолдисульфидной системе сетчатки и к выраженным фазовым изменениям редокс-равновесия в пигментном эпителии. Все эти факты позволяют рассматривать синий лазер скорее как повреждающий, чем стимулирующий фактор, поскольку имеет место окислительная модификация SH-групп белков как в органе-мишени, так и в крови [16].

Возможность безопасного применения ЛИ обеспечена в нашей стране соответствующей нормативной базой лазерной безопасности, которая состоит из следующих нормативных документов, входящих в область действия государственной системы технического регулирования, предусмотренной Федеральным законом «О техническом регулировании» от 27.12.2002 г. № 184-ФЗ:

- ГОСТ 12.1.040-83 «ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения»;
- ГОСТ 31581-2012 «Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий»;
- ГОСТ Р 12.1.031-2010 «ССБТ. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения».

Кроме того, в нормативную базу были включены следующие базовые санитарно-гигиенические нормативные документы (СГ НД), входящие в область действия Федерального закона «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения» от 30.03.1999 г. № 52-ФЗ:

- СанПин 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» (далее – СН № 5804);
- «Единые санитарно-эпидемиологические и гигиенические требования к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) на таможенной границе и таможенной территории Таможенного союза» (далее – ЕСГТ);
- СанПиН 2.2.4.3359-16 «Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах».

В настоящее время в отечественном нормировании в области лазерной безопасности наибольшее внимание уделяется оценке фактора на рабочем месте, а в условиях использования ЛИ на открытых территориях и при проведении массовых культурно-зрелищных мероприятий было принято ориентироваться на нормативные документы 1990-х годов [17, 18]. Главным достоинством СанПин № 5804-91 является глубина его проработки. Ни один нормативный документ по лазерной безопасности не содержит такого объёма требований, которые затрагивали бы все основные этапы проектирования, изготовления и эксплуатации лазерных изделий.

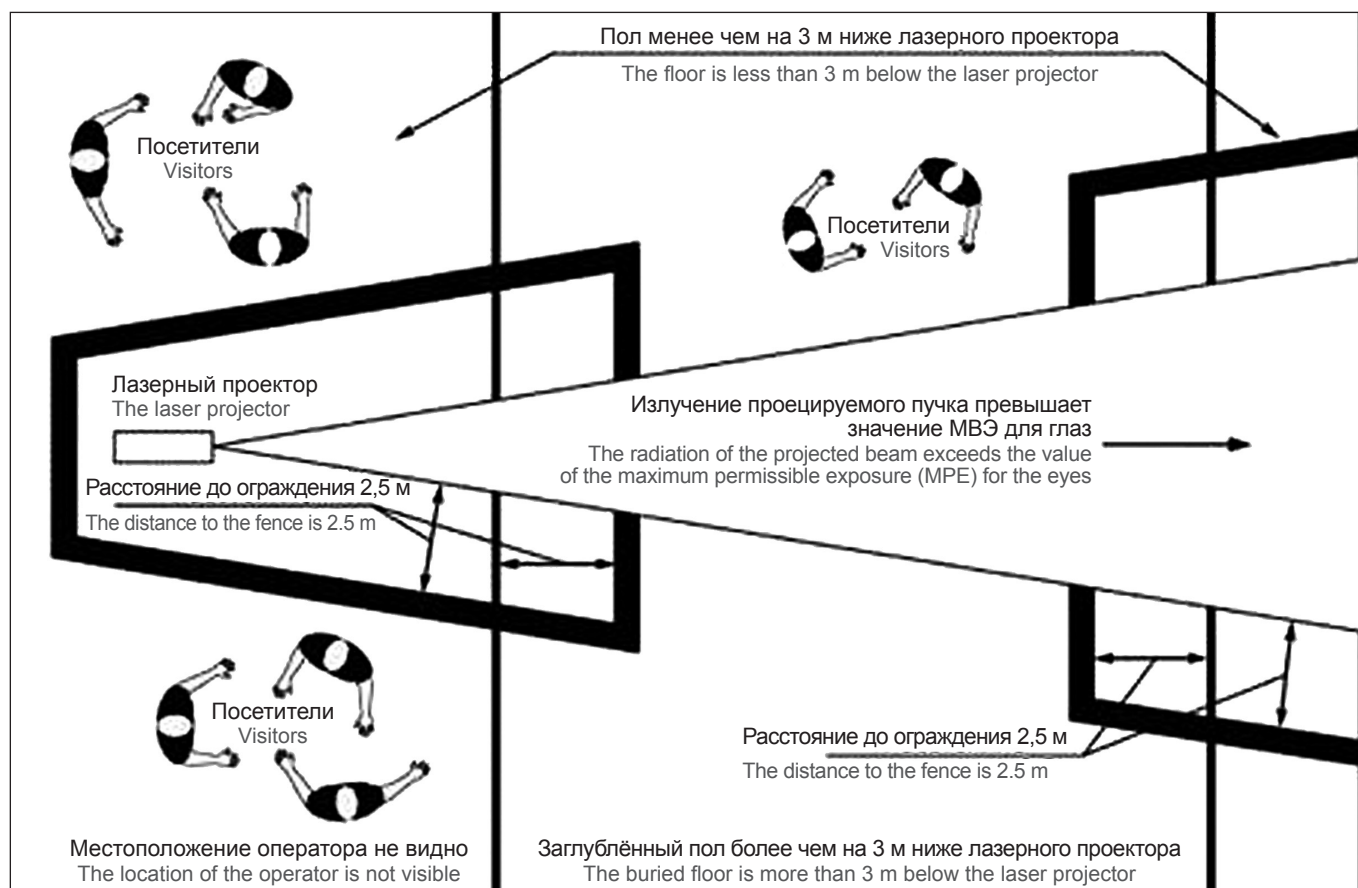


Рис. 1. Защита посетителей от лазерного излучения под контролем оператора.

Fig. 1. Protection of visitors from laser radiation under the control of the operator.

В «Санитарных нормах и правилах устройства и эксплуатации лазеров» указано, что предельно допустимые уровни для всех участников театрально-зрелищных мероприятий (зрители, актёры, обслуживающий персонал и др.) устанавливаются в соответствии с нормами для хронического облучения, что позволяет избежать заболевания или изменений состояния здоровья сразу или в отдалённые сроки, но не охватывают непродолжительные реакции, такие как временное ослепление. В то же время, несмотря на короткую продолжительность, это состояние может быть чревато травматическими последствиями.

Помимо нормативов ПДУ лазерного излучения в СанПиНе были указаны требования к организационно-техническим мероприятиям, обеспечивающим безопасность при использовании установок лазерного излучения на открытых площадках, но даны в общих чертах и были недостаточно конкретны. Постановлением Главного государственного санитарного врача от 10.07.2020 г. документ признан недействующим.

Также на территории Российской Федерации действует русифицированный европейский стандарт, состоящий из нескольких частей и охватывающий разные аспекты проектирования и эксплуатации лазерных изделий.

Использование лазерной техники во время массовых мероприятий регламентирует ГОСТ Р 54839-2011/IEC/TR 60825-3:2008 Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий. Этот стандарт идентичен международному документу IEC/TR 60825-3:2008 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 3. Руководящие указания по применению лазеров для зрелищных мероприятий» (IEC/TR 60825-3:2008 “Safety of laser products – Part 3: Guidance for laser displays and shows”, IDT). Исходный до-

кумент не является нормативом и не может противоречить национальным стандартам и скорее является сводом правил и рекомендаций по лазерной безопасности.

В документе указано, что уровень излучения, допустимый в зоне для посетителей, не должен превышать МВЭ при прямом облучении глаз (см. IEC/TR 60825-14, раздел 5). Также приведены рисунки, указывающие на потенциальное расположение зрителей и посетителей (рис. 1–3).

Схемы отображают наиболее вероятные сценарии расположения населения в клубах и концертных залах и легко понятны для людей, не имеющих специальных навыков и знаний, однако они не дают чёткого представления о происходящем и содержат противоречивые данные. В документе даётся следующее определение посетителя: «Посетитель (spectator): Человек, который присутствует при проведении зрелищных мероприятий с применением лазеров и по местоположению потенциально может быть облучён прямым или отражённым лазерным пучком (при несоблюдении мер безопасности или в ситуации худшего случая) и предположительно является зрителем лазерных эффектов. К посетителям не относятся операторы, штатный персонал и исполнители».

Как видно из определения, посетитель может являться зрителем, однако определение понятия «зритель», а также условия становления посетителя зрителем не раскрываются. Но на представленных схемах не только используются оба термина, но и присутствует значительная разница в допустимых мощностях.

В документе прописано использование средств наблюдения, таких как бинокль, которые могут увеличить потенциальную опасность для посетителей: если использование биноклей предполагается, например, на большой арене, а в целях безопасности уже запрещено использование камер, устройств

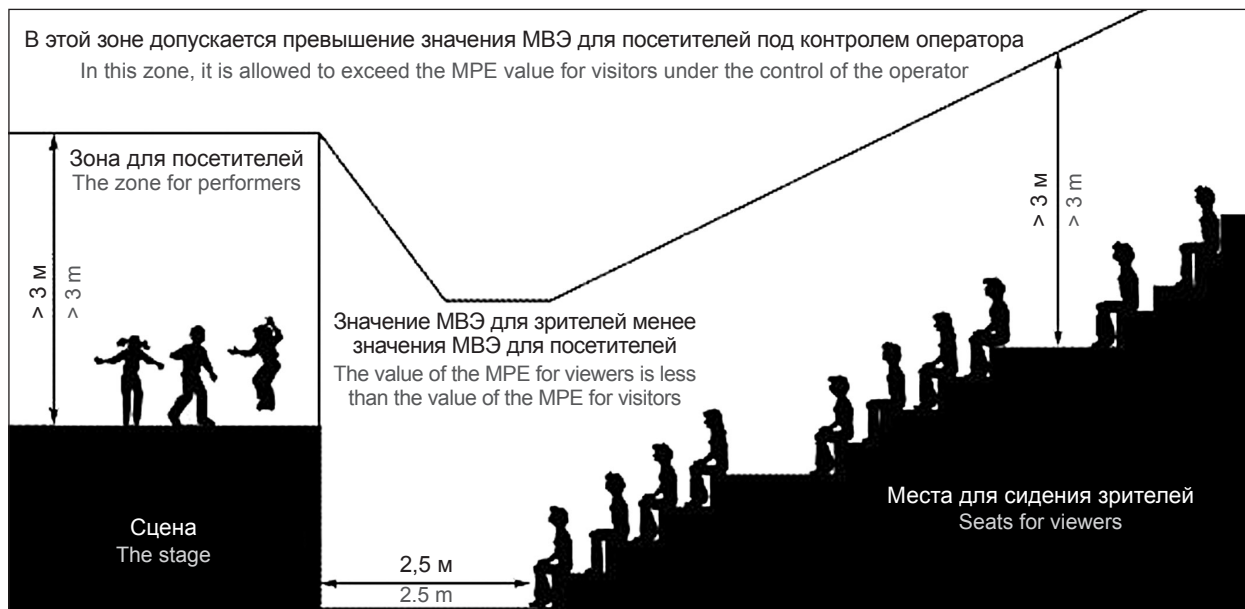


Рис. 2. Защита зрителей и посетителей от лазерного излучения под контролем оператора.

Fig. 2. Protection of spectators and visitors from laser radiation under the control of the operator.



Рис. 3. Защита зрителей и посетителей от неконтролируемых (оператором) лазерных пучков.

Fig. 3. Protection of spectators and visitors from uncontrolled (by the operator) laser beams.

для записи и т. д., то использование биноклей также запрещается. При невозможности запрета или контроля за его исполнением (например, проведение мероприятия на открытом воздухе), учитывая увеличение опасности, значение МВЭ для посетителей дополнительно умножают на 0,02.

Принятые в этом документе значения ПДУ для непрерывного лазерного излучения в спектральном диапазоне 380–1400 нм значительно отличаются от значений МРЕ (максимально допустимая экспозиция, maximum permissible exposure), приведённых в ИЕС-1, причём значения ПДУ для наиболее опасных длин волн 445, 532 нм отличаются на порядок от соответствующих значений МРЕ, то есть значения ПДУ в 10 раз меньше значений МРЕ [19]. Это в свою очередь означает, что отечественные гигиенические нормативы

лазерного излучения для указанных длин волн являются на порядок более жёсткими, чем нормативы, применяемые за рубежом. Аналогична ситуация и для других диапазонов длин волн, и для импульсного излучения, разница в значениях ПДУ и МРЕ составляет от 2 до 8 раз.

Документ содержит в себе требование для операторов о получении согласия местной власти для проведения зрелищного мероприятия с использованием лазера, если это требуется в соответствии с местным законодательством. Документ предлагает минимальный перечень данных для протокола: визуальные эффекты, разработанный план, установку, юстировку, эксплуатацию, изменения и демонтаж, однако указывает, что в соответствии с требованиями местных органов власти этот список может быть увеличен.

Отдельно в ГОСТе обращается внимание на такие факторы, как голографические изображения и ультрафиолетовые и синие лазерные пучки. Принято рассчитывать ПДУ относительно времени мигательного рефлекса, составляющего 0,25 с, однако это справедливо только для излучения видимого диапазона, на которое зрительная система человека может отреагировать. В случае с УФ-оператору необходимо уделить особое внимание направлению и продолжительности излучения в связи с невидимостью проецируемого излучения для глаза. Также некоторые авторы [20] полагают, что время мигательного рефлекса при воздействии лазерным излучением следует пересмотреть.

С 2016 г. действуют методические рекомендации МР 2.2.4.0115-16 «Оценка безопасности использования лазерных проекторов». Документ устанавливает порядок и организацию проведения оценки безопасности лазерного излучения от проекторов, используемых при проведении массовых зрелищных мероприятий. Документ содержит определение понятия «лазерное шоу», описывается методика выбора расчётных точек, порядок проведения измерения, приводит примеры возможных лазерных эффектов и результатов замеров.

Зарубежные и отечественные авторы отмечают особенности действия ЛИ видимой области спектра, в том числе его

способность беспрепятственно проходить через оптические среды глаза и повреждать сетчатку и прилегающие ткани, что может привести к стойкому снижению зрения.

В то же время анализ нормативных документов показал ряд различий в нормировании российских и международных стандартов, а также несоответствие и размытость требований в существующих санитарно-эпидемиологических документах.

Стремительный рост категорий людей всех возрастов и состояний здоровья, контактирующих с ЛИ в повседневной жизни, требует уточнения нормативов для населения и приведения существующих документов к единым и однозначным требованиям.

Заключение

Существующие стандарты порой противоречат друг другу, что мешает грамотной оценке опасности лазера и лазерной системы, поэтому пересмотр существующей нормативной базы лазерной безопасности для населения является актуальной задачей, решение которой позволит минимизировать негативные изменения со стороны органа зрения у лиц, не связанных профессионально с действием ЛИ, и качественно улучшить гигиеническую оценку ЛИ.

Литература (п.п. 5–7 см. References)

- Левина Э.Ю. Компьютерный синтез изображения трехмерного объекта для лазерного дизайна в стекле. В кн.: *Сборник докладов четырнадцатой научно-технической конференции «Фотометрия и её метрологическое обеспечение»*. М.: 2004: 122–4.
- Шикин Е.В., Боровиков А.В. *Компьютерная графика. Динамика, реалистические изображения*. М.: ДИАЛОГ-МИФИ; 1996.
- Тучин В.В. *Лазеры и волоконная оптика в биомедицинских исследованиях*. М.: ФИЗМАТЛИТ; 2010.
- Доувер Дж.С., ред. *Лазер- и светолечение*. М.: Рид Элсивер; 2010: 5–7.
- Желтов Г.И. Нормативы по лазерной безопасности: истоки, уровень, перспективы. *Фотоника*. 2017; (1): 10–35.
- Куликов А.Н., Власенко А.Н., Мальцев Д.С., Коваленко А.В., Коваленко И.Ю. Клинические случаи повреждения глаз излучением лазерных указок. *Вестник Российской Военно-медицинской академии*. 2019; 3(67): 103–6.
- Бойко Э.В., Шихин М.М., Березин Ю.Д. *Диодный лазер в офтальмологической операционной*. СПб.; 2000.
- Черепнин А.И. Клинические случаи повреждения сетчатки в быту инфракрасным излучением лазерной указки. *Современные технологии в офтальмологии*. 2018; (2): 280–2.
- Девятков Н.Д., Зубова С.М., Лапрун И.В., Макеева Н.С. Физико-химические механизмы биологического действия лазерного излучения. *Успехи современной биологии*. 1987; 103(1): 31–43.
- Горбатенкова Е.А., Владимиров Ю.А., Парамонов Н.В., Азизова О.А. Красный свет гелий-неонового лазера реактивирует супероксиддисмутазу. *Бюллетень экспертной биологии и медицины*. 1989; (107): 302–5.
- Соколовский В.В., Ушкова И.Н., Березин Ю.Д., Покровская Л.А., Родионова Л.П., Гончарова Л.Л. и соавт. О стимулирующем эффекте действия излучения гелий-неонового лазера на глаза кролика. *Офтальмологический журнал*. 1990; (3): 176–8.
- Ушкова И.Н., Березин Ю.Д., Покровская Л.А. О стимулирующем эффекте действия излучения лазера длиной волны 0,53 мкм на глаза кроликов. *Офтальмологический журнал*. 1991; (6): 351–2.
- Ушкова И.Н., Гончарова Л.Л., Покровская Л.А., Малькова Н.Ю., Муратов Е.В. Реакция организма на действие лазерного излучения длиной волны 0,44 мкм. *Врачебное дело*. 1992; (9): 71–3.
- Рахманов Б.Н., Пальцев Ю.П., Кибовский В.Т. Проблема противоречий в нормативной базе лазерной безопасности. *Гигиена и санитария*. 2017; 96(6): 535–40. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-535-540>
- Бибик О.Б., Садовников И.Э. К вопросу о нормативной базе по лазерной безопасности. *Фотоника*. 2017; (1): 38–41. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2017.61.1.38.41>
- Рахманов Б.Н., Кибовский В.Т. Лазерная безопасность. Документы новые – проблемы старые. *Лазер-Информ*. 2016; (21–22): 1–13.
- Малькова Н.Ю., Лугиня В.С. Проблемы технического регулирования в области фотоники. *Фотоника*. 2019; 13(2): 208–13.

References

- Levina E.Yu. Computer synthesis of the image of a three-dimensional object for laser design in glass. In: *Collection of Reports of the Fourteenth Scientific and Technical Conference «Photometry and Its Metrological Support» [Sbornik докладov chetyrnadtsatoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii «Fotometriya i ee metrologicheskoe obespechenie»]*. Moscow; 2004: 122–4. (in Russian)
- Shikin E.V., Borevnikov A.V. *Computer Graphics. Dynamic, Realistic Images [Komp'yuternaya grafika. Dinamika, realisticheskie izobrazheniya]*. Moscow: DIALOG-MIFI; 1996. (in Russian)
- Tuchin V.V. *Lasers and Fiber Optics in Biomedical Research [Lazery i volokonnyaya optika v biomeditsinskikh issledovaniyakh]*. Moscow: FIZMATLIT; 2010. (in Russian)
- Dover J.S. *Laser and Light Therapy [Lazero- i svetolechenie]*. Moscow: Reed Elsevier; 2010; 5–7. (in Russian)
- Kaminer M.S., Arndt K.A., Dover J.S., Rohrer T.E., Zachary C.B. *Atlas of Cosmetic Surgery*. Saunders-Elsevier; 2009.
- Jacques S.L. Role of tissue optics and pulse duration during high-power laser irradiation. *Appl. Opt.* 1993; 32(13): 2447–54. <https://doi.org/10.1364/ao.32.002447>
- Shah D., Desai N., Dhanak R. Lasers in facial aesthetics – a review. *Adv. Hum. Biol.* 2014; 4(3): 1–6.
- Zhelto G.I. Standards for laser safety: origins, level, perspectives. *Fotonika*. 2017; (1): 10–35. (in Russian)
- Kulikov A.N., Vlasenko A.N., Mal'tsev D.S., Kovalenko A.V., Kovalenko I.Yu. Clinical cases of eye damage caused by laser pointer. *Vestnik Rossiyskoy Voenno-meditsinskoy akademii*. 2019; 3(67): 103–6. (in Russian)
- Boyko E.V., Shishkin M.M., Berезin Yu.D. *Diode laser in the ophthalmic operating room [Diодnyy laser v oftal'mologicheskoy operatsionnoy]*. SPb.: 2000. (in Russian)
- Cherepnin A.I. Clinical cases of retinal damage in everyday life by infrared radiation from a laser pointer. *Sovremennye tekhnologii v oftal'mologii*. 2018; (2): 280–2. (in Russian)
- Devyatkov N.D., Zubova S.M., Laprun I.V., Makeeva N.S. Physical and chemical mechanisms of the biological action of laser radiation. *Uspekhi sovremennoy biologii*. 1987; 103(1): 31–43. (in Russian)
- Gorbatenkova E.A., Vladimirov Yu.A., Paramonov N.V., Azizova O.A. Red light of a helium-neon laser reactivates superoxide dismutase. *Byulleten' ekspertnoy biologii i meditsiny*. 1989; (107): 302–5. (in Russian)
- Sokolovskiy V.V., Ushkova I.N., Berezin Yu.D., Pokrovskaya L.A., Rodionova L.P., Goncharova L.L., et al. On the stimulating effect of the radiation of a helium-neon laser on the eyes of a rabbit. *Oftal'mologicheskiy zhurnal*. 1990; (3): 176–8. (in Russian)
- Ushkova I.N., Berezin Yu.D., Pokrovskaya L.A. About the stimulating effect of the laser radiation with a wavelength of 0.53 microns on the eyes of rabbits. *Oftal'mologicheskiy zhurnal*. 1991; (6): 351–2. (in Russian)
- Ushkova I.N., Goncharova L.L., Pokrovskaya L.A., Mal'kova N.Yu., Muratov E.V. The reaction of the body to the action of laser radiation with a wavelength of 0.44 microns. *Vrachebnoye delo*. 1992; (9): 71–3. (in Russian)
- Rakhmanov B.N., Pal'tsev Yu.P., Kibovskiy V.T. The problem of contradictions in the regulatory framework of laser safety. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2017; 96(6): 535–40. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-6-535-540> (in Russian)
- Bibik O.B., Sadovnikov I.E. On the issue of the regulatory framework for laser safety. *Fotonika*. 2017; (1): 38–41. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2017.61.1.38.41> (in Russian)
- Rakhmanov B.N., Kibovskiy V.T. Laser safety. The documents are new – the problems are old. *Lazer-Inform*. 2016; (21–22): 1–13. (in Russian)
- Mal'kova N.Yu., Luginya V.S. Problems of technical regulation in the field of photonics. *Fotonika*. 2019; 13(2): 208–13. (in Russian)