

© МАЛЬКОВА Н.Ю., ПЕТРОВА М.Д., 2022

Читать
онлайн
Read
onlineМалькова Н.Ю.^{1,2}, Петрова М.Д.¹

Оценка безопасности излучения лазерных проекторов для здоровья населения

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. К органам-мишеням лазерного излучения относятся кожа и орган зрения. Опасность лазерных лучей для зрительного анализатора определила основное направление исследований в этой области, которые сконцентрировались на изучении повреждающего действия излучения на орган зрения.

Цель исследования – гигиеническая оценка лазерного излучения от проекторов, используемых в культурно-массовых мероприятиях.

Материалы и методы. Измерения проводили на 10 многоцветных проекторах, относящихся к семействам Kvant и Spectrum, с мощностями от 2 до 30 Вт и длинами волн 445–460; 520–532 и 637–640 нм при настроенной проекционной системе на расстоянии 7 м от сканирующей системы.

Результаты. Анализ полученных данных показал, что наблюдается превышение предельно допустимых уровней на всех длинах волн для всех проекторов, за исключением синей области спектра для проекторов Kvant 2000 и Kvant 3000. Наибольшие превышения (в 7–11 раз) выявлены на длине волны 532 нм, в 8 раз – на длине волны 637 нм.

Ограничения исследования. Исследование проведено на ограниченном числе проекторов, а расчёт ПДУ выполнен только для времени мигательного рефлекса, что ограничивает возможности более широкой интерпретации полученных данных.

Заключение. Вероятность превышения предельно допустимых уровней лазерного излучения на доступных для использования мощностях ставит под угрозу безопасность мероприятия как для посетителей, так и для актёров и операторов проекторов. Данный вопрос требует более глубокой проработки защитных мероприятий на всех уровнях: как на организационном, так и на бытовом.

Ключевые слова: лазерное излучение; проекторы; видимая область спектра

Соблюдение этических стандартов. Исследования на людях и животных не проводились, исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Малькова Н.Ю., Петрова М.Д. Оценка безопасности излучения лазерных проекторов для здоровья населения. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(8): 850–854. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-850-854> <https://www.elibrary.ru/xncqpc>

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». E-mail: n.malkova@s-znc.ru

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

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

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 17.05.2022 / Принята к печати: 04.08.2022 / Опубликовано: 14.09.2022

Natalia Yu. Malkova^{1,2}, Milena D. Petrova¹

Safety assessment of laser projector radiation for the population

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 target organs of laser radiation include the skin and the organ of vision. The danger of laser beams for the visual analyzer determined the main direction of research in this area, which focused on the study of the damaging effect of radiation on the organ of vision.

The aim of the study is a hygienic assessment of laser radiation from projectors used in cultural events.

Materials and methods. Measurements were carried out on 10 multi-color projectors with capacities from 2 to 30 watts belonging to 2 classes: Kvant and Spectrum and wavelengths of 445–460 nm, 520–532 nm, and 637–640 nm with a tuned projection system at a distance of 7 m from the scanning system.

Results. Analysis of the data obtained showed that, with the exception of the blue spectral region for Kvant 2000 and 3000 projectors, there is an excess of the maximum permissible levels at all wavelengths for all projectors. The greatest exceedances were detected 7–11 times at a wavelength of 532 nm, 8 times at a wavelength of 637 nm.

Limitations. The study was conducted on a limited number of projectors, and the remote control was calculated only for the time of the flashing reflex, which limits the possibilities of a broader interpretation of the data obtained.

Conclusion. The probability of exceeding the maximum permissible levels of laser radiation at the available capacities jeopardizes the safety of the event for both visitors and actors and projector operators. This issue requires a deeper study of protective measures at all levels: both organizational and household.

Keywords: laser radiation; projectors; visible spectrum

Compliance with ethical standards. Studies on humans and animals have not been conducted, the study does not require the submission of the opinion of the biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Malkova N.Yu., Petrova M.D. Safety assessment of laser projector radiation for the population. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(8): 850–854. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-850-854> <https://elibrary.ru/xncqpc> (in Russian)

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

For correspondence: *Natalia Yu. Malkova*, 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: n.malkova@s-znc.ru.

Contribution: *Malkova N.Yu.* — the concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing a text; editing; *Petrova M.D.* — collection and processing of material, writing a text. *All authors* are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: May 17, 2022 / Accepted: August 04, 2022 / Published: September 14, 2022

Введение

К органам-мишеням лазерного излучения относятся кожа и орган зрения. Опасность лазерных лучей для зрительного анализатора определила основное направление исследований в этой области, которые были сконцентрированы на изучении повреждающего действия излучения на орган зрения.

Свет может повреждать сетчатку механическим, термическим и химическим путями [1]. При непосредственном контакте с глазом лазерного луча с длиной волны в видимой области спектра излучение беспрепятственно проходит через оптические среды глаза (роговицу, влагу передней камеры, хрусталик и стекловидное тело) и достигает сетчатки [2]. Ретинальный пигментный эпителий содержит мелано-протеиновые гранулы, которые поглощают большую часть видимого излучения, попадающего в глаз. Именно эта область повреждается в первую очередь [3].

В 2007 г. исследователи под руководством Кристиана Франзе (К. Franze) обнаружили, что один вид глии сетчатки, известный как клетки Мюллера, обладает светопроводными функциями. Они собирают свет с передней поверхности сетчатки и проводят его к фоторецепторам, размещённым на её задней поверхности, подобно оптоволоконному кабелю [4]. При этом клетки Мюллера, освещённые белым светом, пропускают длины волн в зелёно-красной области для двух типов колбочек, а сине-фиолетовый свет просачивается через сетчатку, чтобы активировать палочки [5].

В общем количестве колбочек, равном 6–8 млн, доля колбочек, содержащих синий фотопигмент, составляет 5–10%, что значительно меньше, чем колбочек, содержащих зелёный и красный пигменты. Около двух третей остальных колбочек чувствительны к длинноволновому свету и одна треть — к средневолновому. Помимо того, что в центральной ямке сетчатки содержится неравное количество колбочек с разной чувствительностью, они распределены в ней неравномерно. Колбочки, содержащие фотопигменты, чувствительные к средне- и длинноволновому свету, сконцентрированы в середине центральной ямки, а колбочки, чувствительные к коротковолновому свету, — на её периферии, и в центре их меньше всего [6]. Жёлтое пятно из всего синего спектра вырезает волны с длиной волны 450–460 нм.

Сетчатка поглощает около 10% коротковолнового сине-зелёного излучения, в то время как риск повреждения нервных волокон сетчатки в макулярной области ещё более высок из-за интенсивного поглощения жёлтым пигментом сине-зелёного излучения (особенно синего его компонента). Поэтому синие лазеры считаются более опасными для органа зрения [2]. Принципиально принято выделять два классических типа фоторетинотоксичности: УФ-синяя и сине-зелёная [7]. Первая — это УФ-синяя фототоксичность, открытая в 1976 г. Хэмом (W.T. Ham) с соавт., которые в ходе эксперимента обнаружили быстрое увеличение степени повреждения сетчатки при уменьшении длины волны [8]. Вторая — сине-зелёная токсичность, выявленная Ноэлем (W.K. Noell), достигающая пика вблизи 500 нм и быстро уменьшающаяся на более высоких и более низких длинах волн [9].

Ретинопатия возникает после кратковременного воздействия яркого прямого света, который «сокрушает защи-

ту» сетчатки. Воздействие яркого прямого солнечного света, сварочной дуги, освещения операционного микроскопа и эндоиллюминации является частой причиной ятрогенных ретинопатий [10, 11].

Известно, что высокоинтенсивное лазерное излучение повреждает все слои сетчатки: возникают ожоги сетчатки, кровоизлияния в сетчатку и прилегающие ткани, в дальнейшем на месте ожога образуется рубец, приводящий к стойкому снижению зрения. При объективном исследовании на сетчатке глаз у части работников выявляются светлые депигментированные очажки [2, 12]. При исследовании функционального состояния зрительного анализатора авторы отметили, что у лиц, обслуживающих импульсные твердотельные лазеры, в 46% случаев наблюдается снижение темновой адаптации [13].

В связи с этим *целью настоящей работы* является гигиеническая оценка лазерного излучения видимой области спектра от проекторов, используемых в культурно-массовых мероприятиях.

Материалы и методы

Измерения проводили на 10 многоцветных проекторах, относящихся к семействам Kvant и Spectrum, с мощностями от 2 до 30 Вт и длинами волн 445–460; 520–532 и 637–640 нм при настроенной проекционной системе поверенным лазерным дозиметром ЛД-07 на расстоянии 7 м от сканирующей системы (место ближайшего возможного расположения артиста). Замеры проводили в соответствии с МР 2.2.4.0115-16¹ в режиме максимальной отдачи мощности в наиболее ярких опорных точках тестовой картины.

Для оценки безопасности измеренных величин проведено сравнение с предельно допустимым уровнем (ПДУ) для однократного воздействия, рассчитанного в соответствии с требованиями СанПиН 1.2.3685-21². Время действия рассеянного излучения на глаза артистов принимали за время реакции глаза — 0,25 с. В случае выявления превышения ПДУ рассчитывали лазероопасную зону (ЛОЗ) согласно МР 2.2.4.0115-16.

Результаты

Первым этапом гигиенической оценки лазерных проекторов стало изучение технических характеристик, а именно рабочей длины волны и выходной мощности.

В табл. 1 представлены параметры выходной мощности изучаемых проекторов на рабочих длинах волн. Из таблицы видно, что номинальная и фактическая мощности лазерных проекторов, используемых для демонстраций, могут

¹ МР 2.2.4.0115-16. 2.2.4. Гигиена. Гигиена труда. Физические факторы производственной среды. Оценка безопасности использования лазерных проекторов. Методические рекомендации. Утверждены Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации 09.12.2016 г.

² СанПиН 1.2.3685-21. Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания. Утверждены постановлением Главного государственного санитарного врача Российской Федерации от 28.01.2021 г. № 2. Зарегистрированы в Минюсте 29.01.2021 г. № 62296.

Таблица 1 / Table 1

Выходная мощность лазерных проекторов Rated and actual power of laser projectors

Проектор Projector	Мощность, мВт / Power, mW				
	номинальная rated	фактическая actual	на длине волны 445–460 нм at a wavelength of 445–460 nm	на длине волны 520–532 нм at a wavelength of 520–532 nm	на длине волны 637 нм at a wavelength of 637 nm
Kvant Clubmax 2000	2000	2240	1200	700	340
Kvant Clubmax 3000	3000	3080	1500	900	680
Kvant Clubmax 6000	6000	6160	3000	1800	1360
Kvant Clubmax 10	10 000	9800	4500	2800	2500
Kvant Clubmax 15	15 000	14 800	6000	3800	5000
Spectrum 12	12 000	12 000	4000	5000	3000
Spectrum 14	14 000	14 000	6000	5000	3000
Spectrum 20	20 000	20 000	6000	8000	6000
Spectrum 25	25 000	26 000	11 000	8000	7000
Spectrum 30	30 000	28 800	11 500	10 000	7300

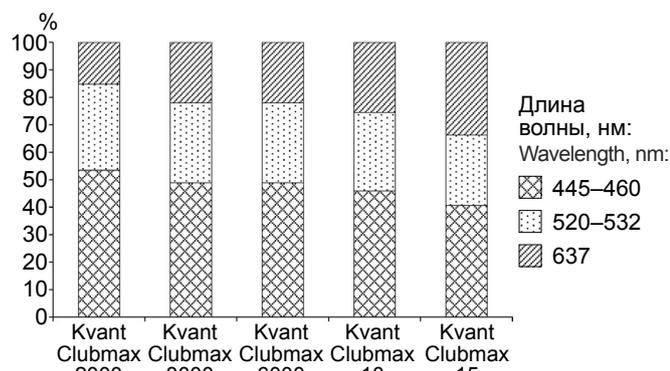


Рис. 1. Процентный вклад мощности определённых длин волн в общую фактическую мощность проекторов Kvant.

Fig. 1. Percentage contribution of the power of certain wavelengths to the total actual power of Kvant projectors.

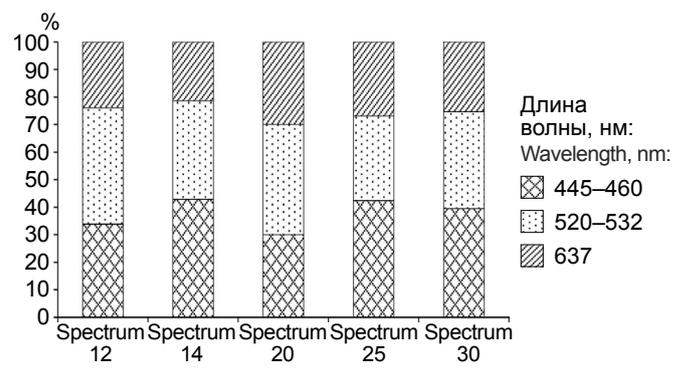


Рис. 2. Процентный вклад мощности определённых длин волн в общую фактическую мощность проекторов Spectrum.

Fig. 2. Percentage contribution of the power of certain wavelengths to the total actual power of Spectrum projectors.

не совпадать. Различия связаны с техническими параметрами излучателя, временем его эксплуатации. Распределение мощности по длинам волн также не равнозначно, поэтому в дальнейшем проанализирован энергетический вклад каждой из изучаемых длин волн для различных семейств проекторов.

На рис. 1, 2 представлены графики распределения мощности по длинам волн, показывающие отсутствие чёткой зависимости между мощностью излучения на определённой длине волны и выходной мощностью у проекторов семейства Spectrum. Однако у проекторов семейства Kvant с увеличением общей мощности доля мощности красного излучения возрастает, в то время как доля синего и зелёного уменьшается.

На рис. 3 представлено распределение мощности в процентном соотношении по длинам волн.

Оценивая общую картину, можно сказать, что вклад синего света колеблется в диапазоне от 33,3 до 53,5% для всех проекторов, в то время как вклад зелёного и красного составляет 25,6–41,6 и 15,25–33,7% соответственно. Причём максимальные значения (50–53%) наблюдаются у проекторов с общей мощностью до 6 Вт. Вероятно, это связано с яркостью синего спектра, которая на малых мощностях значительно ниже красного и зелёного. Так, при общей мощности 2,24 Вт на синий спектр приходится 1,2 Вт и только 0,7 и 0,34 Вт соответственно — на зелёный и красный.

На втором этапе исследования изучали энергетическую освещённость в сечении лазерного луча. Результаты замеров представлены в табл. 2.

Анализ таблицы показал, что превышение ПДУ наблюдается на всех длинах волн для всех проекторов, за исключением синей области спектра для проекторов Kvant 2000 и 3000. Наибольшие превышения (в 7–11 раз) выявлены на длине волны 532 нм, в 8 раз — на длине волны 637 нм.

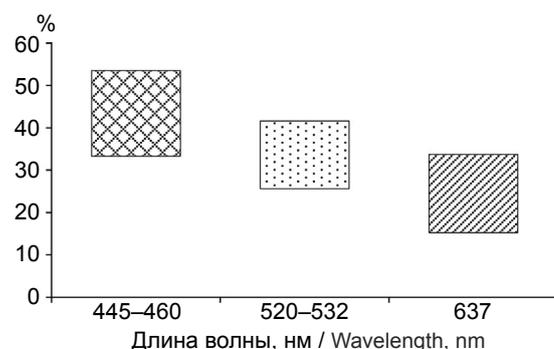


Рис. 3. Распределение мощности в процентном соотношении по длинам волн.

Fig. 3. Power distribution as a percentage by wavelength.

Таблица 2 / Table 2

Результаты замеров энергетической освещённости рассеянного лазерного излучения на расстоянии 7 м

Results of measurements of the irradiance of scattered laser radiation at a distance of 7 m

Проектор Projector	Длина волны, нм Wavelength, nm	Уровни лазерного излучения, Вт/см ² Fluences, W/cm ²	ПДУ, Вт/см ² Maximum allowable level (MAL), W/cm ²	ЛЮЗ, м Laser Danger Zone (LDZ), m
Kvant Clubmax 2000	445	$(1.6-2.3) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	—
	520	$(0.58-0.83) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	48
	637	$(0.7-0.9) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	37
Kvant Clubmax 3000	445	$(1.7-2.4) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	—
	520	$(0.8-1.0) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	52
	637	$(1.7-2.3) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	38.9
Kvant Clubmax 6000	445	$(1.9-2.9) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	31
	520	$(0.9-1.1) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	54
	637	$(2.5-2.8) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	60.4
Kvant Clubmax 10	445	$(2.6-3.1) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	32
	520	$(1.1-1.5) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	62
	637	$(3.1-3.7) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	68.4
Kvant Clubmax 15	445	$(2.8-3.4) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	33
	520	$(1.3-1.9) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	69
	637	$(3.5-4.3) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	73
Spectrum 12	445	$(1.5-5.7) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	41
	532	$(0.96-1.1) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	54
	637	$(2.2-2.7) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	59.4
Spectrum 14	445	$(4.4-5.9) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	41
	532	$(0.96-1.1) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	54
	637	$(2.2-2.7) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	59.4
Spectrum 20	445	$(4.4-5.9) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	41
	532	$(1.5-2.2) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	70.4
	637	$(2.5-3.1) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	64.5
Spectrum 25	445 + 460	$(5.3-7.5) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	46
	532	$(1.5-2.2) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	70.4
	637	$(3.5-3.9) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	71.5
Spectrum 30	445 + 460	$(5.4-7.7) \cdot 10^{-4}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	46.6
	532	$(1.9-2.8) \cdot 10^{-3}$	$2.5 \cdot 10^{-4}$	78.5
	637	$(3.6-4.2) \cdot 10^{-3}$	$5.0 \cdot 10^{-4}$	73.9

Примечание. Жирным шрифтом выделены превышения ПДУ.

Note: MAL exceedings are highlighted in bold.

Обсуждение

Проекторы мощностью от 1 до 100 Вт используются для создания визуального сопровождения песен, танцев, эстрадных номеров и за счёт использования лазерных лучей трёх длин волн (красный, синий, зелёный спектр) могут создавать красочные двигающиеся изображения, завораживающие зрителей. При проведении шоу используется лишь видимый спектр излучения, который позволяет уменьшить риск случайного попадания лазерного луча в область глаза, но не исключает его полностью. Данные предварительных хронометражных исследований показали, что во время проведения лазерного шоу при сканировании зрительного зала на глаза зрителей лазерное излучение может попасть не один раз, а несколько. Это может происходить до 20 раз [14].

И даже внутри видимого спектра опасность излучения от разных длин волн неодинакова в связи с более интенсивным поглощением жёлтым пигментом сине-зелёного излучения.

Поэтому синие лазеры считаются более опасными для органа зрения. Данные исследования показали, что при наибольшем вкладе по мощности синего цвета и наименьшем красном превышения ПДУ (в 11,2 раза) встречаются именно на длине волны 637 нм.

Вероятно, это связано с тем, что на малых мощностях яркость синего спектра значительно ниже красного и зелёного. Но даже при этом уровни лазерного излучения на длинах волн 445 и 460 нм превышают ПДУ на всех установках выше 6 Вт.

Размеры лазероопасной зоны составляют от 31 до 78,5 м, причём для синего цвета — 31–46 м, для красного — 37–68 м, для зелёного — 48–78,5 м. Установление лазероопасной зоны для проектора происходит преимущественно по красной области спектра, за исключением Spectrum 30, в котором основной вклад принадлежит зелёной области спектра. Анализ лазероопасных зон показал, что прослеживается зависимость от длины волны. Так, для синей области спектра лазероопасная зона изменяется от 31 до 46,6 м при изменении мощности от 3 м до 11,5 Вт,

для красной области спектра в свою очередь — с 37 м при мощности 0,34 Вт до 73,9 м при мощности 7,3 Вт. Можно предположить, что такой разброс интенсивности в сечении лазерного луча зависит от угловой расходимости излучения.

Ограничения исследования. В данном исследовании рассматриваются только два семейства проекторов, а расчёт ПДУ выполнен лишь для усреднённого времени мигательного рефлекса при однократном попадании, что ограничивает возможности более широкой интерпретации полученных данных. Однако даже с учётом этих ограничений можно утверждать, что использование таких интенсивностей может поставить под угрозу не только состояние здоровья артиста как наиболее близко расположенного к источнику излучения, но также и зрителей, посещающих мероприятия.

Заключение

Вероятность превышения предельно допустимых уровней лазерного излучения на доступных для использования мощностях ставит под угрозу безопасность не только актёров и операторов проекторов, но и зрителей. Это требует более глубокой проработки защитных мероприятий на всех уровнях: как на организационном, так и на бытовом. В целях обеспечения безопасности населения организаторам рекомендуется проводить измерения лазерного излучения от проекторов перед проведением выступлений при настроенной проекционной системе в предполагаемом месте расположения артистов, операторов и зрителей.

Литература

(п.п. 1, 4, 7–10 см. References)

- 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): 103–6.
- Желтов Г.И. Нормативы по лазерной безопасности: истоки, уровень, перспективы. *Фотоника*. 2017; (1): 10–35. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2017.61.1.10.35>
- Капцов В.А., Дейнего В.Н. Восприятие цвета при светодиодном освещении — риски здоровью. *Анализ риска здоровью*. 2017; (2): 16–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.2.02>
- Бабиянц Е.А. К истории открытия механизма цветовосприятия (к 50-летию присуждения Нобелевской премии). *Журнал фундаментальной медицины и биологии*. 2017; (1): 56–9.
- Чистякова Н.В., Даль Н.Ю., Астахов Ю.С. Влияние света на состояние сетчатки и здоровье в целом: миф или реальность? *Офтальмологические ведомости*. 2011; 4(3): 57–64.
- Мирошниченко А.Б., Кроз С.Ф. О некоторых изменениях функционального состояния организма при обслуживании оптических квантовых генераторов. *Гигиена труда*. 1974; (4): 44–5.
- Омельяненко Л.М., Комарова А.А. Состояние здоровья работающих с твердотельными лазерами. В кн.: *Клиника и вопросы экспертизы трудоспособности при заболеваниях, вызванных воздействием физических факторов*. М.; 1971: 99–103.
- Малькова Н.Ю. Оценка риска неблагоприятного действия лазерного излучения на орган зрения при проведении культурно-массовых мероприятий. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; (5): 54–7. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-54-57>
- Mainster M., Turner P. Retinal injuries from light: mechanisms, hazards, and prevention. *Retina*. 2005; (2): 1857–70. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-02598-0.50115-4>
- Kulikov A.N., Vlasenko A.N., Mal'tsev D.S., Kovalenko A.V., Kovalenko I.Yu. Retinal injury from laser pointers: case series. *Vestnik Rossiyskoy Voennomeditsinskoy akademii*. 2019; (3): 103–6. (in Russian)
- Zhel'tov G.I. Standards for laser safety: origins, level, perspectives. *Fotonika*. 2017; (1): 10–35. <https://doi.org/10.22184/1993-7296.2017.61.1.10.35> (in Russian)
- Labin A.M., Safuri S.K., Ribak E.N., Perlman I. Müller cells separate between wavelengths to improve day vision with minimal effect upon night vision. *Nat. Commun*. 2014; 5: 4319. <https://doi.org/10.1038/ncomms5319>
- Kap'tsov V.A., Deynego V.N. Health risks occurring when color is precepted under led lighting. *Analiz riska zdorov'yu*. 2017; (2): 16–25. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2017.2.02> (in Russian)
- Babiyants E.A. The history of the discovery of the mechanism of color vision (the 50th anniversary of the Nobel prize). *Zhurnal fundamental'noy meditsiny i biologii*. 2017; (1): 56–9. (in Russian)
- Mainster M.A., Sparrow J.R. How much blue light should an IOL transmit? *Br. J. Ophthalmol*. 2003; 87(12): 1523–9. <https://doi.org/10.1136/bjo.87.12.1523>
- Ham W.T. Jr., Mueller H.A., Sliney D.H. Retinal sensitivity to damage from short wavelength light. *Nature*. 1976; 260(5547): 153–5. <https://doi.org/10.1038/260153a0>
- Mentes J., Erakgun T., Afrashi F., Cerci G. Incidence of cystoids macular edema after uncomplicated phacoemulsification. *Ophthalmologica*. 2003; 217(6): 408–12. <https://doi.org/10.1159/000073070>
- Mainster M.A. Intraocular lenses should block UV radiation and violet but not blue light. *Arch. Ophthalmol*. 2005; 123(4): 550–5. <https://doi.org/10.1001/archoph.123.4.550>
- Chistyakova N.V., Dal' N.Yu., Astakhov Yu.S. The influence of light on the state of the retina and health in general: myth or reality? *Oftalmologicheskie vedomosti*. 2011; 4(3): 57–64. (in Russian)
- Miroshnichenko A.B., Kroz S.F. On some changes in the functional state of the body during the maintenance of optical quantum generators. *Gigiya truda*. 1974; (4): 44–5. (in Russian)
- Omelyanenko L.M., Komarova A.A. The state of health of workers with solid-state lasers. In: *Clinic and Issues of Examination of Working Capacity in Diseases Caused by Exposure to Physical Factors [Klinika i voprosy ekspertizy trudospobnosti pri zabolevaniyakh, vyzvannykh vozdeystviem fizicheskikh faktorov]*. Moscow; 1971: 99–103. (in Russian)
- Malkova N.Yu. Assessing risk from unfavourable laser radiation effect on visual organ during cultural and public events. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2018; (5): 54–7. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-54-57> (in Russian)

References