Малькова Н.Ю.^{1,2}

ОЦЕНКА РИСКА НЕБЛАГОПРИЯТНОГО ДЕЙСТВИЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАН ЗРЕНИЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ КУЛЬТУРНО-МАССОВЫХ МЕРОПРИЯТИЙ

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 4, 2-я Советская ул., Санкт-Петербург, РФ, 191036

²ГБУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет имени И.И. Мечникова», 41, ул. Кирочная, Санкт-Петербург, РФ, 191015

Проблема оценки риска действия лазерного излучения на человека во время концертных и театрально-зрелищных мероприятий приобретает особую актуальность. Известно, что однократное действие лазерного излучения на глаза красной, зеленой, синей областей спектра энергетическими освещенностями (ЭО), применяемыми при проведении лазерных шоу, не превышающими ПДУ, приводит к кратковременным изменениям функции зрения по состоянию световой и цветовой чувствительности. Представлены результаты углубленного изучения интенсивности лазерного излучения в сечении луча от различных проекторов с учетом расстояния и времени действия на зрителей и артистов.

Показано, что риск неблагоприятного действия лазерного излучения на человека зависит от времени, длины волны излучения, расстояния до человека, а также от мощности используемого проектора.

Ключевые слова: лазерное излучение; культурно-массовые мероприятия; лазерное шоу

Для цитирования: Малькова Н.Ю. Оценка риска неблагоприятного действия лазерного излучения на орган зрения при проведении культурно-массовых мероприятий. *Мед. труда и пром. экол.* 2018. 5:54–57. DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-54-57>

Mal'kova N.Yu.^{1,2}

ASSESSING RISK FROM UNFAVOURABLE LASER RADIATION EFFECT ON VISUAL ORGAN DURING CULTURAL AND PUBLIC EVENTS

¹North-West Public Health Research Center, 4, 2nd Sovetskaya str., St. Petersburg, Russian Federation, 191036; ²North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, 41, Kirochnaya str., St. Petersburg, Russian Federation, 191015

Problem of assessing risk from laser radiation influence on humans during concerts and shows becomes specially topical. Evidence is that single exposure of eyes to laser radiation in red, green, blue spectral regions by energetic light sources in laser shows, not exceeding MALs, causes short changes of visual function in sensitivity to light and color. The article presents results of thorough study of laser radiation intensity in beam section from various projectors, with consideration of distance and exposure time for audience and actors.

Findings are that risk of unfavourable influence of laser radiation on humans depends on duration, wave length, distance to human and capacity of the projector used.

Key words: laser radiation; shows; laser show

For quotation: Mal'kova N.Yu. Assessing risk from unfavourable laser radiation effect on visual organ during cultural and public events. *Med. truda i prom. ekol.* 2018. 5:54–57. DOI: <http://dx.doi.org/10.31089/1026-9428-2018-5-54-57>

В культурно-массовых и зрелищных мероприятиях используется новое технологическое оборудование для проведения лазерных показов и демонстраций. Ранее показано, что однократное действие лазерного излучения на глаза красной, зеленой, синей областей спектра энергетическими освещенностями, применяемыми при проведении лазерных шоу, в дозах, не превышающих ПДУ, приводят к кратковременным изменениям функции зрения, по состоянию световой и цветовой чувствительности [3,4]. В связи с этим, проблема оценки риска действия лазерного излучения на человека в концертных и театрально-зрелищных мероприятиях приобретает особую актуальность.

Цель исследования — углубленное изучение интенсивности лазерного излучения в сечении луча с учетом расстояния от проектора и времени действия на зрителей и артистов.

Материал и методики. Изучались условия при проведении лазерного шоу в малых залах — кафе, дискотеки; средних — концертный зал, театр; больших — спортивные арены. Изучались вопросы расстановки оборудования и организации лазерного шоу. Проводилась оценка облученности рассеянного лазерного излучения в пучке лазерного излучения на различных расстояниях от источника в местах возможного нахождения артистов и зрителей. Источниками лазерного

излучения служили лазерные проекторы различных фирм, выходной мощности от 1,6 до 21 Вт, излучающие в красной, зеленой, синей областях спектра. Для замеров лазерного излучения использовался прибор ЛАДИН, погрешность измерения 30%. Оценка уровней облученности лазерного излучения проводилась в соответствии с «Санитарными нормами и правилами устройства и эксплуатации лазеров № 5804–91» [5], ГОСТ ССБТ 12.1.031–10 «Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения» [2]. Значение коэффициента степени опасности лазерного излучения рассчитывались с учетом энергетической освещенности и значения ПДУ для каждой длины волны согласно [5] и ГОСТ ИЕС 60825–1–2013 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования, требования и руководство для пользователей» [1].

Результаты и их обсуждение. Изучение расположения оборудования показало, что при проведении лазерного шоу в малых залах с площадью до 100 м² используется одна или несколько установок, расположенных в один ряд (одноуровневое расположение). Расстояние от проектора до зрителей обычно не превышает 7 м. Излучение может быть сканирующим по аудитории или направленным вверх. При многоуровневом размещении установки могут располагаться по одной стороне, но на разных высотах, при этом сканирование по аудитории происходит одновременно со всех уровней.

На площадках площадью более 500 м² установки могут быть размещены с двух сторон и на разных уровнях, возможно наличие экрана, тогда зрители наблюдают за экраном, а также подвергаются сканированию излучением сверху и снизу. Изучение вопросов расстановки оборудования и организации лазерного шоу выявило, что установки могут размещаться на разных уровнях, излучение сканирует по людям и проецируется на экран. Причем для этих целей могут использоваться одни и те же проекторы. Чем больше помещение, тем больше установок может быть использовано. С увеличением площади зала увеличивается не только количество установок, но и мощность используемых проекторов. Действие излучения может быть на различных расстояниях (7, 13, 19 м и более), при различном времени действия, а также при комбинированном действии трех цветов: красного, зеленого и синего.

Проведенными хронометражными исследованиями установлено, 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 от 2, 3, 7 до 20 раз. В связи с этим для оценки интенсивности лазерного излучения изучаемых длин волн рассчитывались ПДУ для различного времени действия излучения. За исходное время выбиралось двойное время мигательного рефлекса, т. е. от 0,5 до 5,0 секунд. Результаты расчетов представлены в табл. 1.

Из таблицы видно, что с увеличением времени воздействия величина ПДУ уменьшается в 2,2 раза. Далее

проводился анализ энергетических освещенностей на различных расстояниях в зависимости от времени действия, т. е. в сравнении с ПДУ для различного времени. Уровни лазерного излучения проекторов различных спектров на различных расстояниях представлены в табл. 2.

Таблица 1

Предельно допустимые уровни лазерного излучения для исследуемых длин волн в зависимости от времени действия, Вт/см²

Время действия, с	Длина волны, нм		
	640	440	532
0,5	$4,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$	$2,0 \times 10^{-4}$
0,75	$3,5 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$
1	$3,2 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-4}$
1,25	$2,9 \times 10^{-4}$	$1,7 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$
2,0	$2,5 \times 10^{-4}$	$1,4 \times 10^{-4}$	$1,2 \times 10^{-4}$
3,0	$2,2 \times 10^{-4}$	$1,3 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$
4,0	$2,0 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$1,0 \times 10^{-4}$
5,0	$1,8 \times 10^{-4}$	$1,1 \times 10^{-4}$	$0,9 \times 10^{-4}$

Из анализа данных табл. 1 и 2 следует, что у проекторов с выходной мощностью до 5 Вт энергетическая освещенность лазерного излучения красной, зеленой и синей областей спектра не превышает ПДУ при многократном воздействии на глаза на расстоянии 19 м от установки только у Kvant SPectrum 1,6W, RGB 2, Cittadini Real Color 3W, а на расстоянии 13 м только от проектора RGB 2. Остальные проекторы опасны на этих расстояниях уже при повторном воздействии. На расстоянии 7 м все изучаемые проекторы опасны либо при однократном, либо 2- и 3-кратном воздействии.

С увеличением мощности установок до 10 Вт увеличивается частота превышения ПДУ лазерного излучения. На расстоянии 19 м от установки энергетическая освещенность лазерного излучения красной, зеленой и синей областей спектра не превышает ПДУ при многократном воздействии на глаза только у Polaris 5RGB 5W, Cittadini Real Color 6W, ARC-Pioner 8500; на расстоянии 13 м только от проектора ARC-Pioner 8500. На расстоянии 7 м все изучаемые проекторы опасны либо при однократном, либо 2- и 3-кратном воздействии.

При многократном действии отмечаются превышения ПДУ лазерного излучения от всех установок мощностью свыше 11 Вт во всех областях спектра. Однако время, при котором наблюдается превышение ПДУ, различно. Наиболее значимые превышения ПДУ выявлялись в синей области спектра при времени действия от 0,5 и более секунд на всех установках.

Хронометражные исследования выявили, что при проведении стандартного лазерного представления все три цвета могут действовать на глаза зрителя одновременно. Согласно СанПиН 5804–91 и ГОСТ ИЕС 60825–1–2013, на основании формулы рассчитывалось значение коэффициента степени опасности лазерного излучения с учетом энергетической освещенности и значения ПДУ для каждой длины волны.

Таблица 2

Уровни лазерного излучения проекторов различных спектров на различных расстояниях

Название установки	Длина волны, нм	Расстояние, м		
		7	13	19
Kvant Spectrum 1,6W	445	$(0,8-1,5) \times 10^{-4}$	$(0,6-1,4) \times 10^{-4}$	$(3,6-4,4) \times 10^{-5}$
	532	$(0,9-1,9) \times 10^{-4}$	$(0,8-1,8) \times 10^{-4}$	$(4,8-7,8) \times 10^{-5}$
	640	$(0,7-2,1) \times 10^{-4}$	$(0,7-2,0) \times 10^{-4}$	$(5,7-8,0) \times 10^{-5}$
ARCTOS 2000	445	$(0,6-1,5) \times 10^{-4}$	$(1,3-1,8) \times 10^{-7}$	$(2,5-2,6) \times 10^{-8}$
	532	$(3,2-4,2) \times 10^{-4}$	$(2,1-2,3) \times 10^{-4}$	$(4,8-5,5) \times 10^{-5}$
	640	$(2,9-3,6) \times 10^{-4}$	$(2,3-2,9) \times 10^{-4}$	$(1,2-1,8) \times 10^{-4}$
Cittadini Real Color 3W	440	$(1,5-2,1) \times 10^{-4}$	$(0,7-1,5) \times 10^{-4}$	$(1,4-2,9) \times 10^{-7}$
	532	$(2,1-3,0) \times 10^{-4}$	$(0,6-2,1) \times 10^{-4}$	$(2,1-2,9) \times 10^{-5}$
	640	$(1,5-4,1) \times 10^{-4}$	$(1,1-3,5) \times 10^{-4}$	$(1,8-3,1) \times 10^{-5}$
POLARIS SRGB 5W	446	$(0,9-2,3) \times 10^{-4}$	$(0,8-1,1) \times 10^{-4}$	$(6,1-8,6) \times 10^{-5}$
	532	$(1,5-1,8) \times 10^{-4}$	$(0,2-1,1) \times 10^{-4}$	$(7,0-8,1) \times 10^{-5}$
	650	$(1,9-2,2) \times 10^{-4}$	$(0,8-1,1) \times 10^{-4}$	$(7,1-8,9) \times 10^{-5}$
Kvant Spectrum 6W	445	$(1,8-2,9) \times 10^{-4}$	$(1,4-2,6) \times 10^{-4}$	$(1,1-1,9) \times 10^{-4}$
	532	$(2,3-4,3) \times 10^{-4}$	$(1,9-4,1) \times 10^{-4}$	$(1,6-3,6) \times 10^{-4}$
	640	$(1,7-5,1) \times 10^{-4}$	$(1,5-5,0) \times 10^{-4}$	$(1,1-4,5) \times 10^{-4}$
ARC-Pioner 8500	480	$(0,1-2,0) \times 10^{-5}$	$(2,8-4,2) \times 10^{-6}$	$(1,0-1,5) \times 10^{-7}$
	532	$(0,2-1,1) \times 10^{-4}$	$(2,8-6,0) \times 10^{-5}$	$(0,7-1,9) \times 10^{-6}$
	670	$(0,5-1,2) \times 10^{-5}$	$(0,6-9,0) \times 10^{-5}$	$(0,7-2,6) \times 10^{-6}$
Kvant Spectrum 10W	445	$(2,8-4,9) \times 10^{-4}$	$(1,4-2,4) \times 10^{-4}$	$(1,8-2,6) \times 10^{-5}$
	532	$(2,9-6,3) \times 10^{-4}$	$(1,8-4,6) \times 10^{-4}$	$(0,7-1,3) \times 10^{-4}$
	640	$(2,7-6,1) \times 10^{-4}$	$(2,1-4,1) \times 10^{-4}$	$(1,7-2,3) \times 10^{-5}$
TechArt Spectr 11W RGB	445	$(1,5-7,0) \times 10^{-4}$	$(1,7-5,3) \times 10^{-4}$	$(0,5-2,3) \times 10^{-4}$
	532	$(2,3-4,6) \times 10^{-4}$	$(2,0-4,2) \times 10^{-4}$	$(0,8-1,6) \times 10^{-4}$
	640	$(1,5-5,5) \times 10^{-4}$	$(1,8-5,7) \times 10^{-4}$	$(0,5-1,9) \times 10^{-4}$
Cittadini Real COLOR 12W.	440	$(3,8-6,1) \times 10^{-4}$	$(2,1-4,4) \times 10^{-4}$	$(1,7-2,3) \times 10^{-4}$
	532	$(4,3-7,3) \times 10^{-4}$	$(2,6-5,2) \times 10^{-4}$	$(1,9-2,7) \times 10^{-4}$
	640	$(3,4-8,2) \times 10^{-4}$	$(2,1-6,3) \times 10^{-4}$	$(1,1-2,9) \times 10^{-4}$
Kvant Spectrum 14W	445	$(3,8-6,3) \times 10^{-4}$	$(3,4-6,1) \times 10^{-4}$	$(0,5-2,9) \times 10^{-4}$
	532	$(4,4-8,1) \times 10^{-4}$	$(3,9-7,2) \times 10^{-4}$	$(2,1-4,9) \times 10^{-4}$
	640	$(3,7-9,1) \times 10^{-4}$	$(3,5-8,4) \times 10^{-4}$	$(2,6-5,6) \times 10^{-4}$
Cittadini Real Color 20W	440	$(3,8-5,9) \times 10^{-4}$	$(2,3-4,4) \times 10^{-4}$	$(1,3-2,2) \times 10^{-4}$
	532	$(3,9-7,3) \times 10^{-4}$	$(2,8-6,4) \times 10^{-4}$	$(2,4-3,7) \times 10^{-4}$
	640	$(3,7-6,9) \times 10^{-4}$	$(2,4-5,3) \times 10^{-4}$	$(1,2-2,3) \times 10^{-4}$
TechArt Spectr 21W RGB	445	$(1,5-8,5) \times 10^{-4}$	$(1,4-6,2) \times 10^{-4}$	$(0,5-2,9) \times 10^{-4}$
	532	$(2,3-4,9) \times 10^{-4}$	$(2,4-6,8) \times 10^{-4}$	$(0,7-1,8) \times 10^{-4}$
	640	$(1,5-8,1) \times 10^{-4} *$	$(2,3-7,4) \times 10^{-4}$	$(0,5-2,9) \times 10^{-4}$

Примечание: полужирным отмечены величины, превышающие ПДУ лазерного излучения для глаз при однократном действии (для времени — 0,25 с).

$$\frac{\text{ЭО синего спектра}}{\text{ПДУ ЭО синего спектра}} + \frac{\text{ЭО зеленого спектра}}{\text{ПДУ ЭО зеленого спектра}} + \frac{\text{ЭО красного спектра}}{\text{ПДУ ЭО красного спектра}} \leq 1$$

Значение коэффициента степени опасности лазерного излучения проекторов в зависимости от времени и расстояния представлены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, все установки (кроме ARC-Pioner 8500) имеют коэффициент более единицы на расстоянии 7 м при однократном воздействии на глаза. С увеличением расстояния количество установок с коэффициентом менее единицы возрастает (13 м — три установки, 19 м — 8 установок).

При воздействии на глаза в течение 5 секунд на расстоянии 7 м все установки имеют коэффициент

более единицы. С увеличением расстояния до 13 м практически ничего не меняется: только установка RGB 2 имеет коэффициент менее единицы. На расстоянии 19 м шесть установок имеют коэффициент менее единицы, это RGB 2, ARCTOS 2000, Cittadini Real Color 3W, ARC-Pioner 8500, Kvant Spectrum 10W, ARCTOS 10000.

Таким образом, представлены результаты гигиенических исследований, позволяющие установить риск неблагоприятного действия лазерного излучения на человека.

Таблица 3

Значение коэффициента степени опасности лазерного излучения проекторов в зависимости от времени и расстояния

Название установки	0,25 с.			5,0 с.		
	7 м	13 м	19 м	7 м	13 м	19 м
Kvant Spectrum 1,6W	1,8*	1,4*	0,6	4,6*	4,4*	1,7*
RGB 2	2,04*	0,21	0,05	5,28*	0,55	0,15
ARCTOS 2000	3*	1,07*	0,58	8,03*	4,17*	1,61*
GS-2W	3,2*	2,1*	1,1*	8,7*	5,7*	3,2*
Cittadini Real Color 3W	2,86*	1,52*	1,22*	7,52*	5,6*	3,4*
Polaris SRGB 5W	2,08*	1,1*	0,00013	5,31*	2,83*	0,00034
Cittadini Real Color 6W	3,90*	3,1*	0,00017	10,25*	8,23*	0,00043
Kvant Spectrum 6W	3,9*	3,7*	3,1*	10,2*	8,2*	8,2*
ARC-Pioner 8500	0,54	0,42	0,00020	1,47*	1,17*	0,00052
Kvant Spectrum 10W	2,24*	0,72	0,00022	5,86*	1,98*	0,00057
ARCTOS 10000	3,06*	1,28*	0,35	7,99*	3,43*	0,98
TechArt Spectr 11W RGB	5,7*	4,9*	1,9*	14,5*	12,7*	4,9*
Cittadini Real Color 12W	7,0*	5,1*	2,6*	18,2*	13,3*	6,7*
Kvant Spectrum 14W	7,6*	7,0*	4,2*	19,8*	18,2*	11,2*
Kvant Spectrum 20W	6,7*	5,4*	2,8*	17,3*	14,1*	7,4*
Cittadini Real Color 20W	6,66*	5,38*	2,42*	17,31*	14,06*	6,28*
TechArt Spectr 21W RGB	7,0*	6,7*	2,5*	17,7*	17,3*	6,2*

Примечание: * — величины, превышающие ПДУ лазерного излучения для глаз.

Выводы:

1. Риск неблагоприятного действия лазерного излучения на человека зависит от времени действия, длины волны излучения, расстояния до человека.
2. Проекторы с мощностью свыше 10 Вт, излучающие в трех областях спектра, опасны на расстоянии 19 м как при однократном, так и при многократном воздействии на глаза.
3. Использование проекторов мощностью свыше 10 Вт возможно на расстояниях до зрителей свыше 20 м при обязательном расчете лазероопасных зон и коэффициента степени опасности, учитывающего действие всех трех цветов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ ИЕС 60825-1-2013 «Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1 Классификация оборудования, требования и руководство для пользователей». — М.: Стандартинформ, 2014. — 78 с.
2. ГОСТ Р 12.1.031-2010 «Система стандартов безопасности труда ЛАЗЕРЫ Методы дозиметрического контроля лазерного излучения». — М.: Стандартинформ, 2012. — 49 с.
3. Малькова Н.Ю. Романенко Е.И., Спиридонов П.Ю. Влияние лазерного излучения проекторов на функциональное состояние зрительного анализатора подростков // Профилактич. и клинич. мед — 2014. — № 3(52). — С. 81-84.
4. Малькова Н.Ю. Ушкова И.Н., Романенко Е.И. Влияние лазерного излучения от проекторов на орган зрения // Мед. труда и пром. экол. — 2014. — №9. — С. 37-40.

5. «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» № 5804-91 от 31.06.91 г. — М., 1992. — 94 с.

REFERENCES

1. GOST IEC 60825-1-2013 «Laser equipment safety. Part 1. Classification of equipment, requirements and users manual». — Moscow: Standartinform, 2014. — 78 p. (in Russian).
2. GOST R 12.1.031-2010 «System of work safety standards LASERS Methods of dosimetry control of laser radiation». — Moscow: Standartinform, 2012. — 49 p. (in Russian).
3. Malkova N.Yu. Romanenko E.I., Spiridonov P.Yu. Influence of laser radiation of projectors on functional state of adolescents' visual analyzer // Profilakticheskaya i klinicheskaya medicina. — 2014. — 3(52). — P. 81-84 (in Russian).
4. Malkova N.Yu. Ushkova I.N., Romanenko E.I. Influence of laser radiation from projectors on visual organ // Med. truda i prom. ekolog. — 2014. — 9. — P. 37-40 (in Russian).
5. «Sanitary rules and regulations for construction and use of lasers» № 5804-91 ot 31.06.91. — Moscow, 1992. — 94 p. (in Russian).

Поступила 15.03.2018

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ

Малькова Наталья Юрьевна (Mal'kova N.Yu.),
г. науч. сотр. ФБУН «СЗНЦ гигиены и общественного здоровья», проф. каф. гиг. условий воспитания, обучения, труда и радиац. гиг. ГБУ ВПО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова», д-р биол. наук. E-mail: lasergrmal@mail.ru.