

Защита от лазерного излучения и расчет класса опасности лазерного модуля опто-электронного анализатора размеров микрочастиц

Метлов П. О.¹, Гордиевская А. В.², Титов А. А.³

¹Метлов Павел Олегович / Metlov Pavel Olegovich – инженер;

²Гордиевская Анастасия Владимировна / Gordievskaya Anastasia Vladimirovna – инженер;

³Титов Аркадий Арсеньевич / Titov Arkadii Arsenevich – кандидат технических наук, доцент,
кафедра приборов и информационно-измерительных систем,
Институт комплексной безопасности и специального приборостроения
Московский технологический университет, г. Москва

Аннотация: приводится расчет класса опасности лазерного модуля устройства, а также рассматриваются технические меры безопасности при эксплуатации опто-электронного анализатора размеров микрочастиц.
Ключевые слова: лазерный модуль, лазерное излучение, лазерная безопасность.

УДК 681.7.08+621.373.826:681.2.78

Лазерные технологии все больше интегрируются в новые сферы деятельности. Лазерная промышленность интенсивно развивается, осваивает новые применения и открывает новые возможности. Но превосходные свойства лазерного излучения вместе с тем создают и высокую опасность поражения человека.

Лазерное излучение высокой мощности ведёт к возможности поражения за короткий промежуток времени. Малый размер пучка способствует сосредоточению энергии на локальном участке. Из-за малой расходимости сохраняется опасность поражения при распространении пучка на большие расстояния. В зависимости от условий облучения можно получить поверхностный либо проникающий ожог кожи, опасно повысить внутриглазное давление, повредить сетчатку глаза. Биологические эффекты воздействия лазерного излучения на организм определяются механизмами взаимодействия излучения с тканями и зависят от длины волны излучения, длительности воздействия, площади облучаемого участка, а также от биологических и физико-химических особенностей облучаемых тканей и органов.

Возможность отрицательного воздействия на организм человека рассмотрим на примере прототипа прибора разработанного в ходе научно-исследовательской работы. На рисунке 1 представлена функциональная схема устройства.

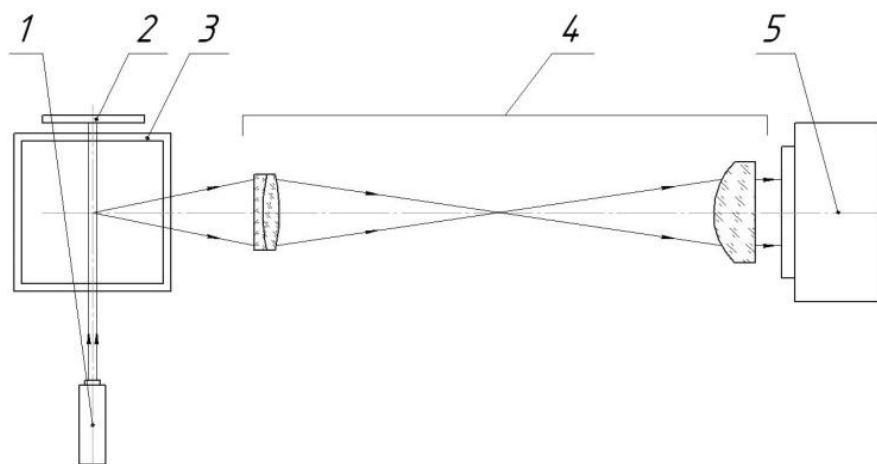


Рис. 1. Функциональная схема устройства: 1 – Лазерный модуль; 2 – Экран; 3 – Измерительный объем; 4 – Микроскоп; 5 – Видеокамера

Для увеличения видимого размера песчинок используется оптическая схема микроскопа (4), состоящая из ахроматического микрообъектива и микроокуляра Гюйгенса. Регистрация процесса пролета увеличенных микрочастиц в измерительном объеме (3) производится скоростной видеокамерой (5) в режиме видеозаписи с дальнейшей передачей на компьютер для обработки.

В качестве источника лазерного излучения использован полупроводниковый лазерный модуль (1) мощностью 10 мВт и длиной волны 640 нм. Экран (2) используется для предотвращения выхода лазерного луча за пределы устройства, а также для калибровки установки [1].

При эксплуатации лазерного модуля в опто-электронном анализаторе размеров микрочастиц могут возникнуть вредные и опасные факторы воздействия прямого и диффузно рассеиваемого лазерного излучения, приведенные в ГОСТе 12.0.003-74* [2].

Прямое и диффузное рассеиваемое лазерное излучение при эксплуатации лазерного модуля устройства

Правила безопасной работы и способы защиты от лазерного излучения на территории Российской Федерации регламентируются СанПиН 5804-91 [3].

Биологические эффекты от воздействия лазерного излучения на организм, делятся на две группы: первичные эффекты – органические изменения, возникающие непосредственно в облучаемых тканях и вторичные эффекты – неспецифические изменения, возникающие в организме в ответ на облучение.

В проектируемом приборе используется полупроводниковый лазерный модуль, характеристики представлены в таблице 1.

Таблица 1. Характеристика лазерного модуля

Длина волны, мкм	0,64
Мощность излучения, мВт	10
Диаметр лазерного луча, мм	2,5
Угол расхождения	5° (0,0873 рад)

Для анализа опасных и вредных производственных факторов, возникающих при эксплуатации лазера, необходимо определить класс опасности лазера [4].

За предельно допустимые уровни лазерного излучения принимаются энергетические экспозиции для роговицы, сетчатки и кожи не вызывающие биологического поражения. Предельно допустимый уровень лазерного излучения видимой областей спектра для длин волн от 0,38 до 0,74 мкм, поступающий на роговицу глаза, определяется по формуле (1):

$$H = H_1 \cdot K_1, \quad (1)$$

где H_1 – энергетическая экспозиция на роговице глаза в зависимости от длительности воздействия и углового размера источника излучения при максимальном диаметре зрачка равным 8 мм, Дж·см⁻²;

K_1 – поправочный коэффициент на длину волны при максимальном диаметре зрачка.

Длительность воздействия лазерного излучения примем равным мигательному рефлексу 0,5 с. В таблице 2 приведено значение энергетической экспозиции (H_1) на роговице глаза.

Таблица 2. Энергетическая экспозиция (H_1)

Значений углового размера источника (α), рад	От 10^{-2} до $5 \cdot 10^{-2}$
Длительность воздействия, с	От 10^{-1} до 1
Энергетическая экспозиция (H_1), Дж·см ⁻²	0,012

Поправочный коэффициент K_1 для длины волны от 0,45 до 0,9 мкм составляет 0,8. Рассчитаем предельно допустимый уровень лазерного излучения, поступающий на роговицу глаза, используя формулу (1):

$$H = 0,012 \cdot 0,8 = 0,0096 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}.$$

Энергия лазерного излучения, определяется по формуле (2):

$$E = P \cdot t, \quad (2)$$

где P – мощность лазерного излучения, Вт;

t – время действия лазерного излучения, с.

$$E = 0,01 \cdot 0,5 = 0,005 \text{ Дж}.$$

Предельно допустимый уровень энергетической экспозиции кожи в спектральном диапазоне от 0,5 до 0,9 мкм рассчитывается по формуле (3):

$$H_k = 7 \cdot \sqrt[5]{t}, \quad (3)$$

где t – время действия лазерного излучения, с.

$$H_k = 7 \cdot \sqrt[5]{0,5} = 6,094 \text{ Дж} \cdot \text{см}^{-2}.$$

Вычислим безразмерный параметр U_k по формуле (4):

$$U_k = \frac{E}{\pi \cdot r^2 \cdot H_k}, \quad (4)$$

где E – энергия, генерируемая лазерным излучением, Дж;

r – радиус пучка излучения, см;

H_k – предельно допустимый уровень энергетической экспозиции кожи, Дж·см⁻².

$$U_k = \frac{0,005}{3,1415 \cdot 0,125^2 \cdot 6,094} = 0,0299.$$

С помощью графика на рисунке 2 выявим принадлежность лазера к определенному классу опасности.

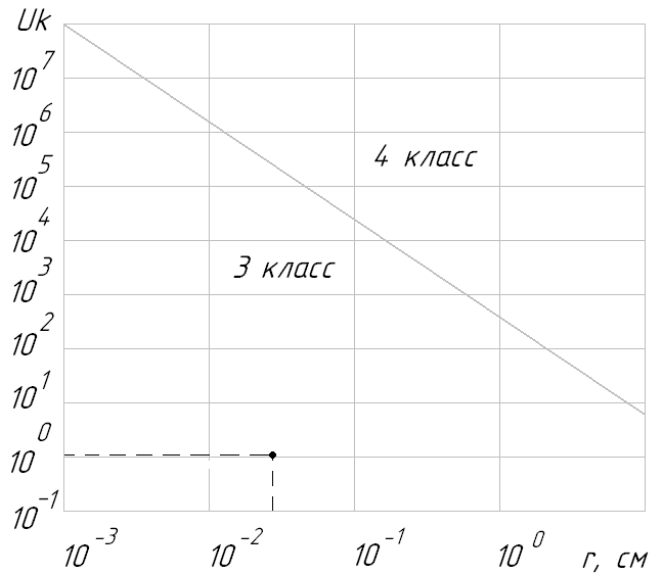


Рис. 2. Зависимость параметра U_k от радиуса пучка излучения

Из графика зависимости параметра U_k от радиуса пучка излучения видно, что лазер не относится к 4 классу опасности. Определим класс опасности лазера с учетом первичных U_n и вторичных U_v биологических эффектов.

Вычислим безразмерные параметры U_n и U_v по формулам (5) и (6):

$$U_n = \frac{E}{\pi \cdot r^2 \cdot H}, \quad (5)$$

где H – предельно допустимый уровень лазерного излучения, поступающий на роговицу глаза, Дж·см⁻².

$$U_v = \frac{E \cdot n}{\pi \cdot r^2 \cdot H_\lambda}, \quad (6)$$

где n – количество излучений на глаз за рабочий день ($n=5$);

H_λ – предельно допустимый уровень энергетической экспозиции роговицы глаза за рабочий день для длины волны лазерного модуля ($\lambda=0,64$ мкм), Дж·см⁻².

$$U_n = \frac{0,005}{3,1415 \cdot 0,125^2 \cdot 0,0096} = 10,6103,$$

$$U_v = \frac{0,005 \cdot 5}{3,1415 \cdot 0,125^2 \cdot 10^{-7}} = 5,093 \cdot 10^6.$$

С помощью графиков на рисунках 3 и 4 определим класс опасности лазера по первичным и вторичным биологическим эффектам.

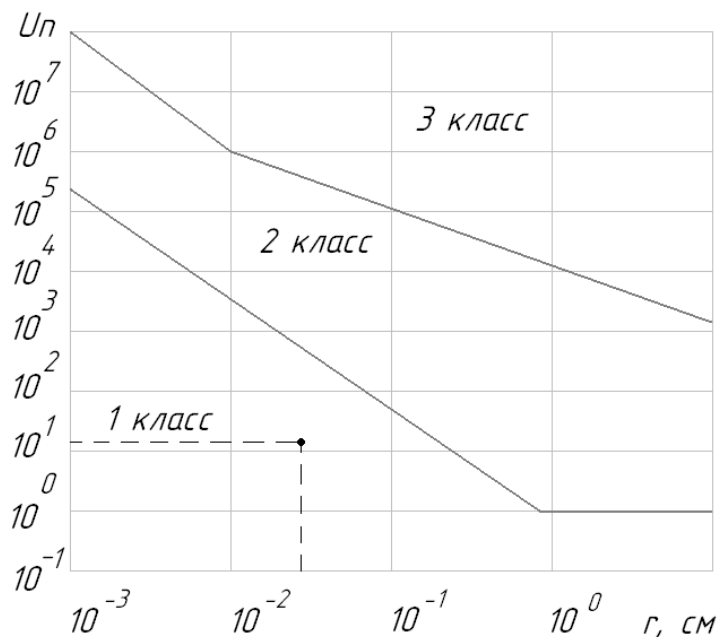


Рис. 3. Зависимость параметра U_n от радиуса пучка излучения

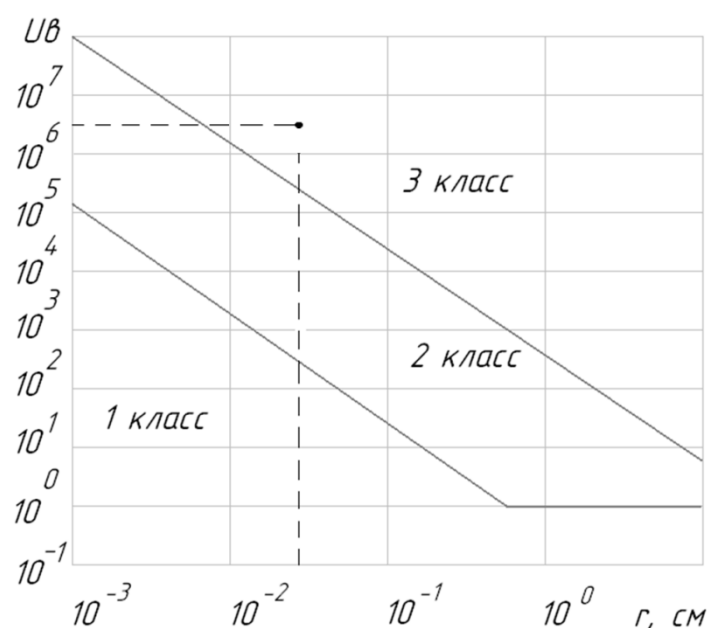


Рис. 4. Зависимость параметра U_v от радиуса пучка излучения

Из графиков зависимость параметра U_n и U_v от радиуса пучка излучения делаем вывод, что данный лазерный модуль относится к 3 классу опасности.

Опасные и вредные производственные факторы для лазеров 3 класса в соответствии с СН 5804-91 представлены в таблице 3.

Таблица 3. Перечень опасных и вредных факторов

Опасные и вредные производственные факторы	Класс опасности
	III
Прямое и зеркальное отражение лазерного излучения	+
Диффузное отражение лазерного излучения	+
Повышенное напряжение электропитания	+
Повышенная запыленность, загазованность	-(+)
Повышенная яркость света	-(+)
Повышенный уровень инфракрасного излучения	-(+)
Повышенная температура поверхности оборудования	-(+)

Лазерная безопасность

Рассмотрим меры безопасности от возникающих опасных и вредных факторов при эксплуатации устройства. Выполнение требований безопасности обеспечивает исключение или максимальное уменьшение возможности облучения персонала лазерным излучением.

Внутренние поверхности корпуса, в котором находится лазерный модуль, изготовлены черного матового цвета максимально поглощающего лазерное излучение. Особые требования предъявляются к зоне контакта лазерного луча с объектом исследования, данный узел закрыт защитным корпусом. Внутренние поверхности защитного корпуса покрыты краской черного цвета с отсутствием отражающих элементов.

Лазерный модуль маркирован знаком лазерной опасности ГОСТ Р 31581-2012 [5].

Для 3 класса опасности лазера та часть защитного корпуса, при снятии или смещении которой возможен доступ персонала к лазерному излучению, имеет табличку с надписью «Внимание! При открытии – лазерное излучение. Не смотреть в пучок и не наблюдать непосредственно с помощью оптических инструментов».

При проведении наладочных и юстировочных работ в качестве мишени используется визуализатор. Для индикации излучения также применяется матовая, термочувствительная бумага. Место для проведения наладочных и юстировочных работ лазерного модуля должно быть ограждено щитами, а работник производящий настройку лазерного модуля обязан надеть защитные очки снижающие уровень лазерного излучения до предельно допустимого уровня. Рекомендованные защитные очки для работы с вышеупомянутым лазерным модулем: очки марки ЗН62-Л 17 со светофильтрами марки Л 17.

Таким образом, можно подвести итоги исследования: был рассчитан класс опасности лазерного модуля, рассмотрены меры безопасности от возникающих опасных и вредных факторов при эксплуатации лазерного модуля в комплексе устройства. При разработке блока сбора микрочастиц содержащий лазерный модуль была учтена необходимость защиты персонала от возможности облучения лазерным излучением.

Данная работа проводилась при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере по программе «УМНИК» по теме «Разработка измерителя размеров микрочастиц и аэрозолей» в рамках договора № 9400 ГУ2/2015 от 28 декабря 2015 г.

Литература

1. *Метлов П. О., Гордиевская А. В., Титов А. А.* Проектирование оптико-электронного анализатора размеров микрочастиц // Наука, техника и образование, 2016. № 9 (27). С. 32-36.
2. ГОСТ 12.0.003-74*. ССБТ. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация.
3. СанПиН 5804-91. «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров». М.: Минздрав СССР, 1991 г.
4. *Белова С. В., Ильницкая А. В., Козьяков А. Ф.* Безопасность жизнедеятельности. М.: Высшая школа, 2007 г. 616 с.
5. ГОСТ Р 31581-2012. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий.