

ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЛАЗЕРНОЙ БЕЗОПАСНОСТИ В РАЗРАБОТКЕ И МАКЕТИРОВАНИИ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ ПРИБОРОВ

С. И. Пырикова

Федеральный центр науки и высоких технологий
«Специальное научно-производственное объединение “ЭЛЕРОН”»
АО «ФЦНИВТ «СНПО “Элерон”»

На стадиях разработки, макетирования и юстировки отдельных узлов и систем, лазерных оптико-электронных приборов (ОЭП) специалисты подвергаются опасному воздействию лазерного излучения. Требования по лазерной безопасности в России нормируются государственными стандартами и СНиП 5804-91 [1,2], в США – ANSI Z136 (American National Standard for safe Use of Lasers) [3].

Оценка воздействия лазерного излучения на организм человека предусматривает определение класса опасности лазеров и предельно допустимых уровней (ПДУ) лазерного излучения для четырех спектральных диапазонов с учетом зависимостей коэффициентов поглощения биотканей от длины волны.

Исследования воздействия лазерного излучения на живые системы давно и успешно развиты в России. Принятие на вооружение армии США лазерных оптико-электронных систем стимулировало и интенсифицировало развитие исследований, так как оказалось, что их излучение оказывает негативное действие на кожные покровы, центральную нервную систему, вызывает нарушение зрительных функций [7].

Глаз является уникальным селективным приемником света, способным реагировать на электромагнитные волны 0,40–0,76 мкм. Чувствительность глаза к различным длинам волн характеризуется кривой видности, адаптированной к дневной яркости, с максимумом 0,555 мкм, условно принимаемой за единицу. Разрешающая способность глаза определяется согласующимися размерами светочувствительных элементов сетчатки и структурой дифракционного изображения светящихся точек. При увеличении освещенности до 3 лк работает палочковый аппарат, затем до 30 лк работают и палочковый и колбочковый аппараты, от 30 до сотен тысяч люкс свет воспринимают колбочки. Минимальная освещенность на зрачке (пороговый блеск), которую может обнаружить наблюдатель, зависит от ряда факторов, условий наблюдения и местоположения источника света. В случае полной темноты пороговый блеск составляет около 1 нлк. Динамический диапазон воспринимаемых глазом освещенностей составляет 10^{14} [5].

Обеспечение защиты органов зрения при работе с лазерными источниками излучения регламентируют специальные стандарты на средства индивидуальной защиты в зависимости от целевой функции выполняемых работ.

Разработка, макетирование и юстировка лазерных оптико-электронных приборов предполагают взаимодействие специалистов с прямым, зеркальным и диффузно-отраженным лазерным излучением в стационарных и полевых условиях.

В современных высокоточных дальномерах, лидарах, лазерных локаторах для целей наведения и измерений в условиях открытой приземной атмосферы, в большинстве случаев, применяются лазеры видимого и инфракрасного (ИК) диапазонов, первого, второго и третьего классов опасности. Например, в серийных лазерных высокоточных дальномерах, используемых в составе эталонных средств измерения длин, применяются лазерные устройства класса 3R, рассматриваемые как потенциально опасные. Потенциальные риски связаны не только с самими лазерными лучами, но и с пучками, отраженными от отражателей, окон, зеркал, металлических предметов и т. п. Степень потенциальной опасности зависит от мощности источника, длины волны, длительности импульса и частоты его следования, условий распространения, отражения и рассеяния лазерного излучения.

Степень воздействия на живой организм характеризуются свойствами облучаемого объекта: оптическими характеристиками тканей (коэффициентом отражения, пропускания, поглощения), электрическими, биофизическими, биохимическими, акустическими свойствами. Эффект воздействия лазерного излучения в зависимости от длины волны, плотности энергии и времени воздействия определяется, в основном, оптическими и термическими свойствами тканей [9]. Лазерное излучение представляет опасность для поглощающих биотканей. Наиболее чувствительными к лазерному излучению являются глаза.

По стандарту ANSI Z136 существует ряд специальных мер безопасности, в том числе, защита глаз, специальное помещение, ограничение пути луча, обучение персонала и предупредительные надписи, отражающие свойства цели.

Количественные характеристики, по которым определяют класс опасности лазеров, называют предельно допустимыми уровнями (ПДУ) лазерного излучения. ПДУ характеризуются свойствами лазерного излучения, при которых происходят первичные изменения в облучаемых тканях. ПДУ определяется для четырех спектральных диапазонов: УФ (180–380 нм), видимого (380–750 нм), ИК (750–1400 нм) и в диапазоне 1400–10⁵ нм с учетом зависимостей коэффициентов поглощения от длины волны. Различают однократное и хроническое условия облучения. Для расчета предельно допустимых уровней лазерного излучения важно учитывать уровень освещенности или фона (день, ночь, сумерки).

Средством индивидуальной защиты глаз являются очки, предназначенные для защиты от прямого рассеянного и отраженного лазерного излучения. Очки должны отвечать требованиям европейских (DIN EN 207/208) или отечественных [4] стандартов защиты от лазерного излучения.

Согласно требованиям европейских стандартов защитные очки, с сертификатом DIN EN 207 должны обеспечивать полную защиту от лазерного излучения. Для разработки лазерных опико-электронных систем, процессов юстировки и макетирования оборудования следует использовать очки для защиты при юстировании с сертификатом DIN EN 208, которые пропускают часть лазерного излучения. Защитные очки от лазерного излучения состоят из фильтра и оправы.

Технические требования к очкам для защиты от лазерного излучения, а именно к спектральному и световому коэффициентам пропускания, устойчивости к лазерному излучению светофильтров и защитных очков, преломляющему действию светофильтров, к качеству материала и чистоте поверхности светофильтров, устойчивости к UV-излучению и повышенной температуре и воспламенению, к конструкции и механической прочности светофильтров и защитных очков, к оправам, полю зрения очков изложены в [4].

Нормируемыми параметрами лазерного излучения являются энергетическая экспозиция H и облученность E , усредненные по ограничивающей апертуре (апертура – отверстие в защитном корпусе лазера, через которое испускается лазерное излучение). Наряду с ними нормируемыми параметрами являются также энергия W и мощность P излучения, прошедшего через апертуру. Параметры связаны соотношениями:

$$H_{\text{пду}} = \frac{W_{\text{пду}}}{S_a}, \quad (1)$$

где $H_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение энергетической экспозиции; $W_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение энергии, Дж; S_a – площадь апертуры, м²

$$E_{\text{пду}} = \frac{P_{\text{пду}}}{S_a}, \quad (2)$$

$E_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение облученности; S_a – площадь апертуры, м²; $P_{\text{пду}}$ – предельно допустимое значение мощности, Вт.

Выбор защитных фильтров производится по длине волны лазерного излучения и оптической плотности светофильтра (3), (4).

$$D_\lambda \geq \lg \frac{H_{\text{max}}(E_{\text{max}})}{H_{\text{пду}}(E_{\text{пду}})}, \quad (3)$$

или

$$D_\lambda \geq \lg \frac{W_{\max}(P_{\max})}{W_{\text{пду}}(P_{\text{пду}})}, \quad (3)$$

(для диапазона $380 < \lambda \leq 1400$ нм),

где H_{\max} , E_{\max} , W_{\max} , P_{\max} – максимальные значения энергетических параметров лазерного излучения в рабочей зоне, $H_{\text{пду}}$, $E_{\text{пду}}$, $W_{\text{пду}}$, $P_{\text{пду}}$ – предельно допустимые уровни энергетических параметров при хроническом облучении.

Как видно из вышеприведенных формул, для расчета оптической плотности необходимо знать максимальные энергетические параметры лазерного излучения в рабочей зоне, а также ПДУ излучения при хроническом воздействии. Максимальные значения энергетических параметров в рабочей зоне определяются при индивидуальном дозиметрическом контроле. ПДУ энергетических параметров при хроническом воздействии определяются в соответствии с максимальными параметрами лазерной установки по СанПиН 5804-91.

Основной характеристикой светофильтров очков является степень защиты глаз от воздействия излучения на рабочей (лазерной) длине волны. Она определяется по спектральному коэффициенту пропускания светофильтра T_λ на рабочей длине волны и показывает на сколько порядков уменьшается лазерное излучение после прохождения его через очки. Степень защиты N соответствует оптической плотности и определяется следующим образом:

$$N = \lg \frac{1}{T_\lambda}, \quad (5)$$

Расчет предельно допустимых уровней коллимированного лазерного излучения в диапазоне $380 < \lambda \leq 1000$ нм при однократном облучении глаз произведен в разработанной программе. На рисунках 1 и 2 показаны окна программы расчета предельно допустимых уровней мощности и энергии.

7 Расчет предельно допустимой мощности

Значение длины волны от 380 нм до 700 нм и от 750 нм до 1000 нм

Длительность облучения от 1,0 с

Введите

Длина волны (нм)

Длительность облучения, с

Предельно допустимая мощность, Вт

Рис. 1. Окно ввода и вывода программы расчета предельно допустимой мощности $P_{\text{пду}}$ излучения, прошедшего через апертуру

Расчет энергии излучения прошедшего через апертуру излучения

Значение длины волны от 380 нм до 1000 нм

Длительность облучения до 1,0 с

Введите Энергия излучения прошедшего через апертуру излучения, Дж

Длина волны (нм)

Длительность облучения, с

Рис. 2. Окно ввода и вывода программы расчета предельно допустимой энергии $W_{\text{пду}}$ излучения, прошедшего через апертуру

С использованием разработанной программы определены защитные свойства следующих марок очков производителя NOIR (США): 5PL, AL3, DIA, ML3, RBA, DBY, BGR. Рассчитана оптическая плотность светофильтров в условиях реального рабочего времени. Получены предельно допустимые значения энергии и мощности для работы с лазерами III класса опасности (450, 515, 670, 850 нм).

Список литературы

1. СанПиН 5804-91. Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров.
2. ГОСТ 31581-2012. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий. М.: Стандартинформ, 2013.
3. American National Standart for Safe Use of Lasers Outdoors. ANSI Z136.6– 2015-Orlando.: Laser Institut of America, 2015.
4. ГОСТ Р 12.4.254-2010 (ЕН 207:1998 +А1:2002) Система стандартов безопасности труда (ССБТ). Средства индивидуальной защиты глаз. Очки для защиты от лазерного излучения. Общие технические требования и методы испытаний.
5. Чигирев Б. И. Биофизика органов чувств. Учебное пособие, Л.: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2001. С. 80.
6. Кириллов А. И., Морсков В. Ф., Устинов Н. Д. Дозиметрия лазерного излучения / Под ред. Н. Д. Устинова. М.: Радио и связь, 1983.
7. Загидуллин Р. Ш., Рождествин В. Н., Коростелев В. А. Лазерные передающие устройства в системах связи и локации: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 1983.
8. Конвенция о запрещении или ограничении применения конкретных видов обычного оружия, которые могут считаться наносящими чрезмерные повреждения или имеющими неизбирательное действие. Протокол IV. Протокол об ослепляющем лазерном оружии. 13.10.1995 г. Вена.
9. Таксанц М. В. Охрана труда и правила техники безопасности при работе на лазерных установках: Учебное пособие. М.: Изд-во МГТУ им. Баумана, 2012.