

Министерство образования и науки Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

В.А. Солопова, В.Д. Баширов

# **ВЫБОР СРЕДСТВ ЗАЩИТЫ ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ**

Рекомендовано к изданию Редакционно-издательским советом федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Оренбургский государственный университет» в качестве методических указаний для студентов, обучающихся по программам высшего образования по направлению подготовки 20.03.01 Техносферная безопасность

Оренбург  
2016

УДК 614.8: 535.3 (076.5)  
ББК 68.9я7+22.34я7  
С 60

Рецензент - кандидат технических наук, доцент Н.Н. Рахимова

**Солопова, В.А.**  
С 60 Выбор средств защиты от лазерного излучения: методические указания / В.А. Солопова, В.Д. Баширов; Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург : ОГУ, 2016. – 27 с.

В методических указаниях приведены основные теоретические понятия о лазерном излучении, позволяющие студенту самостоятельно освоить данный вопрос. Представлены: методика расчета класса опасности лазера, таблица средств защиты от лазерного излучения и варианты для решения задач.

Методические указания предназначены для бакалавров, изучающих курс энергетические загрязнения биосферы.

УДК 614.8: 535.3 (076.5)  
ББК 68.9я7+22.34я7

© Солопова В.А.,  
Баширов В.Д., 2016  
© ОГУ, 2016

## Содержание

Введение.....	4
1 Основные положения.....	5
1.1 Краткая характеристика различных типов лазеров и их применение .....	7
1.2 Действие лазерного излучения на организм человека .....	9
1.3 Нормирование и дозиметрия лазерного излучения .....	11
2 Методика расчета лазерного излучения .....	15
2.1 Ультрафиолетовый диапазон спектра .....	15
2.2 Видимый диапазон спектра.....	16
2.3 Ближний инфракрасный (ИК) диапазон спектра .....	20
2.4 Дальний инфракрасный (ИК) диапазон спектра .....	20
3 Мероприятия и средства защиты от лазерного излучения .....	21
4 Задание для самостоятельной работы .....	24
4.1 Порядок выполнения задания .....	24
5 Вопросы для самоконтроля .....	25
Список использованных источников .....	26
Приложение А Таблица А.1 – Варианты исходных данных .....	27

## Введение

Лазеры представляют собой устройства, которые генерируют оптическое излучение большой мощности в определенной узкой области длины волны. Они позволяют сконцентрировать огромную энергию на очень небольшой площади и достичь при этом температуры в несколько миллионов градусов. Лазеры широко применяют в медицине (офтальмологии, хирургии), металлургии (для сверления отверстий, дефектоскопии материалов, сварки, плавки и резания самых тугоплавких металлов), в военной и космической технике.

При работе с лазерными установками обслуживающий персонал может подвергаться воздействию прямого, рассеянного и отраженного лазерного излучения, светового, ультрафиолетового и инфракрасного излучения, электромагнитных полей в диапазоне ВЧ и СВЧ от генераторов накачки и даже прямому импульсу лазерного излучения при грубом нарушении правил безопасности. Кроме того, возможны повышенная загазованность и запыленность воздуха в результате его радиолиза и взаимодействия лазерного луча с мишенью. Наибольшее негативное влияние оказывают рассеянные и отраженные от стекла, металла и внутренних поверхностей помещения лучи. Особенно опасно попадание лучей в глаза, так как роговица и хрусталик фокусируют излучение на сетчатке и концентрируют его, что может вызвать ее ожог, а иногда и образование отверстий в молекулярной области.

Лазерное излучение может также вызывать повреждение кожи и внутренних органов. Повреждение кожи лазерным излучением схоже с термическим ожогом. На степень повреждения влияют как выходные характеристики лазера, так и цвет и степень пигментации кожи. Излучение существующих на сегодняшний день лазеров охватывает практически весь оптический диапазон и простирается от ультрафиолетовой до дальней инфракрасной области спектра электромагнитных волн.

## 1 Основные положения

**Лазерное излучение** – это испускание атомами вещества под воздействием лазера порций-квантов электромагнитного излучения. Слово «лазер» – аббревиатура, образованная из начальных букв английской фразы Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation (усиление света с помощью индуцированного излучения). Поэтому, лазер или оптический квантовый генератор – это генератор электромагнитного излучения оптического диапазона, который создан на использовании вынужденного или стимулированного излучения. Лазерная установка состоит из активной (лазерной) среды с оптическим резонатором, источника энергии ее возбуждения и, как правило, способа охлаждения. За счет возбуждения некоторых оптически активных материалов, атомы которых свободно возбуждаются при облучении вещества светом, образуются лазерные лучи. Такими действующими материалами могут быть: рубины, газы, полупроводники, некоторые жидкости. Исключительно высокие энергетические экспозиции, позволяющие получить локальный термоэффект, получаются за счет монохроматичности лазерного луча и его малой расходимости. Это является основанием для употребления лазерных установок при обработке материалов (резание, сверление, поверхностная закалка и др.), в хирургии и т. д. [1,2].

Способность лазерного излучения распространяться на большие расстояния и отражаться от границы раздела двух сред позволяет применять его для целей локации, навигации, связи и т. д. Путем выбора тех или иных веществ в качестве активной среды лазер может индуцировать излучение практически на всех длинах волн, начиная с ультрафиолетовых и кончая длинноволновыми инфракрасными. Важнейшее распространение в промышленности получили лазеры, генерирующие электромагнитные излучения с длиной волны 0,33; 0,49; 0,63; 0,69; 1,06; 10,6 мкм. Устройство лазера показано на рисунке 1.

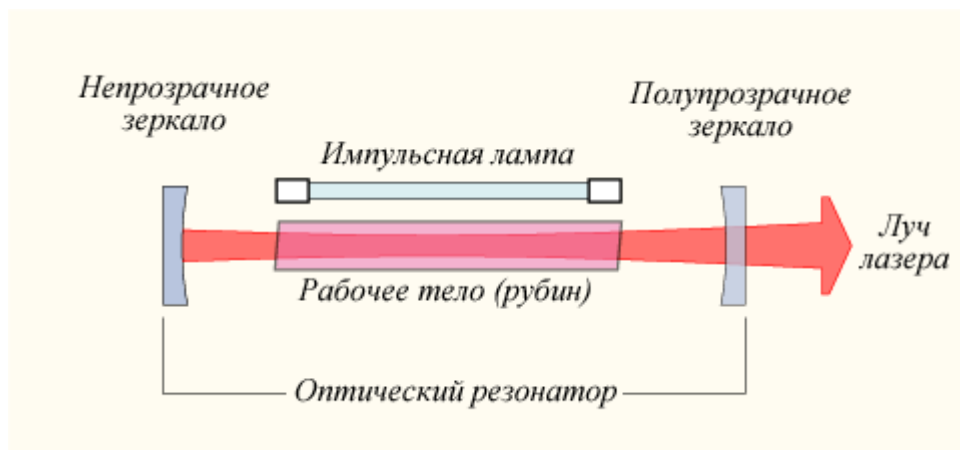


Рисунок 1 - Устройство лазера

В лазерах применяется вынужденное электромагнитное излучение молекул активного вещества, которые приводятся в активное состояние между двумя зеркалами. Сформированный при этом в лазере поток электромагнитного излучения называется **когерентным**. Когерентное излучение может быть сфокусировано на малую, сравнимую с длиной волны площадку. Плотность потока энергии может достигать  $10^{10} - 10^{15}$  Вт/см<sup>2</sup>, что больше плотности потока энергии на поверхности Солнца.

Основные физические величины, характеризующие лазерное излучение:

- длина волны, мкм;
- энергетическая экспозиция, Дж/см<sup>2</sup>, – отношение энергии излучения, определяемой на рассматриваемом участке к площади этого участка;
- длительность воздействия, с, – срок воздействия излучения на людей в течение рабочей смены;
- длительность импульса, с;
- энергетическая освещенность (плотность мощности), Вт/см<sup>2</sup>, – это отношение потока излучения, падающего на рассматриваемый маленький участок поверхности, к площади этого участка;
- частота повторения импульсов, Гц, – количество импульсов за 1 с.

## 1.1 Краткая характеристика различных типов лазеров и их применение

Типы лазеров различаются видом активного вещества и способом накачки.

В *твердотельных лазерах* в качестве активного вещества используются кристаллы рубина, иттриево-алюминиевый гранат или стекло. Резонатор лазера образован полированными торцевыми поверхностями кристалла, покрытыми тонким слоем отражающего материала. Для возбуждения активного вещества используются импульсные ксеноновые лампы. В режиме свободной генерации твердотельные лазеры генерируют импульсы длительностью от 0,1 до 1 мс, с энергией десятки джоулей и мощностью в импульсе – десятки или сотни киловатт. КПД твердотельных лазеров составляет обычно от 1 % до 2 %. Для получения очень коротких импульсов длительностью от 1 до 20 нс используется режим модуляции добротности. При этом мощность в импульсе может достигать от  $10^9$  до  $10^{10}$  Вт. Угол расходимости луча в твердотельных лазерах составляет от  $20^\circ$  до  $30^\circ$ .

В *газовых лазерах* активным веществом является газ или смесь газов, которые приводятся в возбужденное состояние с помощью газового разряда. Газовые лазеры характеризуются малым углом расходимости луча – от  $1^\circ$  до  $3^\circ$ . Наибольшее распространение получили лазеры на смеси гелия и неона с длиной волны генерации 0,63 мкм и лазеры на углекислом газе с длиной волны 10,6 мкм. Мощность гелий-неоновых лазеров невелика и составляет десятки или сотни милливатт. Лазеры на углекислом газе, напротив, характеризуются большой мощностью – сотни ватт в непрерывном режиме и высоким КПД – от 20 % до 30 %. Мощность этих лазеров можно повысить, если использовать для возбуждения активного вещества энергию сгорания окиси углерода в специальной камере, напоминающей реактивный двигатель. При этом удастся получить мощность генерации в импульсе до сотен киловатт. Лазеры такого типа называются *газодинамическими*.

В *полупроводниковых лазерах* активным веществом является полупроводниковый кристалл размером около  $1 \text{ мм}^3$ . Резонатор лазера образован торцевыми поверхностями кристалла. Возбуждение лазера осуществляется

электрическим током, проходящим через кристалл. Максимальная мощность составляет около 100 Вт в импульсном режиме и несколько ватт в непрерывном. Вследствие малых размеров резонатора угол расходимости луча равен нескольким градусам.

В *жидкостных лазерах* в качестве активного вещества используются обычно органические красители. Возбуждение активного вещества осуществляется или когерентным излучением другого лазера, или некогерентным излучением импульсных ламп. Особенностью жидкостных лазеров является возможность при соответствующем выборе активного вещества получить когерентное излучение с волной почти любой длины – от 0,34 до 11,75 мкм. Энергия излучения в импульсе до 10 Дж.

Лазеры широко применяются в самых различных областях человеческой деятельности благодаря таким уникальным свойствам, как высокая степень когерентности и монохроматичности излучения, малая расходимость луча, острая фокусировка излучения и возможность получения огромной плотности потока энергии, которые не встречаются у природных источников.

Благодаря монохроматичности излучения лазеры используются в качестве генераторов сигнала в волоконно-оптических линиях связи, дальномерах, измерителях скорости жидкостей и газов, голографических установках.

Возможность острой фокусировки лазерного излучения позволила создать лазерный «скальпель» и перейти к бескровным операциям в медицине, открыла новые направления в микрохирургии глаза. Острая фокусировка в сочетании с большой мощностью излучения используется в технологических процессах при резке, сварке и прошивке отверстий в самых разнообразных, в том числе и очень твердых материалах, в установках для управляемого термоядерного синтеза.

В настоящее время на основе применения лазеров в химическом анализе разработано большое количество аналитических методов (лазерное возбуждение флуоресценции, лазерная фотоакустическая спектроскопия, лазерный микроанализ, лазерный масс-спектрометрический анализ и др.).



## 1.2 Действие лазерного излучения на организм человека

Действие лазерных излучений на биологические объекты зависит от мощности излучения и длины волны, а также от характера импульса, частоты следования импульсов, продолжительности облучения, величины облучаемой поверхности, анатомических и функциональных особенностей облучаемых тканей. Лазерные излучения могут вызывать органические изменения непосредственно в облучаемых тканях – **первичные биологические эффекты** и изменения, возникающие в организме в ответ на облучение – **вторичные биологические эффекты**.

Лазерное излучение – это непривычный раздражитель, не встречающийся в естественных условиях. Различают 6 видов воздействия лазерного излучения на живой организм:

- термическое (тепловое) – выделение значительного количества теплоты в небольшом объеме за короткий промежуток времени;
- энергетическое – большая напряженность электрического поля, вызывающая поляризацию молекул и др. эффекты;
- фотохимическое – выцветание ряда пигментов;
- механическое – возникновение колебаний типа ультразвуковых в облучаемом организме;
- электростикция – деформация молекул в электрическом поле лазерного излучения;
- образование микроволнового электромагнитного поля в пределах клетки.

Под воздействием лазерного излучения может происходить нарушение нормальной жизнедеятельности как отдельных органов, так и организма в целом. При этом наиболее уязвимы глаза и кожа.

Характер поражения глаз в сильной степени зависит от длины волны излучения. В УФ-диапазоне ткани глаза для лазерного излучения непрозрачны, поэтому поражение глаз носит характер поверхностных ожогов. При этом обычно поражаются роговица и конъюнктура (слизистая оболочка глаза). В результате ожога возникает воспалительный процесс, сильное жжение в глазах.

При импульсно-периодическом или прерывистом воздействии УФ-излучения наблюдается накопление его действия, суммарный биологический эффект при этом приблизительно пропорционален суммарной плотности энергии излучения.

Диапазон видимого излучения является наиболее опасным для глаз, так как свободно проходит через оптические ткани глаза и фокусируется на поверхности сетчатки. При этом плотность потока энергии на сетчатке может быть на 4-5 порядков выше, чем на роговице глаза за счет фокусировки.

При относительно небольшой энергии лазера наблюдается явление «вспышечной слепоты» – под действием излучения обесцвечиваются зрительные пигменты, и глаз на некоторое время теряет способность различать предметы. При плотности энергии на сетчатке более  $2 \text{ Дж/см}^2$  (при импульсной работе) происходит ожог сетчатки. Чувствительность пораженного места к свету полностью утрачивается и в дальнейшем не восстанавливается.

Энергия лазерного луча, попадающая в глаз, зависит от диаметра зрачка, который в зависимости от освещенности изменяется от 1,6-2 до 7-8 мм. При этом энергия, попадающая в глаз, изменяется в 15-20 раз. Таким образом, лазерное излучение более опасно в затемненных помещениях.

Лазерное излучение ближней части ИК-диапазона довольно хорошо проходит через оптические ткани глаза, при этом возможен ожог сетчатки. Излучение этого диапазона особенно опасно, так как оно невидимо для глаза.

Поражения кожи наблюдаются обычно на лице вокруг защитных очков, на внешней поверхности рук, выше линии воротника, т.е. на тех же местах, которые подвергаются солнечному облучению. Наиболее сильно действует на кожу излучение УФ-диапазона. Относительно небольшие дозы УФ-облучения вызывают покраснение (эритемный эффект), исчезающее на следующие сутки. Более мощное излучение приводит к распаду некоторых молекул, входящих в состав тканей. Воздействие излучения видимого и ИК-диапазонов сводится в основном к нагреванию кожи и может привести к ожогам, имеющим резко очерченные границы и напоминающим обычные термические ожоги.

Под действием излучения лазеров с энергией от 3 до 100 Дж на коже

возникают кровоизлияния различных размеров. При энергии излучения менее 3 Дж структурных изменений в коже не наблюдается, а происходит нарушение деятельности ферментов. Это понижает антимикробную сопротивляемость кожи, ухудшает ее питание и повышает чувствительность к повышенной температуре, раздражающему действию химических веществ. Нарушение деятельности ферментов в коже может приводить к образованию токсичных веществ, которые, распространяясь по всему организму, ухудшают общее состояние человека, вызывают чувство разбитости, раздражительность, головную боль. Эти неприятные явления могут сохраняться в течение нескольких часов после окончания рабочего дня. У людей, работающих с лазерными установками, обнаружено изменение состава крови, выражающееся в уменьшении гемоглобина, тромбоцитов, эритроцитов и лейкоцитов.

### **1.3 Нормирование и дозиметрия лазерного излучения**

Нормирование лазерного излучения производится по СанПиН 5804 - 91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров».

Для импульсного или кратковременного воздействия, когда суммарный биологический эффект определяется в основном общей энергией излучения, нормируется энергетическая экспозиция  $H$ , Дж/м<sup>2</sup>, или, по-другому, плотность потока энергии излучения.

При кратковременном облучении глаз видимым светом нормируется энергия лазерного излучения  $W$ , Дж, приходящаяся на апертуру (площадку) диаметром 7 мм (зрачок глаза).

При длительном облучении, когда организм адаптируется к действию лазерного излучения, нормируется облученность  $E$ , Вт/м<sup>2</sup>, т.е. плотность потока энергии излучения.

При длительном облучении глаз видимым светом нормируется мощность лазерного излучения  $P$ , Вт, приходящаяся на апертуру диаметром 7 мм.

По степени опасности лазерного излучения для организма человека в зависимости от способности излучения вызывать повреждения глаз и кожи все лазерные установки подразделяются на четыре класса согласно СН 5804-91.

**К I классу** относятся лазеры, излучение которых не представляет опасности ни для кожи, ни для глаз человека.

**Кo II классу** относятся лазеры, излучение которых представляет опасность для глаз или кожи при облучении прямым или зеркально отраженным излучением.

**К III классу** относятся лазеры, излучение которых представляет опасность для глаз и кожи при облучении прямым или зеркально отраженным излучением и опасность для глаз при облучении диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности. Диффузно отраженное излучение не представляет опасности для кожи.

**К IV классу** относятся лазеры, излучение которых представляет опасность для глаз и кожи при облучении диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности.

Класс опасности лазера (лазерной установки) устанавливается предприятием-изготовителем. Деление лазеров на классы позволяет четко определить мероприятия по обеспечению безопасности при работе с лазерами различных типов.

Лазерное излучение (прямое, рассеянное, зеркальное или диффузно отраженное) является не единственной опасностью, существующей при работе лазерных установок. В зависимости от технических параметров и условий эксплуатации на обслуживающий персонал могут действовать другие опасные и вредные производственные факторы. К ним относятся повышенный шум при работе лазерных установок, повышенная запыленность и загазованность в рабочей зоне, другие виды излучения, возникающие при работе лазера.

Действие других опасных и вредных производственных факторов в зависимости от класса лазера представлено в таблице 1.

Таблица 1 – Опасные и вредные производственные факторы, возникающие при эксплуатации лазеров различных классов

Опасные и вредные производственные факторы	Класс опасности			
	I	II	III	IV
Лазерное излучение:				
– прямое, зеркально отраженное	–	+	+	+
– диффузно отраженное	–	–	+	+
Повышенная напряженность электрического поля	– (+)	+	+	+
Повышенная запыленность и загазованность воздуха рабочей зоны	–	–	– (+)	+
Повышенный уровень ультрафиолетовой радиации	–	–	– (+)	+
Повышенная яркость света	–	–	– (+)	+
Повышенные уровни шума и вибрации	–	–	– (+)	+
Повышенный уровень ионизирующих излучений	–	–	–	– (+)
Повышенный уровень электромагнитных излучений ВЧ - и СВЧ - диапазонов	–	–	–	– (+)
Повышенный уровень инфракрасной радиации	–	–	– (+)	– (+)
Повышенная температура поверхностей оборудования	–	–	– (+)	– (+)
Химические	При работе с токсичными веществами			
<p>Обозначения: « + » имеет место всегда;  « – » отсутствует;  « – ( + ) » наличие зависит от условий эксплуатации или технических характеристик.</p>				

Для оценки степени опасности конкретной лазерной установки необходимо плотность потока энергии (или мощности) данной установки сравнить с ПДУ. Если параметры лазера известны, это может быть сделано расчетным путем. В тех случаях, когда рассчитать плотность потока энергии лазерного излучения не удастся, проводятся измерения с помощью специальной дозиметрической

аппаратуры. Наибольшее распространение получили *калориметрические* и *фотометрические* дозиметры.

Принцип действия калориметрических приборов основан на нагревании рабочего элемента лазерным излучением. Такие приборы характеризуются широким диапазоном длин волн измеряемого излучения – от ультрафиолетового до инфракрасного. Например, дозиметр ИМО-2 имеет рабочий диапазон длин волн от 330 нм до 10,6 мкм и пределы измерения энергии от  $3 \cdot 10^{-3}$  до 10 Дж. В фотометрических дозиметрах для регистрации излучения используются фотоэлементы и фотодиоды. Фотометрические дозиметры характеризуются высокой чувствительностью, однако рабочий диапазон длин волн простирается не выше 1,1 мкм.

Таким образом, для анализа опасных и вредных производственных факторов, появившихся при эксплуатации лазеров, нужно определить класс опасности лазера. Класс опасности лазера зависит от диапазона спектра излучения, т.е. длины волны  $\lambda$ , мкм.

Различают четыре диапазона спектра излучения лазеров:

- ультрафиолетовый (УФ) диапазон спектра с длиной волны

$$0,2 \text{ мкм} \leq \lambda < 0,4 \text{ мкм};$$

- видимый диапазон спектра с длиной волны

$$0,4 \text{ мкм} \leq \lambda < 0,75 \text{ мкм};$$

- ближний инфракрасный (ИК) диапазон с длиной волны

$$0,75 \text{ мкм} \leq \lambda < 1,4 \text{ мкм};$$

- дальний инфракрасный (ИК) диапазон с длиной волны

$$1,4 \text{ мкм} \leq \lambda < 20 \text{ мкм}.$$

Чтобы выбрать средство защиты от лазерного излучения, необходимо определить класс опасности лазера в соответствующем диапазоне спектра излучения.

## 2 Методика расчета

Класс опасности лазера в каждом диапазоне спектра излучения определяется по своей методике.

### 2.1 Ультрафиолетовый диапазон спектра

Вычисляется безразмерный параметр  $U$  по формуле:

$$U = \frac{P_{\Sigma}}{\pi \cdot r^2 \cdot H_{\Sigma}}, \quad (1)$$

где  $P_{\Sigma}$  – энергия, генерируемая лазером за рабочий день, Дж (справочная величина – задается по варианту);

$r$  – радиус пучка (источника) излучения, см (справочная величина – задается по варианту);

$H_{\Sigma}$  – суммарная энергетическая экспозиция, Дж/см<sup>2</sup>

(нормативная величина; зависящая от длины волны  $\lambda$  – выбирается по таблице 2).

Таблица 2 – Зависимость значения  $H_{\Sigma}$  от длины волны  $\lambda$

$\lambda$ , мкм	от 0,200 до 0,210	от 0,211 до 0,215	от 0,216 до 0,290	от 0,291 до 0,300	от 0,301 до 0,370	свыше 0,371
$H_{\Sigma}$ , Дж/см <sup>2</sup>	$1 \cdot 10^{-8}$	$1 \cdot 10^{-7}$	$1 \cdot 10^{-6}$	$1 \cdot 10^{-5}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-3}$

Класс опасности лазера определяется с помощью рисунка 2, где на оси ординат отложены значения радиуса пучка  $r$ , а на оси абсцисс – значения безразмерного параметра  $U$ . Кривые 1 и 2 определяют зависимости максимального значения  $U$  от  $r$  для I и II классов опасности лазера соответственно.

## 2.2 Видимый диапазон спектра

Вычисляется безразмерный параметр  $U_k$  по формуле:

$$U_k = \frac{P_o}{\pi \cdot r^2 \cdot H_k \cdot k_1}, \quad (2)$$

где  $P_o$  – энергия, генерируемая за время однократного воздействия, Дж (паспортная величина – задается по варианту);

$r$  – радиус пучка (источника) излучения, см (справочная величина задается по варианту);

$H$  – предельно допустимый уровень (ПДУ) энергетической экспозиции кожи, Дж/см<sup>2</sup> (нормативная величина – задается по варианту);

$k_1$  – коэффициент, зависящий от частоты повторения импульсов и длительности серии импульсов (задается по варианту).

Затем с помощью графика на рисунке 3 определяют, принадлежит или не принадлежит лазер к IV классу опасности.



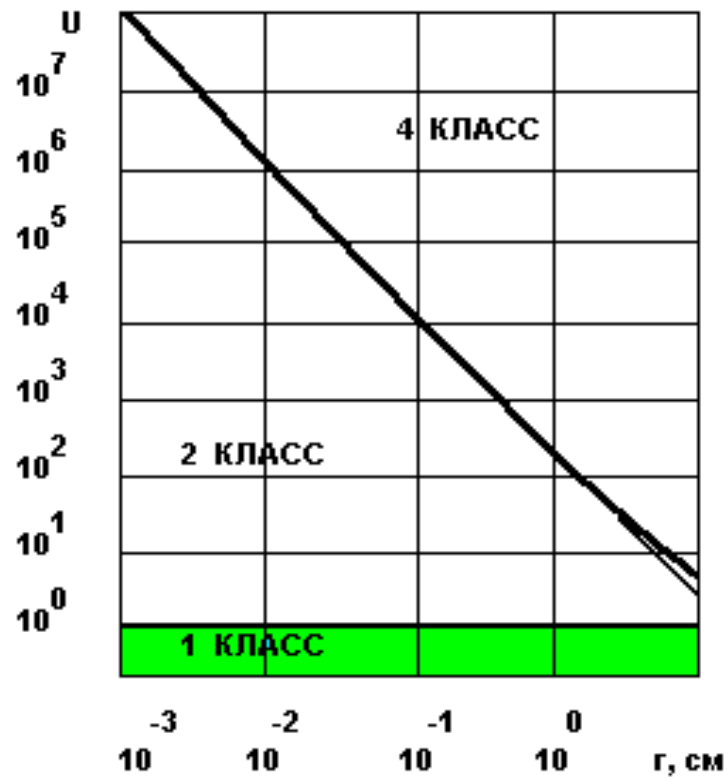


Рисунок 2 – Зависимость максимального значения параметра  $U$  от  $r$

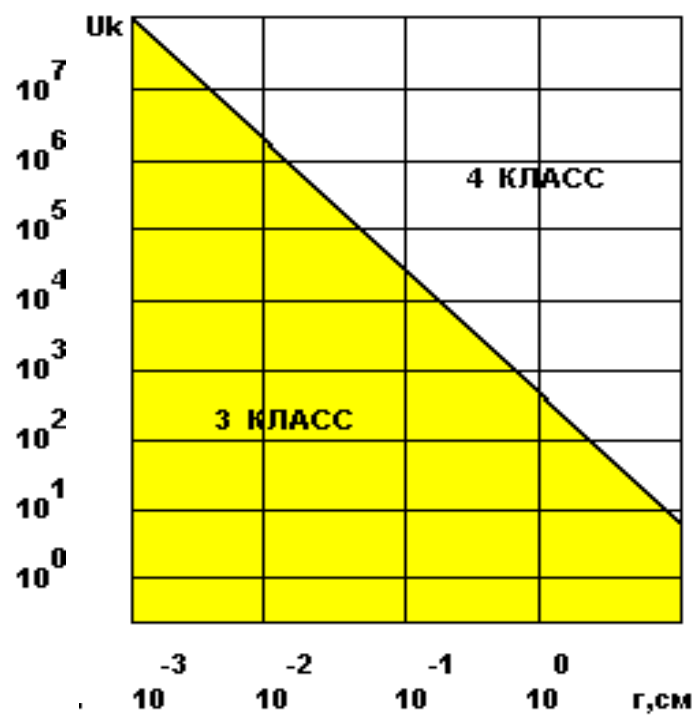


Рисунок 3 – Зависимость минимального значения параметра  $U_k$  от  $r$

График на рисунке 3 определяет зависимость минимального значения безразмерного параметра  $U_k$  от  $r$  для лазеров IV класса опасности.

Если лазер не относится к IV классу опасности, то последующие классы определяют с учетом первичных ( $U_n$ ) и вторичных ( $U_e$ ) биологических эффектов.

Для этого необходимо вычислить безразмерные параметры  $U_n$  и  $U_e$  по формулам:

$$U_n = \frac{P_o}{\pi \cdot r^2 \cdot H_1 \cdot k_2}, \quad (3)$$

где  $P_o$  – энергия, генерируемая за время однократного воздействия, Дж (паспортная величина – задается по варианту);

$r$  – радиус пучка (источника) излучения, см (справочная величина – задается по варианту);

$H_1$  – предельно допустимый уровень (ПДУ) энергетической экспозиции на роговице глаза в зависимости от длительности импульса и длины волны излучения, Дж/см<sup>2</sup> (нормативная величина – задается по варианту);

$k_2$  – поправочный коэффициент на частоту повторения импульсов и длительность воздействия серии импульсов (задается по варианту).

$$U_e = \frac{P_o \cdot n}{\pi \cdot r^2 \cdot H_2}, \quad (4)$$

где  $P_o$  – энергия, генерируемая за время однократного воздействия, Дж (паспортная величина – задается по варианту);

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

$r$  – радиус пучка (источника) излучения, см (справочная величина – задается по варианту);

$H_2$  – предельно допустимый уровень ПДУ энергетической экспозиции роговицы глаза за рабочий день, Дж/см<sup>2</sup> (нормативная величина, зависящая от длины волны – задается по варианту).

Затем с помощью рисунков 4 и 5 определяют класс опасности лазера по первичным и вторичным биологическим эффектам соответственно. На рисунке 4 и рисунке 5 кривые 1 и 2 определяют зависимость максимального значения  $U_n$  и  $U_e$  для лазеров I и II классов опасности.

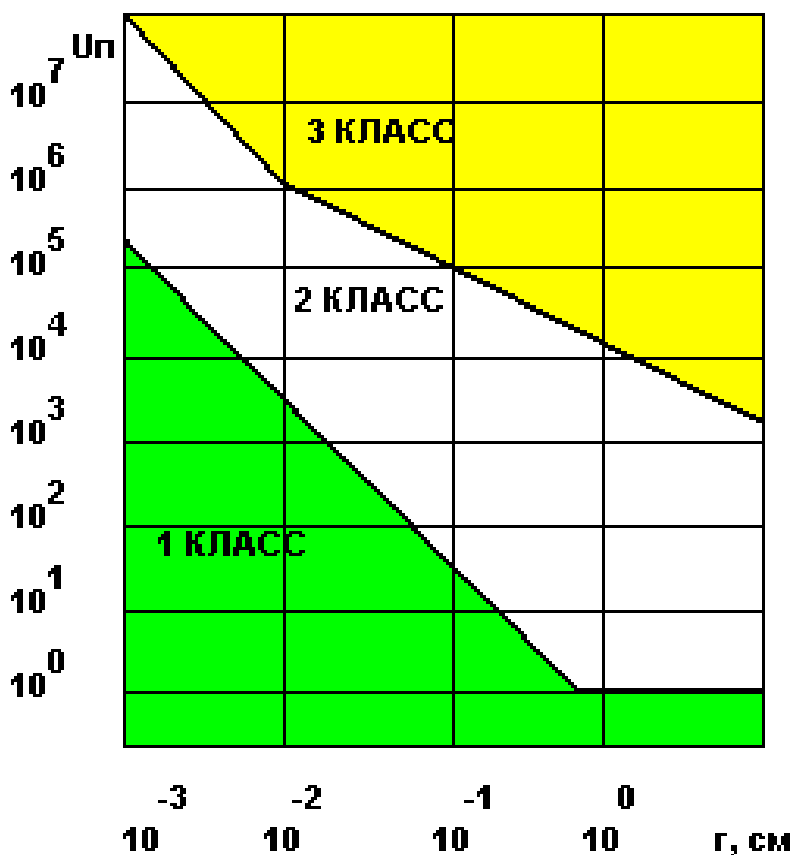


Рисунок 4 – Зависимость максимального значения параметра  $U_n$  от  $r$

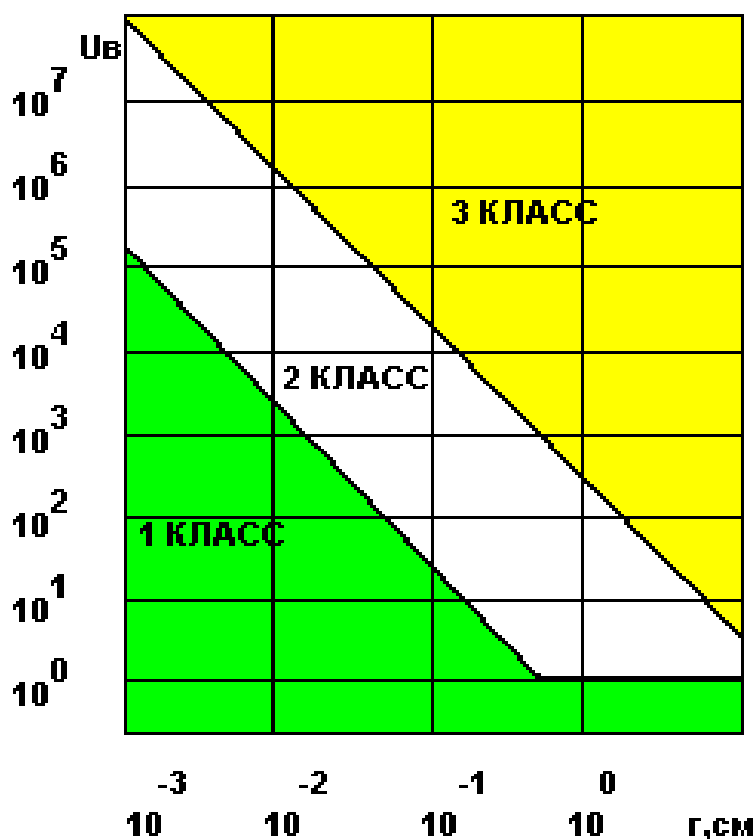


Рисунок 5 – Зависимость минимального значения параметра  $U_c$  от  $r$

### 2.3 Ближний инфракрасный (ИК) диапазон спектра

Для излучения ближнего ИК-диапазона спектра класс опасности лазера определяют без учета вторичных биологических эффектов аналогично видимому диапазону спектра (формулы (2) и (3); рисунок 3 и рисунок 4).

### 2.4 Дальний инфракрасный (ИК) диапазон спектра

Сначала вычисляется безразмерный параметр  $U_k$  по формуле (2), затем определяют класс опасности лазера с помощью рисунка 2.

### 3 Мероприятия и средства защиты от лазерного излучения

Мероприятия и средства защиты от лазерных излучений делят на три группы: *организационные, технические коллективные и индивидуальные.*

Средства защиты от лазерных излучений приведены в таблице 3.

Организационные мероприятия включают создание условий для работы персонала, разработку правил и инструкций по технике безопасности и контроль их выполнения, ознакомление персонала с особенностями биологического действия лазерного излучения и обучение пользованию индивидуальными и коллективными средствами защиты.

Лазеры II – IV классов перед вводом в эксплуатацию должны быть приняты специальной комиссией, назначенной руководством предприятия, которая проверяет соблюдение правил техники безопасности, относит лазер к соответствующему классу и решает вопрос о вводе его в эксплуатацию.

К работе с лазерными установками должен допускаться только подготовленный персонал. При входе в помещение, где работает лазер, должен быть установлен знак лазерной опасности, а на самой лазерной установке – предупреждающая надпись с указанием класса лазера. На лазерных установках, работающих в УФ- или ИК-диапазонах, должна быть надпись «НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ». Лазерные установки IV класса должны располагаться в отдельных помещениях с блокировкой входных дверей.

Так как наибольшую опасность представляет прямой лазерный луч, должна быть исключена всякая возможность попадания прямого луча на человека. Для этого на всем пути от лазера до мишени луч должен быть огорожен экранами. Для уменьшения интенсивности рассеянного лазерного излучения все элементы конструкции, стены помещения рекомендуется окрашивать в темные цвета, поверхность их должна быть матовой. Помещение, где работает лазерная установка, должно быть хорошо освещено. В этих условиях размеры зрачка глаза небольшие, что способствует уменьшению энергии излучения, которое может случайно попасть

в глаз [1,3].

Таблица 3 – Средства защиты от лазерных излучений

Средства защиты	Класс опасности лазера				Примечание
	I	II	III	IV	
Оградительные устройства (кожухи, экраны и др.)	–	– (+)	+	+	Должны снижать уровни опасных и вредных факторов до безопасных значений
Дистанционное управление	–	–	+	+	Применяется всюду, где возможно
Устройства сигнализации (световой или звуковой сигнал)	–	–	–	+	Для лазеров ИК-диапазона
	–	– (+)	+	+	Для лазеров УФ-диапазона
Маркировка знаков лазерной опасности	–		+	+	Лазеры, установки, зоны прохождения луча, ЛОЗ
Кодовый замок	–	–	+	+	На дверях помещения, на пульте управления
Защитные очки, снижающие уровень диффузного излучения на роговицы глаза по ПДУ	–	+	+	+	При времени воздействия больше 0,25 с
	–	–	+	+	Всегда, когда средства коллективной защиты не обеспечивают безопасных условий труда
Защитные запоры оградительного устройства или его частей	–	+	+	+	Необходимы, если при снятии оградительного устройства возможно воздействие излучения больше ПДУ
Защитная одежда	–	–	–	+	При соответствующей опасности
Юстировочные очки (снижающие уровень излучения на роговицы глаза до ПДУ)	–	+	+	+	Применяются при выполнении юстировки, наладке и ремонтных работах
<p>Обозначения: « + » имеет место всегда;  « – » отсутствует;  « – (+) » наличие зависит от условий эксплуатации или технических характеристик.</p>					

При проведении экспериментов с лазерами запрещается вводить блестящие предметы в зону луча. Следует иметь в виду, что под действием лазерного излучения состояние поверхности может сильно измениться. Например, шероховатая стальная поверхность в зоне действия мощного сфокусированного лазерного луча расплавляется и становится зеркальной, в результате чего энергия отраженного излучения, попадающая в глаз, может сильно возрасти. Поэтому категорически запрещается смотреть на мишень или обрабатываемый материал без защитных очков, которые должны удовлетворять ряду требований. Они должны на несколько порядков ослаблять излучение лазера и хорошо пропускать излучение остальной части видимого спектра, чтобы работающий мог достаточно хорошо видеть предметы, с которыми он манипулирует, а также свет ламп, используемых в системе световой сигнализации. Светофильтры в очках должны быть устойчивыми к лазерному излучению, не разрушаться и не изменять под действием излучения своих характеристик.

В качестве светофильтров для защитных очков применяются поглощающие стекла, многослойные диэлектрические тонкопленочные отражатели и их комбинации. В защитных очках используются разные сорта стекол, каждый со своей полосой поглощения. Например, для поглощения УФ-излучения используются стекла типа ЖС-17 и ЖС-18, поглощающие излучение с длиной волны менее 0,45 мкм. Более широкой полосой поглощения – до 0,54 мкм – обладают оранжевые стекла ОС-11 и ОС-12. Для области длин волн от 0,63 до 1,06 мкм могут быть использованы светофильтры СЗС-21 и СЗС-22, а в диапазоне от 1,06 до 1,54 мкм – СЗС-24, СЗС-25, СЗС-26. В ИК-диапазоне для поглощения энергии химических и жидкостных лазеров с длиной волны от 2 до 5 мкм используется материал люсит, прозрачный в видимом диапазоне. Для защиты от излучения лазера на углекислом газе с длиной волны 10,6 мкм лучше всего применять плавленый кварц, который хорошо пропускает видимый свет, поглощает излучение ИК-диапазона и не разрушается под действием мощного луча лазера.

При этом наилучшие параметры имеют комбинированные светофильтры, в которых отражающие диэлектрические слои чередуются с поглощающими. Очки

для защиты от лазерного излучения персонал должен носить постоянно, поэтому они должны быть удобными и легкими.

При работе с мощными лазерами принимают специальные меры по защите кожи рук и лица. Хорошими защитными свойствами обладает белый фетр толщиной от 2 до 3 мм. Для защиты рук можно применять обычные кожаные перчатки, которые уменьшают опасность поражения кожи в 100 раз.

## **4 Задание для самостоятельной работы**

Определить класс опасности лазера и выбрать средства и мероприятия по защите рабочего персонала

### **4.1 Порядок выполнения задания**

4.1 Выбрать вариант по таблице вариантов (приложение А) и привести его данные.

4.2 Ознакомиться с методикой.

4.3 Определить класс опасности лазера, используя данные варианта, методику расчета и справочный материал методических указаний.

4.4 Привести опасные и вредные производственные факторы полученного в результате расчета класса опасности лазера (таблица 1).

4.5 Привести средства защиты полученного в результате расчета класса опасности лазера (таблица 3).

4.6 Сделать вывод о полученных классах опасности лазера в различных диапазонах излучения и применяемых средствах защиты.



## **5 Вопросы для самоконтроля**

- 5.1 Что такое лазерное излучение? За счет чего образуются лазерные лучи?
- 5.2 Где применяются лазеры?
- 5.3 Какие виды лазеров существуют?
- 5.4 Основные физические величины, характеризующие лазерное излучение?
- 5.5 Какое воздействие оказывает лазерное излучение на человека?
- 5.6 Что такое первичные и вторичные биологические эффекты?
- 5.7 Нормирование лазерного излучения.
- 5.8 Назовите классы опасности лазера.
- 5.9 С помощью каких приборов измеряют мощность лазерного излучения?
- 5.10 Назовите мероприятия и средства защиты от лазерного излучения.

## Список использованных источников

- 1 Белов, С.В. Безопасность жизнедеятельности и защита окружающей среды (техносферная безопасность): учебник для академического бакалавриата / С. В. Белов. – 5-е изд., перераб. и доп. – Москва : Юрайт, 2015. – 702 с.
- 2 Гетия, И.Г. Безопасность жизнедеятельности : практические занятия / И.Г. Гетия, В.Н. Емец. – М.: Колос, 2002. – 104 с.: ил.
- 3 Куклев, Ю. И. Физическая экология: учебное пособие для технических вузов / Ю. И. Куклев. – М.: Высшая школа, 2001. – 357 с.

## Приложение А

(рекомендуемое)

Таблица А.1 – Варианты исходных данных

№ варианта	$\lambda$ , мкм	$r$ , см	$P_{\Sigma}$ , Дж	$P_o$ , Дж	$H_k$ , Дж/см <sup>2</sup>	$k_1$	$H_1$ , Дж/см <sup>2</sup>	$k_2$	$H_2$ , Дж/см <sup>2</sup>
01	0,2	0,1	$1 \cdot 10^7$	50	1	$3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
02	0,5	0,2	$1 \cdot 10^7$	50	1	$3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
03	0,8	0,3	$1 \cdot 10^7$	60	2	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,3	$10^{-7}$
04	1,4	0,4	$1 \cdot 10^7$	70	20	$8 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0,3	$10^{-7}$
05	0,6	0,5	$1 \cdot 10^7$	80	10	$3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0,1	$10^{-7}$
06	0,7	0,1	$1 \cdot 10^7$	20	40	$2 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,1	$10^{-5}$
07	0,4	0,2	$1 \cdot 10^7$	10	200	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-3}$	1	$10^{-5}$
08	0,5	0,1	$1 \cdot 10^7$	100	1	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
09	0,9	0,5	$1 \cdot 10^7$	1	20	$3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0,4	$10^{-7}$
10	1,3	0,3	$1 \cdot 10^7$	40	60	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,4	$10^{-7}$
11	0,3	0,2	$2 \cdot 10^6$	40	60	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,4	$10^{-7}$
12	0,4	0,5	$2 \cdot 10^6$	25	10	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	1	$10^{-5}$
13	0,6	0,6	$2 \cdot 10^6$	10	4	$3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
14	1,0	0,2	$2 \cdot 10^6$	30	60	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,4	$10^{-7}$
15	0,2	0,3	$2 \cdot 10^6$	20	0,2	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,4	$10^{-7}$
16	0,4	0,1	$2 \cdot 10^6$	45	1	$3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
17	0,7	0,3	$2 \cdot 10^6$	70	10	$3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0,1	$10^{-7}$
18	10,6	0,2	$3 \cdot 10^5$	70	10	$3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0,1	$10^{-7}$
19	0,6	0,1	$3 \cdot 10^5$	25	40	$2 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,1	$10^{-5}$
20	0,5	0,1	$3 \cdot 10^5$	8	200	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-3}$	1	$10^{-5}$
21	0,8	0,4	$3 \cdot 10^5$	1	20	$3 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0,4	$10^{-5}$
22	0,9	0,2	$3 \cdot 10^5$	60	2	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,3	$10^{-5}$
23	1,5	0,3	$3 \cdot 10^5$	65	20	$8 \cdot 10^{-2}$	$10^{-4}$	0,3	$10^{-5}$
24	0,5	0,2	$3 \cdot 10^5$	80	1	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
25	0,7	0,5	$3 \cdot 10^5$	15	4	$3 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
26	0,3	0,2	$3 \cdot 10^5$	10	0,2	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
27	1,4	0,2	$3 \cdot 10^5$	30	60	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
28	10,6	0,2	$1 \cdot 10^6$	30	60	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
29	0,3	0,1	$1 \cdot 10^6$	30	60	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	0,5	$10^{-7}$
30	0,4	0,4	$1 \cdot 10^6$	25	10	$1 \cdot 10^{-1}$	$10^{-4}$	1	$10^{-5}$