

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего образования
«Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»

Кафедра безопасности жизнедеятельности

№ XDC

ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Безопасность жизнедеятельности»*

Иваново 2025

Составитель Ю.М. Овсянников

Редактор _____

Методические указания к выполнению лабораторной работы содержат краткие сведения о природе и области применения лазерного излучения, особенностях его воздействия на человека.

Рассматриваются вопросы определения фактических и нормативных значений параметров, характеризующих воздействие лазерного излучения на человека, оценки эффективности различных методов защиты от лазерного излучения.

Методические указания предназначены для студентов ИГЭУ всех направлений подготовки при выполнении лабораторных работ по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности».

Утверждены цикловой методической комиссией ИФФ

Рецензент

кафедра безопасности жизнедеятельности ФГБОУ ВО
«Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

Лабораторная работа **«ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ»**

Цель работы. Изучить основные принципы нормирования безопасных уровней лазерного излучения; ознакомиться со средствами защиты от лазерного излучения; исследовать эффективность средств защиты от лазерного излучения.

1. Общие теоретические сведения

1.1. Лазерное излучение, вредные и опасные факторы

Лазер – источник электромагнитного излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазонов, основанный на вынужденном излучении атомов и молекул. Слово «лазер» составлено из начальных букв (аббревиатура) слов английской фразы «Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation», что означает «усиление света в результате вынужденного излучения».

Лазер – источник света, который по сравнению с другими источниками света обладает рядом уникальных свойств, связанных с когерентностью¹ и высокой направленностью лазерного излучения (ЛИ). В естественной природной среде ЛИ не встречается.

Сама по себе лазерная установка является источником целого комплекса опасных и вредных факторов, действующих на обслуживающий персонал. В зависимости от типа, конструкции и целевого назначения лазеров и лазерных установок это могут быть:

- лазерное излучение (прямое, отраженное и рассеянное);
- ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучения от источников накачки или плазменного факела;

¹Когерентность (от латинского *cohaerens* – находящийся в связи), согласованное протекание во времени нескольких колебательных или волновых процессов, проявляющееся при их сложении. Колебания называются когерентными, если разность их фаз остается постоянной во времени и при сложении колебаний определяет амплитуду суммарного колебания.

- высокое напряжение в цепях управления и источниках электропитания;
- электромагнитное излучение промышленной частоты и радиочастотного диапазона;
- рентгеновское излучение от газоразрядных трубок и иных элементов, работающих при напряжении более 5 кВ;
- шум;
- вибрация;
- токсические газы и пары от лазерных систем с прокачкой, хладагентов и др.;
- продукты взаимодействия лазерного излучения с обрабатываемыми материалами;
- повышенная температура поверхности лазерного изделия;
- опасность взрыва в системах накачки лазеров.

Биологическое действие собственно лазерного излучения зависит от длины волны и интенсивности излучения. В связи с этим весь диапазон длин волн делится на ряд областей:

$80 < \lambda < 380$ нм – ультрафиолетовая область;

$380 < \lambda < 750$ нм – видимая область;

$750 < \lambda < 1400$ нм – ближняя инфракрасная область;

$1400 < \lambda < 10^5$ нм – дальняя инфракрасная область.

1.2. Действие лазерного излучения на организм человека

Различают следующие шесть видов воздействия лазерного излучения на живой организм:

1. термическое (тепловое) действие. При фокусировке лазерного излучения выделяется значительное количество теплоты в небольшом объеме за короткий промежуток времени;
2. энергетическое действие определяется большим градиентом электрического поля, обусловленного высокой плотностью мощности.

- Это действие может вызывать поляризацию молекул, резонансные и другие эффекты;
3. фотохимическое действие проявляется в выцветании ряда красителей;
 4. механическое действие проявляется в возникновении колебаний типа ультразвуковых в облучаемом организме;
 5. электрострикция – деформация молекул в электрическом поле лазерного излучения;
 6. образование в пределах клетки микроволнового электромагнитного поля.

Под действием ЛИ происходит нарушение жизнедеятельности как отдельных органов, так и организма в целом.

При больших интенсивностях облучения возможны повреждения внутренних органов, которые имеют характер отеков, кровоизлияний, кровотечений, омертвений тканей и др.

ЛИ представляет особую опасность для тех тканей, которые максимально поглощают излучение. Сравнительно легкая уязвимость роговицы и хрусталика глаза, а также свойство оптической системы глаза увеличивать плотность потока энергии излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона (750...1400 нм) на глазном дне до $6 \cdot 10^4$ раз по отношению к роговице делают глаз наиболее уязвимым органом. Повреждение глаз может изменяться от слабого ожога сетчатки до полной потери зрения.

ЛИ с длиной волны 380...1400 нм (видимая и ближняя инфракрасная области)² представляет наибольшую опасность для сетчатки глаза, а излучение с длиной волны 180...380 нм (ультрафиолетовая)³ и свыше 1400 нм (дальняя инфракрасная область)⁴ – для передних сред глаза.

²Излучение видимой области может вызывать ожоги и разрушение сетчатой и сосудистой оболочек глаза.

³Излучение ультрафиолетовой области вызывает разрушение молекул белка роговой оболочки и ожог конъюнктивы глаза.

⁴Излучение инфракрасной области поглощается радужной оболочкой, хрусталиком и стекловидным телом, в результате белки хрусталика свертываются.

При повреждении роговицы появляется боль в глазах, спазм век, слезотечение, гиперемия слизистых век и глазного яблока, их отек, отек эпителия роговицы и эрозии. Тяжелые повреждения роговицы сопровождаются помутнением влаги передней камеры.

При повреждении сетчатки легкой степени на глазном дне наблюдается небольшой участок помутневшей сетчатки. В тяжелых случаях имеется участок некроза сетчатки, разрыв ее ткани, возможен выброс участка сетчатки в стекловидное тело. Эти повреждения сопровождаются кровоизлиянием в сетчатку, в пред- или подсетчаточное пространство или стекловидное тело.

Повреждение кожи может быть вызвано лазерным излучением любой длины волны в диапазоне $\lambda = 180 \dots 100\,000$ нм. Под воздействием лазерного излучения преобладают тепловые эффекты, следствием которых является коагуляция (свертывание) белка, а при больших мощностях - испарение биоткани.

При контакте с лазерным излучением появляется ощущение тепла или боли. Интенсивность боли зависит от распространенности очага поражения кожных покровов. Степень повреждения кожи зависит от первоначально поглощенной энергии. Повреждение кожи энергией лазерного излучения ультрафиолетового диапазона спектра (нетепловые уровни энергии) может происходить без возникновения каких-либо ощущений.

Значительные повреждения развиваются на пигментированных участках кожи (родимых пятнах, местах с сильным загаром), в данном случае повреждение кожи начинает развиваться при плотности энергии $0,1 \dots 1$ Дж/см².

При воздействии мощного импульса лазерного излучения на организм в облученных тканях возникает ударная волна непосредственно от «удара» самого импульса. Появление ударной волны обусловлено возникновением градиентов давления внутри облучаемой системы за счет объемного расширения (как с изменением фазового состояния, так и без него), вызванного кратковременным локальным нагревом ткани, а также импульсом отдачи при испарении биоткани с поверхности.

Тепловое расширение может возникнуть на поверхности или во внутренней зоне облучаемой ткани, механические нагрузки при этом характеризуются величинами порядка десятков паскалей.

Высокая интенсивность потока лазерного излучения сопровождается ударной волной такой силы, при которой повреждаются внутренние органы.

Импульсный режим воздействия лазерного излучения с малой длительностью импульса связан с преобразованием энергии излучения в энергию механических колебаний, в частности, ударной волны. Ударная волна состоит из группы импульсов различной длительности и амплитуды. Максимальную амплитуду имеет первый импульс сжатия, который является определяющим в возникновении повреждений глубоких тканей.

Например, прямое облучение поверхности брюшной стенки может вызвать повреждение печени, кишечника и других органов брюшной полости; при облучении головы возможны внутричерепные и внутримозговые кровоизлияния.

Длительное хроническое действие диффузно отраженного лазерного излучения вызывает неспецифические, преимущественно вегетативно-сосудистые нарушения; функциональные сдвиги могут наблюдаться со стороны нервной, сердечно-сосудистой систем, желез внутренней секреции.

По степени опасности выходного излучения лазеры подразделяются на 4 класса:

I – лазеры, выходное излучение которых не представляет опасности для глаз и кожи;

II – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз прямым или зеркально отраженным излучением;

III – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз прямым, зеркально отраженным, а также диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности⁵;

⁵Только для лазеров с излучением в спектральном диапазоне 380...1400 нм

IV – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении кожи диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности.

Лазеры классифицирует предприятие-изготовитель по выходным характеристикам излучения расчетным методом.

2. Рубиновый лазер

Первый квантовый генератор света (лазер) был создан в 1961 Теодором Мейманом на рубине. Он основан на использовании искусственного рубина Al_2O_3 , в котором небольшая часть атомов алюминия (около 0,05%) замещена ионами хрома Cr^{+++} , как активной среды и работает в импульсном режиме с длиной волны генерации около 694,3 нм (в красной области спектра).

Принципиальная схема работы рубинового лазера представлена на рис. 2.1.

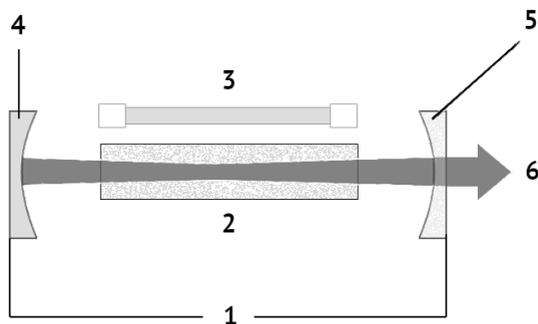


Рис. 2.1. Схема устройства рубинового лазера: 1 - оптический резонатор; 2 - рабочее тело (рубин); 3 - импульсная лампа накачки; 4 - непрозрачное зеркало; 5 - полупрозрачное зеркало; 6 - луч лазера

Ключевым условием работы лазера является так называемая инверсная заселённость, при которой в квантовой системе число частиц (атомов, ионов или молекул) (N_2) на верхнем энергетическом уровне превышает их количество (N_1) на нижнем. Это со-

стояние нарушает естественное равновесие системы и позволяет реализовать вынужденное излучение – основу лазерного эффекта.

Инверсная заселенность создается между уровнями ε_1 и ε_2 . Для этого используется так называемая оптическая накачка, т.е. освещение кристалла рубина мощной вспышкой света.

Если бы энергетический спектр состоял только из двух уровней ε_1 и ε_2 , то с помощью оптической накачки создать инверсную заселенность их было бы невозможно т.к., индуцированные переходы атомов с нижнего уровня на верхний и обратно идут с одинаковыми скоростями.

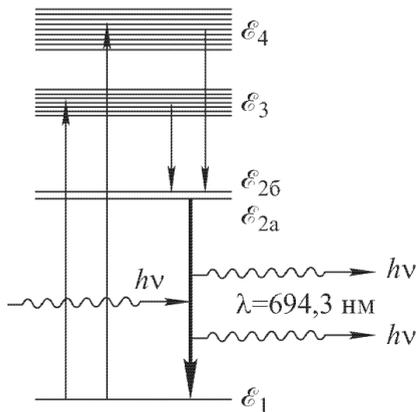


Рис. 2.2. Излучение рубинового лазера

Положение меняется благодаря наличию третьего, широкого энергетического уровня, состоящего из полос ε_3 и ε_4 . Лампа-вспышка переводит атомы хрома из невозбужденного состояния в возбужденное, т.е. в энергетические полосы ε_3 и ε_4 . На уровнях ε_3 и ε_4 возбужденные атомы хрома живут очень короткое время ($\sim 10^{-8}$ с). За это время они переходят на один из уровней ε_2 . При таком переходе атомы хрома не излучают, а расходуют свою энергию на возбуждение колебаний кристаллической решетки. Уровни ε_2 метастабильны, время жизни атома на них $\sim 10^{-3}$ с, что по атомным масштабам очень велико. Таким образом на уровни ε_2 можно перевести больше половины атомов хрома т.е., создать инверсную заселенность в кристалле рубина.

Спонтанное излучение одной частицы запускает цепную реакцию вынужденного излучения, при котором фотон «вынуждает» возбужденный атом вернуться в нижнее состояние ε_1 , испустив ещё один фотон с такой же энергией (см. рис 2.2).

Даже спустя 60 лет рубиновый лазер находит своё применение в медицинской сфере, являясь эффективным инструментом для удаления татуировок и пигментных пятен.

3. Нормирование воздействующих факторов

Основным нормативным документом определяющим предельно допустимые уровни (ПДУ) лазерного излучения являются санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания» (от 28 января 2021 года № 2).

ПДУ ЛИ излучения определяется следующими параметрами:

- спектральным диапазоном длины волны излучения (λ):
 - I. $180 < \lambda \leq 380$ нм;
 - II. $380 < \lambda \leq 1400$ нм;
 - III. $1400 < \lambda \leq 10^5$ нм;
- значением диаметра ограничивающей апертуры:
 - $1,1 \cdot 10^{-3}$ м;
 - $7,0 \cdot 10^{-3}$ м;
- облучаемой частью тела человека:
 - глаза, кожа;
- характером облучения:
 - однократное, хроническое.

Под однократным воздействием ЛИ понимается воздействие излучения с длительностью, не превышающей $3 \cdot 10^4$ с.

Под хроническим воздействием ЛИ понимается систематически повторяющееся воздействие, которому подвергаются люди, профессионально связанные с лазерным излучением.

Нормируемыми параметрами ЛИ являются: энергетическая экспозиция H (Дж/м²), энергетическая освещенность (облученность) E (Вт/м²), энергия W (Дж) и мощность P (Вт) излучения, а также предельная однократная суточная доза $H_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}(3 \times 10^4)$ (Дж/м²).

Указанные выше энергетические параметры связаны соотношениями:

$$H_{\text{ПДУ}} = \frac{W_{\text{ПДУ}}}{S_a} \quad (3.1)$$

$$E_{\text{ПДУ}} = \frac{P_{\text{ПДУ}}}{S_a}, \quad (3.2)$$

где $H_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимое значение энергетической экспозиции лазерного излучения (Дж/м²); $W_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимый уровень энергии лазерного излучения (Дж); S_a – площадь ограничивающей апертуры⁶ (м²); $E_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимый уровень энергетической освещённости (облученности) (Вт/м²); $P_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимый уровень мощности ЛИ (Вт).

Спектральный диапазон I ($180 < \lambda \leq 380$) нм

В I спектральном диапазоне установлены предельно допустимые значения для следующих величин:

- энергетической экспозиции ($H_{\text{ПДУ}}$) и энергетической освещённости ($E_{\text{ПДУ}}$) при однократном воздействии **на глаза и кожу**, при ограничивающей апертуре $1,1 \cdot 10^{-3}$ м (см. табл. П. 1.1).
- однократной суточной дозы $H_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}(3 \times 10^4)$ (см. табл. П. 1.2).

Для определения предельно допустимых значений $H_{\text{ПДУ}}$ и $E_{\text{ПДУ}}$, а также предельных суточных доз $H_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}(3 \times 10^4)$ при хроническом облучении глаз и кожи коллимированным или рассеянным ЛИ в I спектральном диапазоне длин волн необходимо соответствующие значения, приведенные в таблицах П. 1.1 и П. 1.2, уменьшить в 10 раз.

⁶Ограничивающей апертурой является круглая диафрагма дозиметра, ограничивающая поверхность, по которой производится усреднение энергетической освещенности или энергетической экспозиции.

Спектральный диапазон II ($380 < \lambda \leq 1400$) нм

Во II спектральном диапазоне определяются предельно допустимые значения для:

- энергетической экспозиции ($H_{\text{ПДУ}}$) при однократном действии **на глаза** коллимированного ЛИ, времени действия меньше 1 с и ограничивающей апертуре $7 \cdot 10^{-3}$ м (см. табл. П. 1.3);
- энергетической освещённости ($E_{\text{ПДУ}}$) при однократном действии **на глаза** коллимированного ЛИ, времени действия больше 1 с, ограничивающей апертуре $7 \cdot 10^{-3}$ м (см. табл. П. 1.4);
- энергетической экспозиции ($H_{\text{ПДУ}}$) и энергетической освещённости ($E_{\text{ПДУ}}$) при однократном действии **на кожу** коллимированного или рассеянного ЛИ при ограничивающей апертуре $1,1 \cdot 10^{-3}$ м (см. табл. П. 1.6).

Если источником неколлимированного излучения, действующего **на глаза**, является протяженный объект, то предельно допустимые значения энергетической экспозиции $H_{\text{ПДУ}}$ и энергетической освещённости $E_{\text{ПДУ}}$ зависят от видимого углового размера α (рад) этого источника.

Значения $H_{\text{ПДУ}}$ и $E_{\text{ПДУ}}$ в этом случае находятся умножением значений, приведенных в табл. П. 1.3, П. 1.4, на поправочный коэффициент B .

Поправочный коэффициент B используется при определении ПДУ лазерного излучения от протяженного источника, угловой размер которого превышает $\alpha_{\text{пред}}$ (рад), где $\alpha_{\text{пред}}$ – предельный видимый угловой размер источника, при котором он может рассматриваться как точечный.

Угловой размер источника излучения определяется:

$$\alpha = d_n \cos \Theta / l, \quad (3.3)$$

где d_n – диаметр пучка лазерного излучения (см), который является диаметром поперечного сечения пучка лазерного излуче-

ния, внутри которого содержится заданная доля энергии или мощности; l - расстояние от точки наблюдения до источника (см); Θ – угол между нормалью к поверхности источника и направлением визирования (рад).

Значения B приведены в таблице П. 1.5, если $\alpha \leq \alpha_{\text{пред}}$, величина B принимается равной единице.

Для определения предельно допустимых значений $H_{\text{ПДУ}}$ и $E_{\text{ПДУ}}$ коллимированного или рассеянного ЛИ в спектральном диапазоне II при хроническом воздействии на глаза или кожу необходимо соответствующие предельные значения, приведенные в табл. П. 1.3, П. 1.4, уменьшить в 10 раз.

Спектральный диапазон III ($1400 < \lambda \leq 10^5$) нм

В III спектральном диапазоне определяются предельно допустимые значения для:

- энергетической экспозиции ($H_{\text{ПДУ}}$) и энергетической освещённости ($E_{\text{ПДУ}}$) при однократном воздействии **на глаза и кожу** коллимированного или рассеянного ЛИ при ограничивающей апертуре $1,1 \cdot 10^{-3}$ м (см. табл. П. 1.7).

Для определения значений $H_{\text{ПДУ}}$ и $E_{\text{ПДУ}}$ при хроническом воздействии на глаза и кожу коллимированного или рассеянного лазерного излучения в спектральном диапазоне III необходимо соответствующие предельные значения для однократного облучения, приведенные в таблице П. 1.7, уменьшить в 5 раз.

При импульсном излучении нормируется величина одного импульса. Соотношения для определения $H_{\text{ПДУ}}$ и $E_{\text{ПДУ}}$ при воздействии **на глаза и кожу** импульсного лазерного излучения всех диапазонов длин волн приведены в таблицах П. 1.1, П. 1.3, П. 1.6, П. 1.7.

Ограничивающая апертура

Диаметр ограничивающей апертуры (d) зависит от длины волны ЛИ (λ) и характера облучения тела человека.

Диаметр ограничивающей апертуры $7 \cdot 10^{-3}$ м.

- При облучении глаз излучением видимой и ближней инфракрасной областей, которые достигают сетчатки глаза почти без потерь.
- Размер соответствует максимальному расширению зрачка, при котором глаз наиболее уязвим: риск повреждения сетчатки.

Диаметр ограничивающей апертуры $1,1 \cdot 10^{-3}$ м.

- При облучении глаз излучением ультрафиолетовой и дальней инфракрасной областей, что связано с их интенсивным поглощением роговицей и хрусталиком глаза.
- При воздействии на кожу во всех диапазонах: малый диаметр учитывает локальный нагрев и потенциальные ожоги поверхности тела.

Сводные данные по выбору диаметра ограничивающей апертуры в зависимости от длины волны излучения и характера облучения тела человека приведены в таблице 3.1.

Таблица 3.1. Зависимость диаметра ограничивающей апертуры от длины волны лазерного излучения и типа биологического воздействия, $\cdot 10^{-3}$ м

Длина волны, λ нм	Область излучения	Глаза	Кожа
80 ... 380	Ультрафиолетовая	1,1	1,1
380 ... 750	Видимая	7	1,1
750 ... 1400	Ближняя инфракрасная	7	1,1
1400 ... 10^5	Дальняя инфракрасная	1,1	1,1

Из таблицы видно, что при облучении глаз диаметр ограничивающей апертуры (d) преимущественно равен $7 \cdot 10^{-3}$ м, а при облучении кожи тела человека $d_{\text{кожи}} = 1,1 \cdot 10^{-3}$ м.

4. Меры безопасности при работе с лазерами

4.1. Контроль уровня лазерного излучения

Дозиметрический контроль ЛИ – сопоставление результатов измерений или расчетов уровней лазерного излучения со значениями предельно допустимых уровней. Различают две формы дозиметрического контроля:

- предупредительный (оперативный);
- индивидуальный.

Предупредительный дозиметрический контроль заключается в определении максимальных уровней энергетических параметров ЛИ в точках на границе рабочей зоны. Его проводят при работе лазера в режиме максимальной отдачи мощности, определенной в паспорте изделия и конкретными условиями эксплуатации, не реже одного раза в год в порядке текущего санитарного надзора, а также:

- при вводе в эксплуатацию лазерных изделий II-IV классов;
- при изменении конструкции действующих установок;
- при модернизации средств коллективной защиты;
- при проведении экспериментальных и наладочных работ;
- при специальной оценке условий труда;
- при организации новых рабочих мест.

Индивидуальный дозиметрический контроль заключается в измерении уровней энергетических параметров излучения, воздействующего на глаза (кожу) конкретного работника в течение рабочего дня. Проводится при работе на открытых (экспериментальных) лазерных установках, а также в случаях, когда не исключено случайное воздействие ЛИ на глаза и кожу.

Контроль энергетических параметров ЛИ осуществляется специально назначенным лицом из числа инженерно-технических работников, прошедших специальное обучение.

Методы проведения различных форм дозиметрического кон-

троля ЛИ определены ГОСТ 12.1.031–2010. «Система стандартов безопасности труда. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения».

Аппаратура, применяемая для измерений, должна быть аттестована органами стандартизации и проходить государственную поверку в установленном порядке.

4.2. Средства защиты от лазерного излучения

Действующие лазерные установки следует размещать в отдельных, специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений.

Лазеры IV класса должны размещаться только в отдельных помещениях. Внутренняя поверхность помещения, а также предметы, находящиеся в этом помещении (за исключением используемых в работе элементов оптических систем), не должны иметь поверхностей с коэффициентом отражения больше 0,4; стены, потолок, пол помещения и предметы, находящиеся в помещении, должны иметь матовую поверхность, обеспечивающую минимальное отражение.

Средства защиты от лазерного излучения подразделяются на коллективные и индивидуальные.

Выбор средства защиты в каждом конкретном случае осуществляется с учетом требований безопасности для данного процесса.

Коллективные средства лазерной безопасности

Оградительные устройства. Надежной защитой от случайного попадания излучения на человека является экранирование луча на всем его пути распространения, если позволяют технические возможности.

Экраны для защиты от лазерного излучения могут быть непрозрачными или прозрачными.

Непрозрачные экраны или ограждения, препятствующие выходу ЛИ наружу, должны изготавливаться из металлических листов (сталь, дюралюминий и т.п.). В некоторых случаях допускается изготовление непрозрачных экранов из пластмасс.

Прозрачные экраны, должны поглощать ЛИ и при этом быть прозрачными на всем или части видимого диапазона длины волн (частично прозрачные экраны). Они изготавливаются из специальных стекол или органического стекла с соответствующей спектральной характеристикой. Оптическая плотность такого экрана на длине волны излучения должна быть достаточной для ослабления интенсивности облучения на рабочем месте оператора до величины, не превышающей ПДУ.

Если энергия ЛИ настолько велика, что может разрушить частично прозрачный экран, то необходимо принять меры, исключающие возможность прямого попадания луча на такой экран.

Для снижения уровня отраженного ЛИ линзы, призмы и другие твердые с зеркальной поверхностью предметы на пути луча должны снабжаться блендами, а облучаемый объект – защитными экранами – диафрагмами с отверстием, диаметр которого несколько превышает диаметр луча (рис. 4.1).

В этом случае через отверстие проходит только прямое излучение, отраженные лучи от объекта попадают на экран, который их частично поглощает и рассеивает.

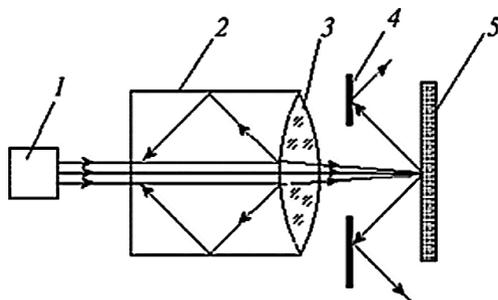


Рис. 4.1. Схема экранирования отраженного лазерного излучения блендами и диафрагмами: 1 – лазер; 2 – бленда; 3 – линза; 4 – диафрагма; 5 – мишень

При наличии в одном помещении нескольких лазерных установок необходимо оградить места их установки ширмами, шторками, занавесками или другими экранами, не пропускающими излучения, но так чтобы рабочее место удовлетворяло санитарно-гигиеническим требованиям и имело достаточное естественное и искусственное освещение.

Лазерные установки, являющиеся источником ионизирующего излучения, должны устанавливаться так, чтобы путь пучка проходил по непосещаемой людьми зоне, а точки фокусирования пучка при работе установки должны быть защищены диафрагмами.

Предохранительные устройства. Входы в помещения, где размещены лазерные установки, должны иметь блокировку.

При размещении пультовой и рабочей камеры в разных помещениях система блокировки входной двери в рабочую камеру должна отключаться только после выключения установки и окончания запретного периода, если он предусмотрен.

Должна быть исключена возможность включения установки при незапертой двери в рабочую камеру, а также возможность открытия двери во время работы установки.

При случайном открытии двери в рабочую камеру (или неисправности контакта блокировки) установка должна выключаться.

В рабочей камере должны быть установлены легко доступные устройства аварийного выключения и запрета включения лазерной установки.

Осветители с импульсными лампами накачки должны иметь блокировку, исключающую возможность вспышки лампы при открытой крышке осветителя.

При совмещении системы наблюдения с оптической системой лазерной установки для предохранения глаз от излучения в окулярах микроскопов предусматривается защита в виде диафрагм, автоматически закрывающихся в момент прохождения луча к мишени, или в виде светофильтров, поглощающих часть световой энергии, попадающей в окуляр микроскопа.

Устройства автоматического контроля и сигнализации.

Помимо блокировки входы в помещения, где размещаются лазерные установки, должны быть оборудованы звуковой и световой сигнализацией, заблокированной с системой пуска установки.

В помещениях, где проводятся работы с импульсной установкой, должна быть установлена сигнализация: световая – в период, когда на конденсаторной батарее поднимается напряжение, и звуковая – непосредственно (за 2...3 с) перед срабатыванием осветителя.

Во время работы установки на пульте управления и над входом в рабочую камеру должны гореть предупреждающие световые сигналы. Необходимо проверять исправность системы блокировки и сигнализации каждый раз перед включением установки.

В случае неисправности хотя бы одной из систем блокировки или сигнализации эксплуатация установки запрещается.

Устройства дистанционного управления. В целях обеспечения безопасности пульт управления лазерной установкой размещается в отдельном помещении с телевизионной или другой системой настройки, контроля и наблюдения за ходом процесса, применяются роботизированные комплексы.

Знаки безопасности. Путь пучка света импульсной лазерной установки должен быть маркирован покраской оправ, диафрагм и бленд. На дверях помещений, где размещаются лазерные установки, должен быть установлен знак «Опасно! Лазерное излучение» (рис. 4.2).

Средства индивидуальной защиты

В ряде случаев эксплуатации лазерных установок II...IV классов опасности применяют средства индивидуальной защиты (СИЗ), причем только в том случае, если коллективные средства защиты не позволяют обеспечить выполнение требований безопасности.

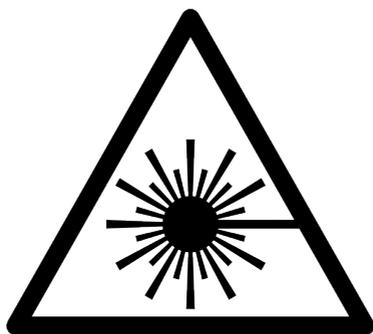


Рис. 4.2. Знак «Опасно! Лазерное излучение»

К СИЗ относятся технологические халаты, перчатки, защитные очки, щитки и маски.

Технологические халаты изготавливаются из хлопчатобумажного или бязевого материала светло-зеленого или голубого цвета.

Перчатки применяют в тех случаях, когда существует опасность воздействия ЛИ на кожный покров.

В защитных щитках, масках и очках применяются специальные светофильтры, задерживающие ЛИ, но пропускающие излучение в соседних диапазонах спектра. Это достигается за счет выбора светофильтров с определенной кривой спектрального пропускания.

Светофильтры защитных очков должны обеспечивать снижение интенсивности облучения глаз ЛИ до ПДУ. В паспортах на светофильтры и оправы очков указывают их спектральную характеристику, оптическую плотность и максимально допустимый уровень излучения.

При работе мощных лазеров недостаточна защита только глаз, так как возможно поражение кожи лица. Поэтому в таких случаях эффективно применение защитных щитков и масок.

5. Правила техники безопасности

1. К выполнению работы допускаются студенты, ознакомившиеся с лабораторной работой и усвоившие правила техники безопасности.
2. Допуск к выполнению лабораторной работы осуществляет преподаватель, ведущий лабораторное занятие, после проверки у студентов знаний описательной части лабораторной работы, руководства по эксплуатации стенда «Защита от лазерного излучения» и схемы эксперимента.
3. При работе с лазером необходимо помнить, что источниками опасности являются световой пучок лазера, а также его отраженные, преломленные и рассеянные лучи.
4. Перед включением лабораторного стенда в сеть необходимо убедиться в отсутствии механических повреждений корпуса и сетевого кабеля.
5. При обнаружении в процессе выполнения работы неисправности необходимо немедленно прекратить работу и сообщить преподавателю.

6. Описание лабораторной установки

В лабораторной работе исследуются способность различных поверхностей отражать лазерное излучение и способность различных материалов поглощать лазерное излучение.

Схема эксперимента по исследованию отражающей способности различных поверхностей представлена на рис. 6.1

Для вычисления коэффициентов отражения материалов ($\rho_{\text{экр}}$) исследуемых экранов используется выражение 6.2.

Оценка отражающей способности поверхностей производится через измерение эталонной энергетической освещенности ($E_{\text{эт}}$) при облучении приёмника лучами, отраженными от зеркала, и измерении энергетической освещенности ($E_{\text{экр}}$) от исследуемых экранов, помещенных вместо зеркала. Коэффициент отражения зеркала принят за единицу т.е., $\rho_{\text{эт}} = 1$.

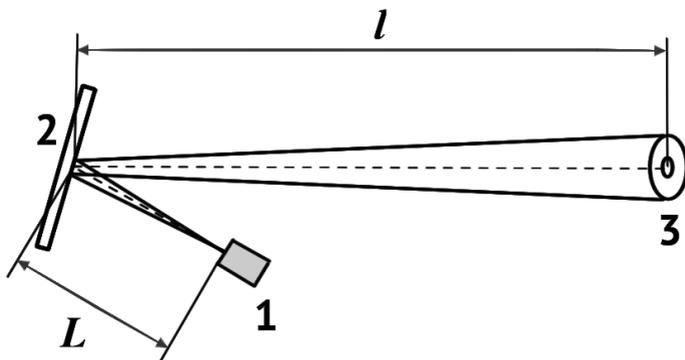


Рис. 6.1. Схема эксперимента по отражению лазерного излучения: 1 – лазер; 2 – отражатель; 3 – измеритель (приемник); L – расстояние от источника излучения до отражателя; l – расстояние от отражателя до приемника излучения

Из отношения интенсивности 6.1 получается выражение для расчёта коэффициента отражения исследуемых материалов 6.2.

$$\frac{E_{\text{экр}}}{E_{\text{эт}}} = \frac{\rho_{\text{экр}}}{\rho_{\text{эт}}} \quad (6.1)$$

$$\rho_{\text{экр}} = \frac{E_{\text{экр}}}{E_{\text{эт}}} \quad (6.2)$$

Схема эксперимента по исследованию поглощающей способности различных материалов представлена на рис. 6.2.

Оптические свойства поглотителей лазерного излучения можно оценить величиной оптической плотности материала (D), которая рассчитывается по формуле:

$$D = \lg \frac{E_0}{E}, \quad (6.3)$$

где E_0 и E – энергетические освещённости до и после ослабления лазерного излучения. Высокая оптическая плотность ($D \gg 1$) означает сильное ослабление излучения.

Если T – коэффициент пропускания, характеризующий долю

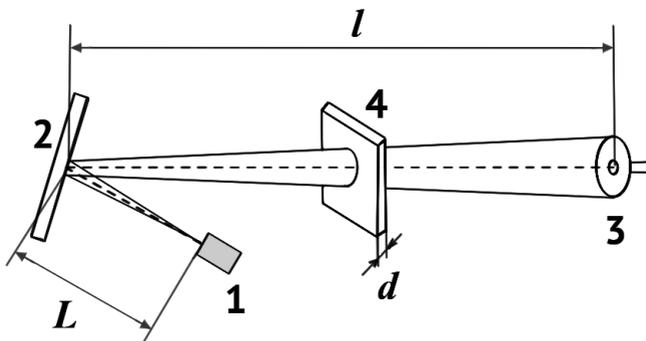


Рис. 6.2. Схема эксперимента по поглощению лазерного излучения: 1 – лазер; 2 – зеркало; 3 – измеритель (приемник); 4 – поглотитель; L – расстояние от источника излучения до зеркала; l – расстояние от отражателя до приемника излучения; d – толщина пластины поглотителя

энергии (или мощности) излучения прошедшего через образец, вычисляемый по формуле:

$$T = \frac{E}{E_0} = 10^{-D}, \quad (6.4)$$

то эффективность поглощения η лазерного излучения в процентах можно вычислить по формуле:

$$\eta = (1 - T) \times 100\% = (1 - 10^{-D}) \times 100\%. \quad (6.5)$$

Пример расчёта.

Пусть $E_0 = 1000 \text{ Вт/м}^2$, а после ослабления $E = 1 \text{ Вт/м}^2$, тогда оптическая плотность $D = 3$, $T = 10^{-3}$ (ослабление в 1000 раз), а эффективность поглощения $\eta = (1 - 10^{-3}) \times 100\% = 99,9\%$.

В лабораторной работе в качестве источника лазерного излучения применен лазерный модуль непрерывного режима работы с коллимированным пучком излучения малой расходимости красного цвета, имеющий длину волны излучения $\lambda = 650 \text{ нм}$.

Лазерный луч проходит в светонепроницаемом защитном ко-

жухе, на его пути устанавливаются поглотители и отражатели в специальные прорезы «3» и «2» соответственно (рис. 6.3).

Прибор для измерения интенсивности лазерного излучения встроен в стенд и имеет два коэффициента масштабирования $k_1 = 2$ и $k_2 = 0,002$.

Полученные в ходе лабораторной работы показания измерительного прибора (E^*) необходимо умножить на коэффициент k_1 или k_2 в зависимости от выбранного при измерении диапазона.

Фильтры-поглотители:

1. Силикатное (оконное) стекло (толщина 2 мм).
2. Оргстекло (толщина 3 мм).
3. Сварочное стекло С3 (толщина 2,5 мм).
4. Сварочное стекло С5 (толщина 2,5 мм).
5. Тонкий пластик синего цвета.
6. Тонкий пластик красного цвета.
7. Тонкий пластик зеленого цвета.
8. Ткань тонкая хлопчатобумажная белого цвета.
9. Полиэтиленовая пленка 60 мкм.
10. Тонкий пластик желтого цвета.

Фильтры-отражатели:

11. Зеркало.
12. Пластина жестяная.
13. Пластина медная.
14. Стеклотекстолит.
15. Глянцевая белая поверхность.
16. Глянцевая черная поверхность.
17. Матовая белая поверхность.
18. Матовая черная поверхность.
19. Пластина алюминиевая.

На верхней части держателей фильтров и отражателей имеются отверстия (до 10 в ряду). Количество отверстий на держателе соответствует номеру в списке.



Рис. 6.3. Стенд для исследования методов защиты от лазерного излучения: 1 – отражатели и поглотители; 2 – место установки отражателей; 3 – место установки поглотителей; 4 – органы управления и индикации прибора для измерения интенсивности лазерного излучения; 5 – кнопка питания «Сеть»

7. Ход выполнения лабораторной работы

7.1. Определение ПДУ лазерного излучения

Для условий, заданных в таблице 7.1 определите предельно допустимый уровень (ПДУ) лазерного излучения (ЛИ): энергетическая экспозиция $H_{ПДУ}$ (Дж/м²) и/или энергетическую освещённость $E_{ПДУ}$ (Вт/м²).

Таблица 7.1. Исходные данные для определения ПДУ лазерного излучения

№	λ , нм	Вид излучения	Тип облучения	Облучаемая часть тела	Длительность, ЛИ τ , с	Огранич. апертура d , мм	ПДУ ЛИ
1	450	коллимированное	однократное	глаза	0,1		
2	500	рассеянное	хроническое	кожа	10		
3	800	коллимированное	однократное	глаза	10		
4	1200	рассеянное	хроническое	кожа	0,01		
5	450	рассеянное	хроническое	кожа	100		
6	500	коллимированное	однократное	глаза	0,01		
7	800	рассеянное	хроническое	кожа	0,1		
8	1200	коллимированное	однократное	глаза	10		

7.2. Определение отражающей способности экранов

1. Подсоедините сетевой кабель стенда к сетевой розетке с заземляющим контактом.
2. В месте установки поглотителей «3» (рис. 6.3) ничего не должно быть установлено. Переключатель диапазонов прибора в положении «Выкл» (прибор для измерений выключен). Включите стенд, для чего переведите переключатель «Сеть» в положение «I».
3. В место установки отражателя «2» (рис. 6.3) установите зеркало. Переключая пределы измерений прибора «4», считайте с цифрового индикатора измеренное значение и занесите его в таблицу 7.2 в столбец некалиброванных данных энергетической освещённости E^* , также зафиксируйте значение коэффициента масштабирования k_i некалиброванных данных ($k_1 = 2$ или $k_2 = 0,002$). В случае появления на индикаторе символа «1», установите следующий диапазон измерения.
4. Поочерёдно замените зеркало на различные отражатели. Переключая пределы измерений прибора «4» зафиксируйте некалиброванные значения энергетической освещённости (E^*) и соответствующую величину коэффициента масштабирования. Результаты экспериментальных данных занести в таблицу 7.2.
5. Выключите измерительный прибор, повернув переключатель в положение «Выкл.». Выключите стенд, переведя переключатель «Сеть» в положение «0».
6. Рассчитайте фактическое значение энергетической освещённости (E) по формуле $E = E^* \cdot k_i$.
7. По формуле 6.2 вычислить коэффициент отражения каждого отражателя. Результаты расчетов занести в таблицу 7.2.
8. Сделать вывод на основе полученных результатов.

Таблица 7.2. Отражающая способность различных поверхностей

№	Наименование отражателя	Характеристика поверхности	E^*	k_i	Энергетическая освещенность E , Вт/м ²	Коэффициент отражения $\rho_{\text{экр}}$
11	Зеркало	Полирован.				
12	Пластина жестяная	Полирован.				
13	Пластина медная	Полирован.				
14	Стеклотекстолит	Полирован.				
15	Белая поверхность	Глянцевая				
16	Чёрная поверхность	Глянцевая				
17	Белая поверхность	Матовая				
18	Чёрная поверхность	Матовая				
19	Пластина алюминиевая	Полирован.				

7.3. Определение эффективности поглотителей

1. В место установки отражателя «2» установите зеркало.
2. Включите стенд, с помощью переключателя «Сеть».
3. Первое измерение проведите при отсутствии поглотителей лазерного излучения. Переключая пределы измерений прибора «4», считайте с цифрового индикатора некалиброванное значение энергетической экспозиции (E^*) и зафиксируйте соответствующий коэффициент преобразования (k_i) в табл. 7.3.
4. Устанавливая поочередно на пути лазерного луча различные поглотители, произведите аналогичные измерения для каждого из них. Полученные значения занести в таблицу 7.3.
5. По окончании эксперимента уберите последний поглотитель в ячейки для хранения.
6. Выключите измерительный прибор, повернув переключатель в положение «Выкл.». Выключите стенд, переведя переключатель «Сеть» в положение «0».
7. Рассчитайте значение оптической плотности (D) по формуле 6.3, а также эффективность поглощения лазерного излучения (η) по формуле 6.5.

8. Сделайте вывод с учетом ПДУ о возможности применения их для защитных очков и в качестве материалов других средств индивидуальной защиты.

Таблица 7.3. **Отражающая способность различных поверхностей**

№	Наименование поглотителя	E^*	k_i	E , Вт/м ²	D	η , %
-	Без поглотителя					
1.	Силикатное (оконное) стекло (толщина 2 мм).					
2.	Оргстекло (толщина 3 мм).					
3.	Сварочное стекло С3 (толщина 2,5 мм).					
4.	Сварочное стекло С5 (толщина 2,5 мм).					
5.	Тонкий пластик синего цвета.					
6.	Тонкий пластик красного цвета.					
7.	Тонкий пластик зеленого цвета.					
8.	Ткань тонкая хлопчатобумажная белого цвета.					
9.	Полиэтиленовая пленка 60 мкм.					
10.	Тонкий пластик желтого цвета.					

8. Содержание отчёта по лабораторной работе

1. Титульный лист.
2. Содержание.
3. Цель лабораторной работы.
4. Задачи лабораторной работы.
5. Используемые инструменты.
6. Теоретические основы.
7. Ход работы и результаты измерений.
8. Выводы.
9. Список литературы.

9. Контрольные вопросы

1. Что такое лазер?
2. Виды воздействия лазерного излучения на живой организм?
3. Какие основные параметры лазерного излучения влияют на степень опасности для человека?
4. Деление лазеров по степени опасности выходного излучения?
5. Нормируемые параметры лазерного излучения?
6. Для каких случаев устанавливаются предельно допустимые уровни лазерного излучения?
7. Что такое дозиметрический контроль лазерного излучения?
8. В чем заключается предупредительный дозиметрический контроль?
9. В чем заключается индивидуальный дозиметрический контроль?
10. Коллективные средства защиты от повышенного уровня лазерного излучения?
11. Средства индивидуальной защиты от лазерного излучения?
12. Меры и последовательность оказания первой помощи при поражении лазерным излучением?
13. Принцип действия рубинового лазера. Инверсная заселённость?

Приложения

Приложение 1

Нормирование лазерного излучения

Санитарные правила и нормы СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания».

Таблица П. 1.1. Соотношения для определения $H_{ПДУ}$, $E_{ПДУ}$ при однократном действии на глаза и кожу коллимированного или рассеянного лазерного излучения в диапазоне I ($180 < \lambda \leq 380$ нм). Ограничивающая апертура – $1,1 \cdot 10^{-3}$ м

Спектральный интервал λ , нм	Время действия t , с	$H_{ПДУ}$, Дж/м ² ; $E_{ПДУ}$, Вт/м ²
$180 < \lambda \leq 380$	$t \leq 10^{-9}$	$H_{ПДУ} = 2,5 \times 10^7 \sqrt[3]{t^2}$
$180 < \lambda \leq 302,5$	$10^{-9} < t \leq 3 \times 10^4$	$H_{ПДУ} = 25$
		$E_{ПДУ} = 25/t$
$302,5 < \lambda \leq 315$	$10^{-9} < t \leq T_1 <^* >$	$H_{ПДУ} = 4,4 \times 10^3 \sqrt[4]{t}$
	$T_1 <^* > < t \leq 3 \times 10^4$	$H_{ПДУ} = 0,8 \times 10^{0,2(\lambda-295)}$ $E_{ПДУ} = \frac{0,8 \times 10^{0,2(\lambda-295)}}{t}$
$315 < \lambda \leq 380$	$10^{-9} < t \leq 10$	$H_{ПДУ} = 4,4 \times 10^3 \sqrt[4]{t}$
	$10 < t \leq 3 \times 10^4$	$H_{ПДУ} = 8 \times 10^3$ $E_{ПДУ} = \frac{8 \times 10^3}{t}$

Во всех случаях:

$$W_{ПДУ} = H_{ПДУ} \cdot 10^{-6}; P_{ПДУ} = E_{ПДУ} \cdot 10^{-6}$$

$$<^* > T_1 = 10^{-15} \times 10^{0,8(\lambda-295)}$$

Таблица П. 1.2. **Предельные однократные суточные дозы $H_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}(3 \times 10^4)$ при действии на глаза и кожу лазерным излучением в спектральном диапазоне I ($180 < \lambda \leq 380$ нм)**

Спектральный интервал λ , нм	$H_{\text{ПДУ}}^{\Sigma}(3 \times 10^4)$, Дж/м ²
$180 < \lambda \leq 302,5$	25
$302,5 < \lambda \leq 315$	$0,8 \times 10^{0,2(\lambda-295)}$
305	80
307,5	250
310	8×10^2
312,5	$2,5 \times 10^3$
315	8×10^3
$315 < \lambda \leq 380$	8×10^3

Таблица П. 1.3. **Соотношения для определения $H_{\text{ПДУ}}$ при однократном действии на глаза коллимированного лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм). Время действия меньше 1 с. Ограничивающая апертура – $7 \cdot 10^{-3}$ м**

Спектральный интервал λ , нм	Время действия t , с	$H_{\text{ПДУ}}$, Дж/м ²
$380 < \lambda \leq 600$	$t \leq 2,3 \times 10^{-11}$	$2,6 \times 10^4 \sqrt[3]{t^2}$
	$2,3 \times 10^{-11} < t \leq 5,0 \times 10^{-5}$	$2,1 \times 10^{-3}$
	$5,0 \times 10^{-5} < t \leq 1,0$	$1,5 \sqrt[3]{t^2}$
$600 < \lambda \leq 750$	$t \leq 6,5 \times 10^{-11}$	$2,6 \times 10^4 \sqrt[3]{t^2}$
	$6,5 \times 10^{-11} < t \leq 5,0 \times 10^{-5}$	$4,2 \times 10^{-3}$
	$5,0 \times 10^{-5} < t \leq 1,0$	$3,1 \sqrt[3]{t^2}$
$750 < \lambda \leq 1000$	$t \leq 2,5 \times 10^{-10}$	$2,6 \times 10^4 \sqrt[3]{t^2}$
	$2,5 \times 10^{-10} < t \leq 5,0 \times 10^{-5}$	$1,0 \times 10^{-2}$
	$5,0 \times 10^{-5} < t \leq 1,0$	$7,8 \sqrt[3]{t^2}$
$1000 < \lambda \leq 1400$	$t \leq 10^{-9}$	$2,6 \times 10^4 \sqrt[3]{t^2}$
	$10^{-9} < t \leq 5,0 \times 10^{-5}$	$2,6 \times 10^{-2}$
	$5,0 \times 10^{-5} < t \leq 1,0$	$19,2 \sqrt[3]{t^2}$

Таблица П. 1.4. Соотношения для определения $E_{ПДУ}$ при однократном действии на глаза коллимированного лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм). Время действия больше 1 с. Ограничивающая апертура – $7 \cdot 10^{-3}$ м

Спектральный интервал λ , нм	Время действия t , с	$E_{ПДУ}$, Вт/м ²
$380 < \lambda \leq 500$	$1,0 < t \leq 5,0 \times 10^2$	$1,8/\sqrt[3]{t}$
	$5,0 \times 10^2 < t \leq 10^4$	$96/t$
	$t > 10^4$	$9,6 \times 10^{-3}$
$500 < \lambda \leq 600$	$1,0 < t \leq 2,2 \times 10^3$	$1,5/\sqrt[3]{t}$
	$2,2 \times 10^3 < t \leq 10^4$	$260/t$
	$t > 10^4$	$2,6 \times 10^{-2}$
$600 < \lambda \leq 700$	$1,0 < t \leq 2,2 \times 10^3$	$31/\sqrt[3]{t}$
	$2,2 \times 10^3 < t \leq 10^4$	$520/t$
	$t > 10^4$	$5,2 \times 10^{-2}$
$700 < \lambda \leq 750$	$1,0 < t \leq 10^4$	$3,1/\sqrt[3]{t}$
	$t > 10^4$	0,1
$750 < \lambda \leq 1000$	$1,0 < t \leq 10^4$	$7,8/\sqrt[3]{t}$
	$t > 10^4$	0,4
$1000 < \lambda \leq 1400$	$1,0 < t \leq 10^4$	$19,2/\sqrt[3]{t}$
	$t > 10^4$	0,9

Таблица П. 1.5. Зависимость величины поправочного коэффициента B от видимого углового размера протяженного источника излучения для различных интервалов времени действия

Время действия t , с	Поправочный коэффициент B	Предельный угол $\alpha_{пред}$, рад
$t \leq 10^{-9}$	$10^3 \cdot \alpha^2 + 1$	10^{-2}
$10^{-9} < t \leq 10^{-7}$	$2,8 \cdot 10^3 \cdot \alpha^2 + 1$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
$10^{-7} < t \leq 10^{-5}$	$8,2 \cdot 10^3 \cdot \alpha^2 + 1$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
$10^{-5} < t \leq 10^{-4}$	$2,5 \cdot 10^4 \cdot \alpha^2 + 1$	$2,0 \cdot 10^{-3}$
$10^{-4} < t \leq 10^{-2}$	$8,2 \cdot 10^3 \cdot \alpha^2 + 1$	$3,5 \cdot 10^{-3}$
$10^{-2} < t \leq 1$	$2,8 \cdot 10^3 \cdot \alpha^2 + 1$	$6,0 \cdot 10^{-3}$
$t > 1$	$10^3 \cdot \alpha^2 + 1$	10^{-2}

Таблица П. 1.6. Соотношения для определения $H_{\text{ПДУ}}$, $E_{\text{ПДУ}}$ при однократном действии на кожу коллимированного или рассеянного лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм). Ограничивающая апертура – $1,1 \cdot 10^{-3}$ м

Спектральный интервал λ , нм	Время действия t , с	$H_{\text{ПДУ}}$, Дж/м ² ; $E_{\text{ПДУ}}$, Вт/м ²
$380 < \lambda \leq 500$	$10^{-10} < t \leq 10^{-1}$	$H_{\text{ПДУ}} = 2,5 \times 10^3 \sqrt[5]{t}$
	$10^{-1} < t \leq 1$	$H_{\text{ПДУ}} = 50 \times 10^3 \sqrt{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^2$
$500 < \lambda \leq 900$	$10^{-10} < t \leq 3$	$H_{\text{ПДУ}} = 7,0 \times 10^3 \sqrt[5]{t}$
	$3 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^2$
$900 < \lambda \leq 1400$	$10^{-10} < t \leq 1$	$H_{\text{ПДУ}} = 2,0 \times 10^4 \sqrt[5]{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 2,0 \times 10^4 / \sqrt[5]{t^4}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^2$

$$W_{\text{ПДУ}} = H_{\text{ПДУ}} \times 10^{-6}, P_{\text{ПДУ}} = E_{\text{ПДУ}} \times 10^{-6}$$

Таблица П. 1.7. Соотношения для определения $H_{\text{ПДУ}}$, $E_{\text{ПДУ}}$ при однократном действии на глаза и кожу коллимированного или рассеянного лазерного излучения в спектральном диапазоне III ($1400 < \lambda \leq 10^5$ нм). Ограничивающая апертура – $1,1 \cdot 10^{-3}$ м

Спектральный интервал λ , нм	Время действия t , с	$H_{\text{ПДУ}}$, Дж/м ² ; $E_{\text{ПДУ}}$, Вт/м ²
$1400 < \lambda \leq 1800$	$10^{-10} < t \leq 1$	$H_{\text{ПДУ}} = 2,0 \times 10^4 \times \sqrt[5]{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 2,0 \times 10^4 / \sqrt[5]{t^4}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^2$
$1800 < \lambda \leq 2500$	$10^{-10} < t \leq 3$	$H_{\text{ПДУ}} = 7,0 \times 10^3 \times \sqrt[5]{t}$
	$3 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^2$
$2500 < \lambda \leq 10^5$	$10^{-10} < t \leq 10^{-1}$	$H_{\text{ПДУ}} = 2,5 \times 10^3 \times \sqrt[5]{t}$
	$10^{-1} < t \leq 1$	$H_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^3 \times \sqrt{t}$
	$1 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \times 10^2$

$$W_{\text{ПДУ}} = H_{\text{ПДУ}} \times 10^{-6}, P_{\text{ПДУ}} = E_{\text{ПДУ}} \times 10^{-6}$$

Список литературы

1. Безопасность жизнедеятельности / С. В. Белов, В. А. Девислов [и др.] ; под ред. С. В. Белов, А. В. Ильницкая, А. Ф. Козьяков. — М.: Высш. шк., 2007. — С. 616.
2. **ГОСТ 31581-2012.** Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий.
3. **ГОСТ ИЕС 60825-1-2023.** Безопасность лазерной аппаратуры. Часть 1. Классификация оборудования и требования.
4. **ГОСТ Р 12.1.031-2010.** Система стандартов безопасности труда. Лазеры. Методы дозиметрического контроля лазерного излучения.
5. **СанПиН 1.2.3685-21.** Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания.
6. **Сивухин Д. В.** Общий курс физики. Учебное пособие для вузов. В 5 томах : Оптика. Т. 4. — 3-е изд., стереотип. — Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 792 с. — ISBN 5-9221-0228-1.

Содержание

1. Общие теоретические сведения	3
2. Рубиновый лазер	8
3. Нормирование воздействующих факторов	10
4. Меры безопасности при работе с лазерами	15
5. Правила техники безопасности	21
6. Описание лабораторной установки	21
7. Ход выполнения лабораторной работы	25
8. Содержание отчёта по лабораторной работе	28
9. Контрольные вопросы	29
Приложения	30
Список литературы	34

ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

*Методические указания
к выполнению лабораторной работы по дисциплине
«Безопасность жизнедеятельности»*

Составитель Овсянников Юрий Михайлович

Редактор _____

Подписано в печать _____._____ Формат 60x84 1/16.
Печать плоская. Усл. печ. л. 3,48. Тираж ____ экз. Заказ №
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»
Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.