

Московский государственный технический университет
имени Н.Э. Баумана

Факультет «Энергомашиностроение»

Кафедра «Экология и промышленная безопасность»

Б.Н. Рахманов, Ю.Л. Ткаченко

ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Лабораторный стенд БЖД - 11

Электронное учебное издание

Методические указания к лабораторной работе
по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности»

Москва

(С) 2014 МГТУ им. Н.Э. БАУМАНА

Рецензент: проф. д.ф-м.н., Протасов Ю.С.

Рахманов Б.Н., Ткаченко Ю.Л.

Защита от лазерного излучения: Лабораторный стенд БЖД - 11. Электронное учебное издание. Методические указания к лабораторной работе по дисциплине «Безопасность жизнедеятельности» - М.: МГТУ имени Н.Э. Баумана, 2014.- 30 с.

Издание содержит методические материалы и указания, позволяющие студенту изучить вопросы нормирования и защиты от лазерного излучения. В процессе выполнения работы студент знакомится с принципом определения класса опасности лазерной установки расчётным путем с использованием измеренных с помощью лабораторного стендаБЖД - 11 коэффициентов отражения для различных видов материала мишени. Так же, определив коэффициенты поглощения и оптическую плотность различных марок стекол и полупрозрачных материалов, студент учится подбирать СИЗ для защиты работника от лазерного излучения.

Рахманов Борис Николаевич

Ткаченко Юрий Леонидович

Защита от лазерного излучения.

Лабораторный стенд БЖД - 11.

Оглавление

Цель работы.....	4
Содержание работы	4
1. Теоретическая часть	6
1.1. Классификация и сферы применения лазеров	6
1.2. Опасные и вредные факторы при работе с лазерами	7
1.3. Воздействие лазерного излучения на человека	8
1.4. Нормирование лазерного излучения.....	10
1.5. Меры безопасности при эксплуатации лазеров	13
2. Экспериментально – расчетная часть.....	19
2.1. Описание лабораторного стенда	19
2.2. Меры безопасности при работе на стенде	21
2.3. Порядок выполнения работы.....	21
Контрольные вопросы.....	23
Литература.....	23
Приложение 1. Варианты заданий для выполнения лабораторной работы	24
Приложение 2. Форма отчёта по лабораторной работе	49

Цель работы

Ознакомиться с принципами нормирования воздействия на человека лазерного излучения, приобрести навыки оценки класса опасности лазерных установок и подбора средств индивидуальной защиты, а так же навыки измерения энергетических характеристик лазерного излучения.

Содержание работы

1. Подготовиться к работе.

Изучить теоретическую и расчетно-экспериментальную часть методических указаний.

Ознакомиться с устройством лабораторного стенда, принципом его работы и мерами безопасности, приведёнными в соответствующем разделе.

2. Выполнить задание №1. «Оценка опасности лазерной установки при облучении глаз».

Получить номер варианта задания. Варианты заданий приведены в Приложении №1.

Провести нормирование лазерного излучения при прямом и диффузно отраженном воздействии на глаза и определить значение ПДУ энергетических характеристик.

Путём измерения энергетических характеристик излучения на лабораторном стенде БЖД-11 определить коэффициент отражения излучения материалом мишени и рассчитать энергетические характеристики отраженного лазерного излучения.

Сравнить значение энергетических характеристик прямого и отраженного излучения с величиной ПДУ и сделать заключение об опасности лазера при прямом и диффузно отраженном облучении глаз.

3. Выполнить задание №2. «Оценка опасности лазерной установки при облучении кожи».

Провести нормирование лазерного излучения при прямом и диффузно отраженном воздействии на кожу и определить ПДУ энергетических характеристик.

Сравнить значение энергетических характеристик прямого и отраженного излучения с ПДУ и сделать заключение об опасности лазера при прямом и диффузно отраженном облучении кожи.

Сделать вывод о том, к какому классу опасности можно отнести рассматриваемую лазерную установку.

Оглавление

4. Выполнить задание №3. «Подбор материалов для защиты от лазерного излучения».

Провести нормирование лазерного излучения при хроническом воздействии на глаза и кожу, определить значение ПДУ энергетических характеристик излучения.

Сравнить энергетические характеристики излучения лазера с ПДУ и рассчитать требуемую величину оптической плотности материалов для защиты работников.

Определить коэффициент пропускания различных материалов η и их оптическую плотность D посредством измерения энергетических характеристик излучения на стенде БЖД-11.

Сделать вывод о том, какой материал подходит для СИЗ в виде очков для защиты глаз и щитков, для защиты кожи работника.

5. Оформить и защитить результаты лабораторной работы. Оформить отчёт по образцу, приведённому в Приложении №2. Защитить лабораторную работу, ответив преподавателю на контрольные вопросы, приведённые в следующем разделе.

1. Теоретическая часть

1.1. Классификация и сферы применения лазеров

В настоящее время лазеры используются в самых разнообразных сферах человеческой деятельности - от световых указок в науке и образовании до боевых установок специального назначения в армии. Велико многообразие принципов работы лазеров и параметров лазерного излучения. Области применения лазерных установок в зависимости от плотности мощности излучения в выходном сечении излучателя, приведены в табл. 1. [1]

Таблица 1

Области применения лазеров в зависимости от выходной плотности излучения

Область применения	$E, \text{ Вт}/\text{м}^2$
Презентации, зрелища, лазерные шоу	Менее 10^3
Медицинская диагностика, лазерная терапия	$10^3 - 10^5$
Офтальмология, лазерная хирургия	$10^5 - 10^{11}$
Связь, локация, геодезические измерения	$10^7 - 10^9$
Лазерная сварка материалов	$10^9 - 10^{10}$
Испарение материалов, лазерное скрайбирование	$10^{10} - 10^{11}$
Резка и раскрой материалов, прошивка отверстий	$10^{10} - 10^{12}$
Создание эффектов нелинейной оптики	$10^{11} - 10^{13}$
Решение специальных задач	Свыше 10^{13}

Лазеры классифицируют в зависимости от длины волны излучения λ . Основные группы лазерных установок приведены в табл.2. [1]

Таблица 2

Классификация лазеров в зависимости от длины волны генерируемого излучения

Наименование лазеров	$\lambda, \text{ нм}$
Рентгеновские	Менее 10
Ультрафиолетовые	$180 - 380$
Видимого излучения: синие, зелёные, красные	$380 - 750$
Ближнего инфракрасного диапазона	$750 - 1400$
Дальнего инфракрасного диапазона	$1400 - 10\,000$

Оглавление

Так же, лазеры подразделяются в зависимости от режима генерации излучения на **непрерывные, импульсные и импульсные с модулированной добротностью**. Система накачки импульсных лазеров работает в импульсном режиме. У лазеров с модулированной добротностью система накачки работает в непрерывном режиме, а серия импульсов излучения создаётся с помощью управляемого оптического затвора, что позволяет получить малую длительность импульса (до $10^{-9}\dots10^{-10}$ сек), при которой намного возрастают пиковые значения выходной мощности излучения.

В зависимости от вида используемого рабочего тела, лазеры называются **твердотельными** (рабочее тело: кристаллы, стёкла), **жидкостными** (растворы органических красителей, растворы неорганических люминофоров), **газовыми** (CO_2 , эксимеры инертных газов и галогенов, пары металлов), **полупроводниковыми** (арсенид галлия, кремний, германий) и лазерами на **свободных электронах** (рабочим телом которых является поток свободных электронов, колеблющихся во внешнем электромагнитном поле).

По принципу работы системы накачки, создающей в рабочем теле инверсию населённости энергетических уровней, лазеры подразделяют на установки с **оптической** накачкой при помощи непрерывно излучающих или импульсных источников света, **газодинамической** накачкой посредством адиабатического расширения движущейся с высокой скоростью газовой смеси, накачкой **электрическим разрядом**, накачкой **постоянным или импульсным током**, накачкой энергией, выделяющейся при **химических реакциях**, накачкой **электромагнитным излучением** и с **ядерной** накачкой, при которой энергия выделяется в результате распада ядер атомов радиоактивных веществ.

1.2. Опасные и вредные факторы при работе с лазерами

Большое разнообразие видов используемых рабочих тел и типов систем накачки обуславливает широту набора химических и физических вредных и опасных факторов, сопровождающих эксплуатацию лазеров. К этим факторам относятся:

- прямое, зеркально или диффузно отраженное (рассеянное) лазерное излучение;
- сопутствующее ультрафиолетовое, видимое или инфракрасное излучение от систем накачки и раскалённых материалов мишени;
- электромагнитное излучение промышленной частоты и радиочастотного диапазона от электрооборудования и систем накачки лазеров;
- рентгеновское излучение от газоразрядных трубок и других элементов конструкции лазеров, работающих при анодном напряжении более 5 кВ;

Оглавление

- ионизирующее излучение от лазерных систем с ядерной накачкой;
- шум и вибрация лазеров с движущимся рабочим телом, динамических систем накачки и элементов электропитания лазеров;
- токсичные газы, пары и аэрозоли, выделяющиеся от лазерных систем с прокачкой химических веществ и образующиеся при взаимодействии лазерного излучения с обрабатываемыми материалами;
- высокая температура поверхностей элементов конструкции лазеров;
- высокая опасность поражения человека электрическим током вследствие повышенного напряжения в электрических цепях управления и источниках электропитания лазеров;
- высокая пожаро- и взрывоопасность в системах накачки лазеров.

Так как большинство указанных факторов изучаются на других лабораторных установках, а защита от этих факторов рассматривается в соответствующих разделах курса БЖД, то в данной лабораторной работе основное внимание сосредоточено на нормировании лазерного излучения и исследовании средств защиты от него.

1.3. Воздействие лазерного излучения на человека

При воздействии лазерного излучения на человека наблюдаются первичные и вторичные биологические эффекты. Первичные эффекты вызваны непосредственным действием поглощенной энергии излучения и возникают при попадании прямого, зеркально или диффузно отраженного лазерного излучения на глаза и на кожу. Лазерное излучение вызывает наибольшие повреждения тех тканей, которые максимально его поглощают.

Лазерное излучение с $\lambda = 380\ldots1400$ нм (видимая и ближняя инфракрасная области спектра) представляет наибольшую опасность для сетчатки глаза, а излучение с $\lambda = 180\ldots380$ нм (ультрафиолетовая область) и выше 1400 нм (дальняя инфракрасная область) – для роговицы, хрусталика и передних оптических сред глаза.

При повреждении роговицы появляется её воспаление и отёк, сопровождающийся болью в глазах, спазмом век, слезотечением, покраснением и отёком глазного яблока. При тяжелом повреждении роговой оболочки возникают дефекты биологической ткани, что приводит к потере прозрачности. Поглощение лазерного излучения хрусталиком приводит к его помутнению – катаракте и ухудшению зрения.

При легком повреждении сетчатки лазерным излучением на глазном дне наблюдается небольшой участок мутности или омертвения сетчатки. Если плотность мощности излучения

Оглавление

в сечении зрачка глаза превысит $1,5 \cdot 10^6 \text{ Вт}/\text{м}^2$, возможен взрывной выброс участка сетчатки в стекловидное тело. Эти повреждения сопровождаются кровоизлиянием в сетчатку, подсетчаточное пространство или стекловидное тело глаза, что приводит к частичной потере зрения.

Воздействие на кожу оказывает лазерное излучение любой длины волн в спектральном диапазоне $\lambda = 180\dots100\,000 \text{ нм}$. Следует учитывать, что энергия мощного лазерного излучения способна повреждать кожу и через лёгкую одежду. Лучше всего защищает от лазерного излучения текстильная ткань белого цвета. Кроме того, существует возможность возгорания одежды при ее контакте с пучком лазерного излучения, что приводит к термическим ожогам кожи.

Очаг повреждения кожи чаще всего представляет собой круг, диаметр которого зависит от диаметра источника излучения. При пересечении пучка мощного лазера, работающего в непрерывном режиме, участок повреждения имеет вид полосы, ширина которой равняется диаметру пучка. Степень тяжести повреждения кожи зависит от плотности мощности лазерного излучения, длительности воздействия, длины волны излучения, окраски кожных покровов. В зависимости от тяжести повреждения на поверхности кожи возникает либо покраснение, либо очаг поражения серовато-белой окраски. Пораженная область становится болезненной и воспаляется. При тяжелых повреждениях, вследствие испарения биологических тканей, появляются кратерообразные дефекты кожного покрова, подкожной и мышечной ткани.

Так же, прямое импульсное излучение лазеров, особенно работающих в режиме модуляции добротности, с длительностью импульса менее 10^{-2} сек. способно воздействовать на внутренние органы человека, так как при этом энергия излучения преобразуется внутри тела в энергию ударной волны. При облучении брюшной стенки импульсным излучением возможны повреждения ударной волной кишечника, печени и других органов брюшной полости, при облучении головы – внутричерепные и внутримозговые кровоизлияния.

Вторичные биологические эффекты проявляются при длительном хроническом воздействии диффузно отраженного лазерного излучения на человека. Вторичные эффекты проявляются в виде функциональных нарушений в работе нервной, сердечно-сосудистой системы и желез внутренней секреции.

С точки зрения опасности для человека, лазерные установки подразделяются на 4 класса [2]:

I класс – полностью безопасные лазеры, прямое выходное излучение которых не представляет опасности при облучении глаз и кожи.

Оглавление

II класс – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении кожи или глаз человека прямым или зеркально отраженным пучком; диффузно отраженное излучение безопасно как для кожи, так и для глаз.

III класс – лазеры, выходное излучение которых представляет опасность при облучении глаз не только прямым, но и диффузно отраженным излучением на расстоянии 10 см от отражающей поверхности и (или) при облучении кожи прямым или зеркально отраженным излучением. Диффузно отраженное излучение лазеров III класса не представляет опасности для кожи. Этот класс распространяется только на лазеры, генерирующие излучение в спектральном диапазоне $\lambda = 380\dots1400$ нм.

IV класс – лазеры, диффузно отраженное излучение которых представляет опасность для глаз и кожи на расстоянии 10 см от отражающей поверхности.

По степени опасности лазеры классифицируют расчетным методом на основе нормирования выходных характеристик излучения.

1.4. Нормирование лазерного излучения

Документом для нормирования лазерного излучения являются СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров» [2]. Предельно допустимые уровни (ПДУ) лазерного излучения устанавливаются для двух условий облучения – однократного и хронического для трех диапазонов длин волн:

$$\text{I} - 180 < \lambda \leq 380 \text{ нм}; \quad \text{II} - 380 < \lambda \leq 1400 \text{ нм}; \quad \text{III} - 1400 < \lambda \leq 105 \text{ нм}.$$

Нормируемыми параметрами лазерного излучения являются энергетическая экспозиция $H_{\text{ПДУ}}$ ($\text{Дж}/\text{м}^2$), облученность $E_{\text{ПДУ}}$ ($\text{Вт}/\text{м}^2$), энергия $W_{\text{ПДУ}}$ (Дж) и мощность $P_{\text{ПДУ}}$ (Вт) излучения, прошедшего через ограничивающую апертуру (отверстие) площадью S_A (м^2). Указанные величины связаны соотношениями:

$$H_{\text{ПДУ}} = W_{\text{ПДУ}} / S_A; \quad E_{\text{ПДУ}} = P_{\text{ПДУ}} / S_A. \quad (1)$$

Параметры ограничивающей апертуры S_A задаются СанПиН 5804-91, согласно табл.3.

Таблица 3

Площадь S_A и диаметр апертуры для определения нормируемых параметров лазерного излучения [2]

Спектральный диапазон	Облучаемые органы и ткани	
	Глаза	Кожа
$180 < \lambda \leq 380 \text{ нм}$	10^{-6} м^2 (диаметр $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$)	
$380 < \lambda \leq 1400 \text{ нм}$	$3,8 \cdot 10^{-5} \text{ м}^2$ (диаметр $7 \cdot 10^{-3} \text{ м}$)	10^{-6} м^2 (диаметр $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$)
$1400 < \lambda \leq 105 \text{ нм}$	10^{-6} м^2 (диаметр $1,1 \cdot 10^{-3} \text{ м}$)	

Оглавление

При оценке воздействия на глаза лазерного излучения в диапазоне II (380...1400 нм) нормирование энергии и мощности лазерного излучения, прошедшего через ограничивающую апертуру диаметром $7 \cdot 10^{-3}$ м, является первостепенным. Соотношения для определения $R_{\text{пду}}$ при воздействии на глаза прямого (или зеркально отраженного) пучка лазерного излучения в диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм) приведены в табл. 4.

Таблица 4

Соотношения для определения $R_{\text{пду}}$ при однократном воздействии на глаза прямого лазерного излучения в спектральном диапазоне II (извлечение из СанПиН 5804-91)

Спектральный диапазон	Длительность облучения* t , с	$R_{\text{пду}}$, Вт
$600 < \lambda \leq 700$ нм	$1,0 < t \leq 2,2 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^{-4} / \sqrt[3]{t}$
	$2,2 \cdot 10^3 < t \leq 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-2} / t$
	$t > 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-6}$

* Под длительностью облучения при однократном воздействии лазерного излучения в случае непрерывного режима работы лазеров понимают суммарное, в течение рабочего дня, число воздействий лазерного излучения на глаза и (или) кожу, умноженное на среднее время воздействия излучения, принимаемое равным для облучения глаз 0,25 с (время мигательного рефлекса), а для облучения кожи 10 с (наиболее вероятное время пребывания человека в состоянии полной неподвижности). Например, при 5-ти кратном воздействии лазерного излучения на глаза в течение смены, длительность воздействия принимается равной 1,25 с, а при 5-ти кратном воздействии на кожу – равной 50 с.

В случае импульсного режима работы лазеров, если длительность отдельного импульса τ в серии не превышает 0,25 с, а частота следования импульсов в серии f больше 0,005 Гц (интервал между отдельными импульсами в серии импульсов меньше 200 с) то нормирование параметров лазерного излучения производится так же как и для непрерывного излучения. Иначе действие каждого импульса серии считается независимым и нормирование производится по величине энергии и длительности наиболее интенсивного импульса.

Для определения $R^*_{\text{пду}}$ для однократного воздействия диффузно отраженного (рассеянного) лазерного излучения к величинам $R_{\text{пду}}$ из табл.4 вводится поправка B , зависящая от длительности облучения и угловых размеров α (рад) видимого источника (пятна) отраженного излучения, так что:

$$R^*_{\text{пду}} = B \cdot R_{\text{пду}} \quad (2)$$

Оглавление

СанПиН 5804-91 устанавливает предельные значения углового размера источника (пятна) $\alpha_{\text{пред}}$ (рад). При длительности облучения $t > 1$ сек. $\alpha_{\text{пред}} = 10^{-2}$ рад. Если $\alpha \leq \alpha_{\text{пред}}$, то величина $B = 1$. Если $\alpha > \alpha_{\text{пред}}$, то величина поправки рассчитывается по формуле:

$$B = 1 + 10^3 \cdot \alpha^2. \quad (3)$$

Соотношения для определения значений $E_{\text{ПДУ}}$, а также $R_{\text{ПДУ}}$ при однократном воздействии на кожу прямого (зеркально отраженного) или диффузно отраженного (рассеянного) лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм) приведены в табл. 5.

Таблица 5

Соотношения для определения $E_{\text{ПДУ}}$ и $R_{\text{ПДУ}}$ при однократном воздействии на кожу прямого лазерного излучения в спектральном диапазоне II (извлечение из СанПиН 5804-91)

Спектральный диапазон	Длительность облучения t , с	$E_{\text{ПДУ}}$, Вт/м ²
$500 < \lambda \leq 900$ нм	$3,0 < t \leq 10^2$	$5 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$5 \cdot 10^2$
$R_{\text{ПДУ}} = S_A \cdot E_{\text{ПДУ}}$ (величина S_A берется из табл.3)		

В случае длительного, многолетнего изо дня в день воздействия лазерного излучения, СанПиН 5804-91 вводит нормы ПДУ излучения для предотвращения вторичных эффектов. Величины норм в зависимости от типа лазера, длины волны излучения и режима работы приведены в табл.6.

Таблица 6

Предельно допустимые энергетические параметры излучения некоторых лазеров при хроническом воздействии (извлечение из СанПиН 5804-91)

Тип лазера	λ , нм	τ , с	f , Гц	Воздействие на глаза		Воздействие на кожу	
				t , с	ПДУ	t , с	ПДУ
Твердотельный (кристалл, активированный ионами металлов)	600 – 700	непрерывный	0,25	$R_{\text{ПДУ}} = 2,0 \cdot 10^{-7}$ Вт	10	$E_{\text{ПДУ}} = 50$ Вт/м ²	
	694						
Газовый (на парах меди, золота,)	634 – 647	10^{-8}	1 000	0,25	$W_{\text{ПДУ}} = 3 \cdot 10^{-7}$ Дж	10	$E_{\text{ПДУ}} = 160$ Вт/м ²
Жидкостной (раствор органических красителей)	601 – 750	непрерывный	0,25	$W_{\text{ПДУ}} = 4,8 \cdot 10^{-6}$ Дж	10	$E_{\text{ПДУ}} = 160$ Вт/м ²	
Полупроводниковый (арсенид галлия с инжекционной накачкой)	650 – 750						

Оглавление

1.5. Меры безопасности при эксплуатации лазеров

Устройство и размещение лазерных установок. Для снижения уровня отраженного излучения линзы, призмы и другие твердые предметы с зеркальной поверхностью на пути пучка должны снабжаться блендами, а облучаемый объект (мишень) защитными экранами – диафрагмами с отверстием, диаметр которого несколько превышает диаметр пучка луча. В этом случае через отверстие проходит только прямое излучение, отраженное от мишени излучение попадает на экран, который его частично поглощает и рассеивает. Для этой цели можно даже использовать простую фанеру, покрытую черной матовой краской. В конце пучка устанавливается ловушка для поглощения и защиты от брызг, испарений, аэрозолей, выделяемых обрабатываемым или исследуемым веществом мишени. За приемниками излучений устанавливают негорючие экраны с поверхностью, хорошо поглощающей энергию излучений соответствующей длины волны лазерной установки.

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

Лазерные установки следует размещать в отдельных, специально выделенных помещениях или отгороженных частях помещений. При размещении в одном помещении нескольких лазерных установок необходимо оградить места их установки ширмами, шторками, занавесками или другими экранами, не пропускающими излучения, но так, чтобы условия труда на рабочем месте удовлетворяли санитарно-гигиеническим требованиям и имелось достаточное естественное и искусственное освещение.

Лазеры IV класса опасности должны размещаться только в отдельных помещениях. Стены, потолок, пол помещения и предметы, находящиеся в помещении, должны иметь матовую поверхность, обеспечивающую диффузное отражение. Внутренняя поверхность помещения и предметы, находящиеся в этом помещении (за исключением используемых в работе элементов оптических систем), должны иметь поверхности с коэффициентом отражения $\rho < 0,4$.

В целях обеспечения безопасности пульт управления лазерной установкой размещается в отдельном помещении с телевизионной или другой системой настройки, контроля и наблюдения за ходом процесса. Так же, для этих целей могут применяться роботизированные комплексы.

Лазерные установки, являющиеся источником ионизирующего излучения, должны устанавливаться так, чтобы путь пучка проходил по недоступной для людей зоне, а точки фокусирования пучка при работе установки должны быть защищены диафрагмами. При образовании в обрабатываемом или исследуемом веществе ионизирующего излучения должна быть предусмотрена локальная защита из материалов, наиболее эффективно поглощающих это излучение.

Средства коллективной защиты. Коллективные средства защиты от лазерного излучения разделяют на следующие группы: *оградительные устройства, предохранительные устройства, устройства автоматического контроля и сигнализации.*

Оградительные устройства. Надежной защитой от случайного попадания излучения на человека является экранирование луча на всем его пути распространения, если это позволяют технические возможности устройства и эксплуатации лазера. Экраны для защиты от лазерного излучения могут быть непрозрачными или прозрачными. Непрозрачные экраны или ограждения, препятствующие выходу излучения наружу, должны изготавливаться из листового металла (сталь, жесть, дюралюминий и т.п.). Допускается изготовление непрозрачных экранов из пластмасс.

Прозрачные экраны должны поглощать лазерное излучение и при этом быть прозрачными на всем или части видимого диапазона длины волн (частично прозрачные экраны). Они изготавляются из специальных стекол, органического стекла или пластиков с подходящей спектральной характеристикой. Оптическая плотность такого экрана на длине волны излучения должна быть достаточной для ослабления интенсивности облучения на рабочем месте работника до величины, не превышающей ПДУ. Если энергия лазерного излучения настолько велика, что может разрушить частично прозрачный экран, то необходимо принять меры, исключающие возможность прямого попадания луча на экран.

Предохранительные устройства. Двери, ведущие 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. При этом должна быть исключена возможность включения установки при незапертой двери в рабочую камеру, а также исключена возможность открытия двери во время работы установки. При случайном открытии двери в рабочую камеру (или неисправности контакта блокировки) установка должна автоматически отключаться. В рабочей камере должны быть установлены легкодоступные устройства аварийного

Оглавление

выключения установки и блокираторы её случайного включения. Системы накачки с импульсными лампами должны иметь блокировку, исключающую возможность вспышки лампы при открытой крышке осветителя.

Устройства автоматического контроля и сигнализации. Помимо блокировки, входы в помещения, где размещаются лазерные изделия, должны быть оборудованы звуковой и световой сигнализацией, соединённой с системой пуска установки. В помещениях, где проводятся работы с импульсными лазерами, должна быть установлена сигнализация световая (работающая при накоплении энергии в системе накачки) и звуковая (срабатывающая за 2...3 сек. до начала процесса накачки).

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.

Средства индивидуальной защиты. При эксплуатации лазерных установок II–IV классов опасности применяют средства индивидуальной защиты (СИЗ) для обеспечения защиты человека от воздействия лазерного излучения (например, для предотвращения вторичных эффектов при хроническом облучении). К СИЗ относятся технологические халаты, перчатки, 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 лазерного излучения на кожный покров. Перчатки изготавливаются из замши и кожи. Для защиты рук используются также специальные защитные дерматологические средства (кремы, гели, пасты, мази), создающие предохранительную пленку на коже.

Защитные очки применяют в установках II – IV классов опасности, если длительность воздействия на глаза превышает 0,5 с. Существует два типа защитных очков: открытые и закрытые. Открытые защитные очки моделей О16, О22 предназначены для защиты глаз спереди и с боков от рассеянного и диффузно отраженного излучения в диапазоне $\lambda = 630\ldots1060$ нм. Закрытые защитные очки с непрямой вентиляцией ЗН22, ЗН46 и ЗНД4 предназначены для защиты глаз с боков, сверху и снизу от прямого, диффузно отраженного и рассеянного излучения лазеров с непрерывным режимом работы с $\lambda = 630\ldots1500$ нм и для импульсного режима $\lambda = 630\ldots1060$ нм. Оправа закрытых защитных очков не препятствует одновременному пользованию обычными корригирующими зрение очками (рис.1). При работе мощных лазеров (IV класса опасности) недостаточна защита только глаз, так как

Оглавление

возможно поражение кожи лица. Поэтому в таких случаях эффективно применение защитных щитков и масок.



Рисунок 1.Защитные очки ЗН22 со светофильтром СЗС22 в корпусе из мягкого ПВХ пластика

В защитных щитках, масках и очках применяются специальные светофильтры, задерживающие лазерное излучение, но пропускающие излучение в соседних диапазонах видимого спектра. Это достигается за счет выбора светофильтров с различными спектрами пропускания. Так, например, светофильтры, изготовленные из сине-зеленого стекла СЗС22, применяются для

защиты от лазерного излучения с $\lambda = 630\dots1400$ нм. Светофильтры защитных очков должны обеспечивать снижение интенсивности облучения глаз до величины ПДУ. В паспортах на светофильтры указывают спектральные диапазоны пропускания и оптическую плотность материала в этих диапазонах (табл. 7)

Таблица 7

Характеристики светофильтров для защиты от лазерного излучения

Марка светофильтра	Диапазон пропускания λ , нм	Оптическая плотность D
СЗС22	630\dots680	3
	680\dots1200	6
	1200\dots1400	3
Л17	530	2
	600\dots1100	4
ОС23-1	400\dots530	6
ОЖ	200\dots510	3

Оптическая плотность **D** материала светофильтра определяется по формуле:

$$\mathbf{D} = \lg(1/\eta), \quad (4)$$

где: η - коэффициент поглощения энергии излучения материалом.

Оглавление

Предупреждающие знаки и надписи. Любой лазер I класса опасности должен иметь поясняющую надпись «ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА I». Лазер II класса опасности должен иметь со стороны выхода излучения предупреждающий знак «Опасно! Лазерное

излучение» (рис. 2) и пояснительный знак с надписью: «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ», «НЕ СМОТРИТЕ В ПУЧОК», «ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА II».

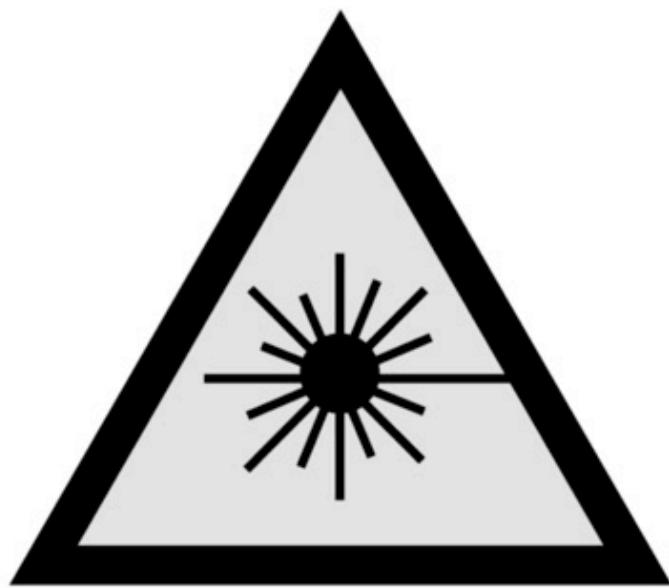


Рисунок 2. Знак «Опасно! Лазерное излучение»

Лазер III класса опасности должен иметь со стороны выхода излучения предупреждающий знак «Опасно! Лазерное излучение» и пояснительный знак с надписью: «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ», «ИЗБЕГАЙТЕ ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ», «ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА III».

Лазер IV класса опасности должен иметь со стороны выхода излучения предупреждающий знак «Опасно! Лазерное излучение» и пояснительный знак с надписью: «ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ», «ИЗБЕГАЙТЕ ОБЛУЧЕНИЯ ГЛАЗ И КОЖИ ПРЯМЫМ И РАССЕЯНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ», «ЛАЗЕРНОЕ ИЗДЕЛИЕ КЛАССА IV».

Лазеры II – IV классов опасности должны иметь у апертуры, через которую испускается излучение, поясняющий знак с надписью: «ЛАЗЕРНАЯ АПЕРТУРА». Панель защитного корпуса (кожуха), при смещении которой возможен доступ к лазерному излучению, должна иметь поясняющий знак с надписью «ВНИМАНИЕ! ПРИ ОТКРЫВАНИИ – ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ». Лазеры, генерирующие излучение вне видимого диапазона $\lambda = 380\ldots750$ нм должны иметь поясняющий знак с надписью: «НЕВИДИМОЕ ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ».

Траектория пучка излучения импульсной лазерной установки должна быть маркирована покраской рейтеров, оправ, диафрагм и бленд. На дверях помещений, где размещаются лазерные установки III и IV классов, должен быть установлен знак «Опасно! Лазерное излучение» и автоматически включающееся световое табло «ОПАСНО, РАБОТАЕТ ЛАЗЕР!».

Оглавление

Дозиметрический контроль лазерного излучения. Для проверки результатов расчетов энергетических характеристик лазерного излучения проводится их контрольное измерение.

Различают две формы дозиметрического контроля:

- предупредительный (оперативный);
- индивидуальный.

Предупредительный дозиметрический контроль заключается в определении максимальных уровней энергетических параметров излучения в определенных точках рабочей зоны. Измерения проводят при работе лазера в режиме максимальной отдачи мощности, указанной в паспорте изделия, не реже одного раза в год в порядке текущего санитарного надзора, а также:

- при приемке в эксплуатацию новых лазерных изделий II–IV классов;
- при внесении изменений в конструкцию действующих лазерных изделий;
- при изменении конструкции средств коллективной защиты;
- при проведении экспериментальных и наладочных работ;
- при специальной оценке условий труда на рабочем месте;
- 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 лазерных установках (экспериментальных стендах), а также в тех случаях, когда возможно случайное воздействие лазерного излучения на глаза и кожу.

Контроль энергетических параметров лазерного излучения проводится специально назначенным лицом из числа инженерно-технических работников, прошедшими специальное обучение или работником специализированной измерительной лаборатории, аккредитованной для измерения уровней опасных и вредных факторов на рабочих местах при специальной оценке условий труда.

2. Экспериментально – расчетная часть

2.1. Описание лабораторного стенда

В лабораторной установке источником лазерного излучения является лазерный модуль непрерывного режима работы с пучком излучения малой расходности, работающий в красном спектре видимого диапазона ($\lambda = 650$ нм). Выходная мощность лазерного излучения 3 мВт. Диаметр ограничивающей апертуры 0,005 м. Лазерная установка работает от сети переменного тока, напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Потребляемая электрическая мощность 50 Вт. Стенд выполнен в виде самостоятельного прибора настольного исполнения. Основные элементы стенда указаны на рис. 3.

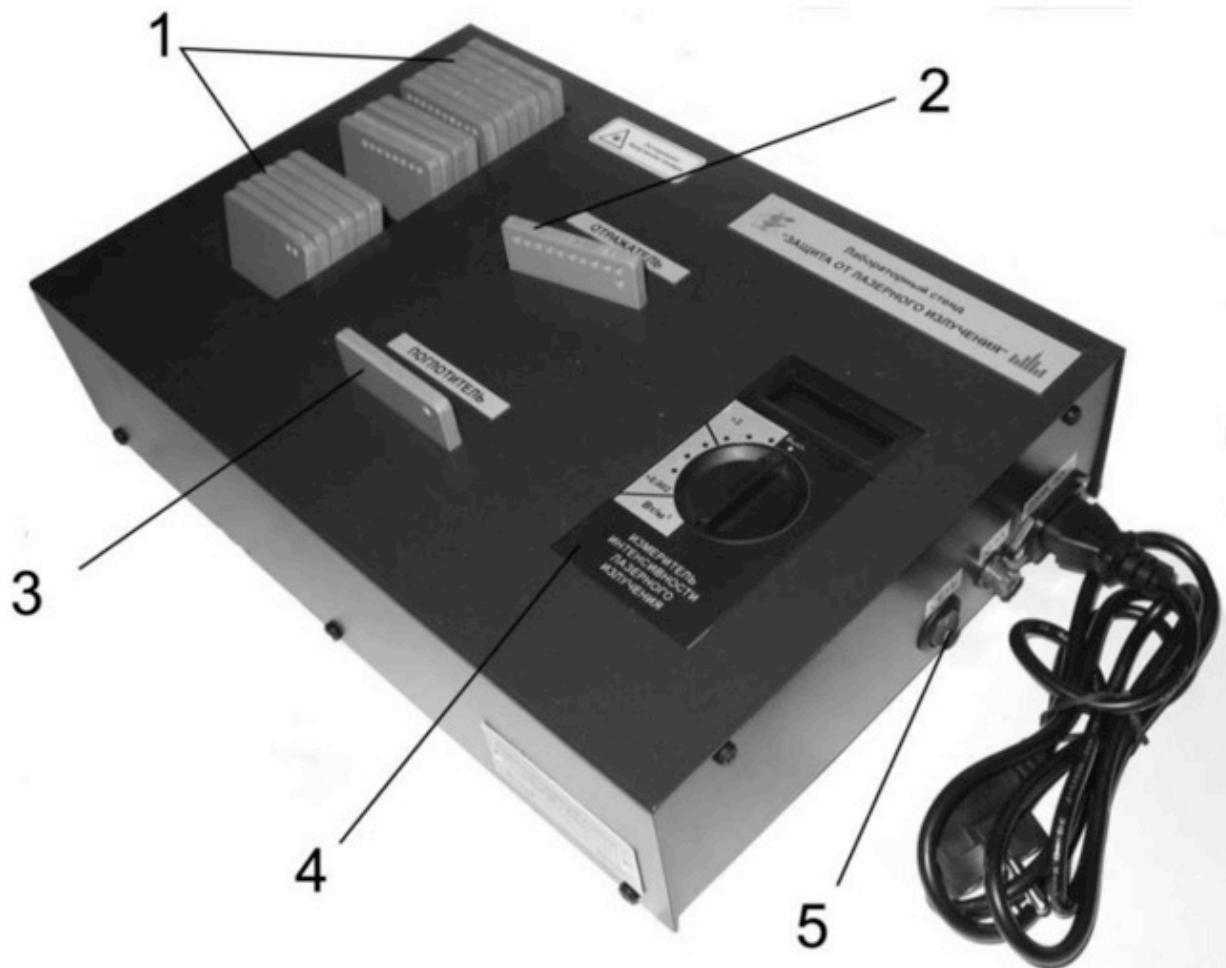


Рисунок 3. Внешний вид лабораторного стенда БЖД-11 «Задача от лазерного излучения». Отмеченные позиции: 1 – Места хранения фильтров-поглотителей и отражателей; 2 – Место для установки отражателя; 3 – Место для установки фильтра-поглотителя; 4 – Блок обработки сигналов с органами управления и индикации прибора для измерения энергетических характеристик лазерного излучения; 5 – выключатель с подсветкой «Сеть».

Оглавление

Прибор для измерения энергетических характеристик лазерного излучения встроен в стенд. Прибор не требует дополнительного питания – питание осуществляется от сети напряжением 220 В и частотой 50 Гц. Измерителем является неселективный люксметр «ТКА-Люкс», который отградуирован на измерение плотности мощности с помощью дозиметра для контроля лазерного излучения «Ладин» на рабочую длину волны 650 нм. [3]

Диапазон измерений плотности мощности (облученности) непрерывного лазерного излучения с $\lambda = 650$ нм составляет 0,002 – 400 Вт/м². Пределы допускаемой основной относительной погрешности измерений не более $\pm 6\%$.

Принципиальная схема лабораторного стенда приведена на рис. 4.

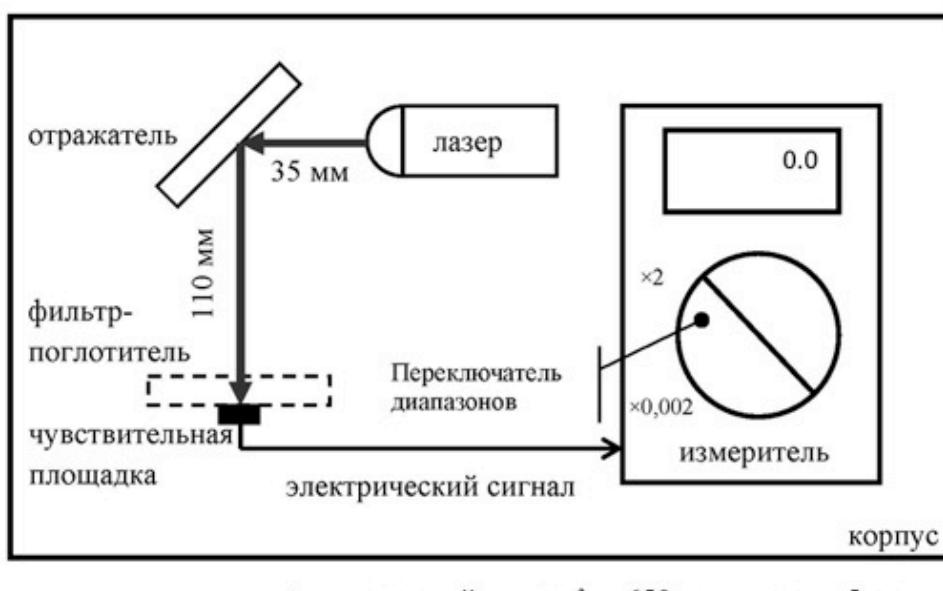


Рисунок 4. Принципиальная схема лабораторного стенда БЖД-11 «Защита от лазерного излучения»

Исследуемые в лабораторной работе фильтры-поглотители и отражатели лазерного излучения находятся в специальных местах хранения, обозначенных на рис. 3 цифрой 1. Каждый поглотитель или отражатель помещен в специальный держатель, верхняя часть которого маркирована специальными метками и указателями. Фильтры-поглотители лазерного излучения устанавливаются в отверстие 2 стенда (рис. 3), а отражатели – в отверстие 3.

Траектория пучка излучения всегда полностью проходит внутри корпуса лабораторного стенда. Мишенью является чувствительная площадка прибора для измерения энергетических характеристик лазерного излучения. Для направления пучка излучения на мишень, в гнездо «ОТРАЖАТЕЛЬ» всегда (кроме измерения темнового сигнала) должен

Оглавление

быть вставлен либо исследуемый образец отражателя, либо эталонный образец № 11 с надписью «ЗЕРКАЛО». Образец фильтра-поглотителя может отсутствовать при проведении измерений энергетических характеристик прямого лазерного излучения, например при определении коэффициента отражения материалов.

2.2. Меры безопасности при работе на стенде

К работе на стенде БЖД-11 «Защита от лазерного излучения» допускаются студенты, ознакомившиеся с его устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.

Выполнение лабораторной работы производится бригадой количеством не менее двух человек, один из которых является наблюдателем и при возникновении опасности должен быстро обесточить лабораторный стенд.

Перед началом работы произведите внешний осмотр стендса и убедитесь в целостности корпуса, шнура питания и надёжности крепежных винтов стендса.

Запрещается работа на стенде при открытых крышках и снятом кожухе.

2.3. Порядок выполнения работы

Подготовиться к работе.

1. Изучить теоретическую и расчетно-экспериментальную часть методических указаний.
2. Ознакомится с устройством лабораторного стендса, принципом его работы и мерами безопасности, приведёнными в соответствующих разделах.

Выполнить задание №1. «Оценка опасности лазерной установки при облучении глаз».

1. Получить у преподавателя, проводящего лабораторные занятия номер варианта задания. Варианты заданий приведены в Приложении №1.
2. Для варианта задания, в котором указаны параметры реальной лазерной установки, определить норму $P_{норм}$, (Вт) при однократном воздействии на глаза прямого лазерного излучения согласно табл.4.
3. Сравнить значение мощности излучения P , (Вт) с $P_{норм}$, (Вт) и сделать заключение об опасности лазера при прямом облучении глаз.

Оглавление

4. Определить угловые размеры источника отраженного излучения, видимого с расстояния $I = 10$ см (0,1 м) по формуле: $\alpha = 2 \cdot \arctg(\mathbf{d}_{\text{n}} / 2I) = 2 \cdot \arctg(\mathbf{d}_{\text{n}} / 0,2) = 2 \cdot \arctg(5 \cdot \mathbf{d}_{\text{n}})$, где: \mathbf{d}_{n} – диаметр пятна отражения пучка лазерного излучения на мишени, (м). Если $\alpha \leq 10^{-2}$ рад, то принять величину поправки $B = 1$. Если $\alpha > 10^{-2}$ рад, то величина поправки рассчитывается по формуле (3).

5. Рассчитать $P^*_{\text{ПДУ}}$, (Вт) для однократного воздействия диффузно отраженного (рассеянного) лазерного излучения на глаза по формуле (2).

6. Рассчитать мощность отраженного излучения по формуле: $P^* = \rho \cdot P$, (Вт)

7. Сравнить рассчитанное значение мощности отраженного излучения P^* , (Вт) с $P^*_{\text{ПДУ}}$, (Вт) и сделать заключение об опасности лазера при облучении глаз отраженным излучением.

Выполнить задание №2. «Оценка опасности лазерной установки при облучении кожи».

1. Определить норму $E_{\text{ПДУ}}$, (Вт/м²) при однократном воздействии на кожу прямого и отраженного лазерного излучения согласно табл.5.

2. Рассчитать норму $P_{\text{ПДУ}} = S_A \cdot E_{\text{ПДУ}}$, (Вт) где: S_A , (м²) – площадь ограничивающей апертуры по табл.3.

3. Сравнить значение мощности излучения P , (Вт) с $P_{\text{ПДУ}}$, (Вт) и сделать заключение об опасности лазера при прямом облучении кожи.

4. Сравнить рассчитанное в предыдущем задании значение мощности отраженного излучения P^* , (Вт) с $P_{\text{ПДУ}}$, (Вт) и сделать заключение об опасности лазера при облучении кожи отраженным излучением.

5. Сделать вывод о том, к какому классу опасности можно отнести рассматриваемую лазерную установку.

Выполнить задание №3. «Подбор материалов для защиты от лазерного излучения».

1. Из табл.6 выписать для заданного лазера нормы при хроническом воздействии лазерного излучения.

2. Привести все значения к $P_{\text{ПДУ}}$ полагая, что $P_{\text{ПДУ}} = W_{\text{ПДУ}} / t$; $P_{\text{ПДУ}} = S_A \cdot E_{\text{ПДУ}}$;

$P_{\text{ПДУ}} = S_A \cdot N_{\text{ПДУ}} / t$, где: t , (с) – время воздействия излучения по табл.6; S_A , (м²) – площадь ограничивающей апертуры по табл.3.

3. Сравнить значение выходной мощности лазера P , (Вт) с $P_{\text{ПДУ}}$, (Вт) для хронического облучения глаз и кожи. В случае превышения величины ПДУ рассчитать

Оглавление

необходимую оптическую плотность светофильтра защитных очков и материала защитного щитка по формуле: $D_{tp} = \lg(P / P_{pd})$.

4. Материал для защиты глаз и в виде щитков, для защиты кожи работника выбрать из табл.7 на основе величины **D** в спектральном диапазоне, включающем $\lambda = 650$ нм.

Выводы

Описать весь комплекс мер по защите от лазерного излучения для заданного варианта.

Оформить и защитить результаты лабораторной работы.

1. Оформить отчёт по образцу, приведённому в Приложении №2.
2. Защитить лабораторную работу, ответив преподавателю на контрольные вопросы, приведённые в следующем разделе.

Контрольные вопросы

1. Для каких органов человека особенно опасно лазерное излучение и почему?
2. В чём состоит опасность импульсного лазерного излучения?
3. При каких условиях проявляются вторичные последствия лазерного облучения?
4. Чем опасен для человека лазер II класса?
5. Чем опасен для человека лазер III класса?
6. Чем опасен для человека лазер IV класса?
7. Какие параметры лазерного излучения нормируются?
8. От каких факторов зависит величина ПДУ лазерного излучения?
9. Какие средства коллективной защиты от лазерного излучения Вы знаете?
10. Какие СИЗ от лазерного излучения Вы знаете?
11. Какие существуют формы дозиметрического контроля лазерного излучения?
12. Когда проводится дозиметрический контроль лазерного излучения?

Литература

1. Безопасность жизнедеятельности. Безопасность технологических процессов и производств. Охрана труда: учеб. пособие для вузов /Кукин П.П., Лапин В.Л., Пономарев Н.Л., Сердюк Н.И. - 4-е изд., перераб. - М. : Высш. шк., 2007. - 334 с.: ил. - (Безопасность жизнедеятельности). - Библиогр.: с. 333. - ISBN 978-5-06-005830-7.
2. СанПиН 5804-91 «Санитарные нормы и правила эксплуатации лазеров».
3. Лабораторный стенд «ЗАЩИТА ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ» БЖД-11 Руководство по эксплуатации. ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский Государственный университет» (НИУ), ООО НПП «Учебная техника-Профи» ОТСО-030.011.000 РЭ 2013г.

Оглавление

Приложение 1
Варианты заданий для выполнения лабораторной работы

Вариант 1	
	Тип лазера: твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения: $\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 0,2 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,003 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,82$
	Возможное количество воздействий на глаза: 5
	Возможное количество воздействий на кожу: 5

Вариант 2	
	Тип лазера: твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения: $\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы: импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность: 2 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,012 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,27$
	Возможное количество воздействий на глаза: 15
	Возможное количество воздействий на кожу: 15

Оглавление

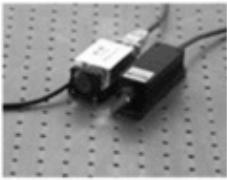
	воздействий на кожу:	
--	-----------------------------	--

Вариант 3	
	Тип лазера: газовый (на парах меди)
	Длина волны излучения: $\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
	Режим работы: импульсный, длительность импульса $t = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
	Выходная мощность: 1,2 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\Pi} = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,37$
	Возможное количество воздействий на глаза: 12
	Возможное количество воздействий на кожу: 12

Вариант 4	
	Тип лазера: жидкостной (на растворе органических красителей)
	Длина волны излучения: $\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 1 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\Pi} = 0,007 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,42$
	Возможное количество воздействий на глаза: 15
	Возможное количество воздействий на кожу: 15

Оглавление

Вариант 5

	Тип лазера:	полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность излучения:	0,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,004 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,73$
	Возможное количество воздействий на глаза:	7
	Возможное количество воздействий на кожу:	7

Вариант 6

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность:	0,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,002 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,67$
	Возможное количество воздействий на глаза:	8
	Возможное количество воздействий на кожу:	8

Оглавление

Вариант 7

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_{\Pi} = 0,014 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,78$
	Возможное количество воздействий на глаза:	15
	Возможное количество воздействий на кожу:	15

Вариант 8

	Тип лазера:	газовый (на парах меди)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	1,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_{\Pi} = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,57$
	Возможное количество воздействий на глаза:	12
	Возможное количество воздействий на кожу:	12

Оглавление

Вариант 9	
	Тип лазера: жидкостной (на растворе органических красителей)
	Длина волны излучения: $\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 1,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\Pi} = 0,007 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,84$
	Возможное количество воздействий на глаза: 15
	Возможное количество воздействий на кожу: 15

Вариант 10	
	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 0,8 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\Pi} = 0,005 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,77$
	Возможное количество воздействий на глаза: 8
	Возможное количество воздействий на кожу: 8

Оглавление

Вариант 11

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность:	0,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,003 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,82$
	Возможное количество воздействий на глаза:	7
	Возможное количество воздействий на кожу:	7

Вариант 12

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,27$
	Возможное количество воздействий на глаза:	15
	Возможное количество воздействий на кожу:	15

Оглавление

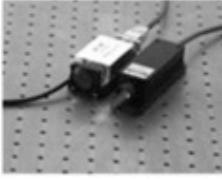
Вариант 13

Тип лазера:	газовый (на парах меди)
Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
Выходная мощность:	1,7 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,37$
Возможное количество воздействий на глаза:	12
Возможное количество воздействий на кожу:	12

Вариант 14

Тип лазера:	жидкостной (на растворе органических красителей)
Длина волны излучения:	$\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
Режим работы:	непрерывный
Выходная мощность:	1,5 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,007 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,42$
Возможное количество воздействий на глаза:	7
Возможное количество воздействий на кожу:	7

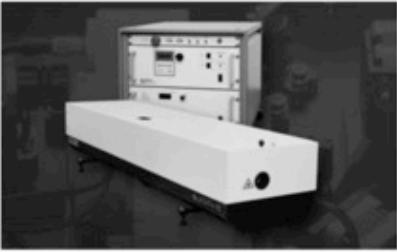
Оглавление

Вариант 15	
	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 0,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,004 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,73$
	Возможное количество воздействий на глаза: 5
	Возможное количество воздействий на кожу: 5

Вариант 16	
	Тип лазера: твердотельный (на кристалле алюмограната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения: $\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 0,4 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,004 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,67$
	Возможное количество воздействий на глаза: 8
	Возможное количество воздействий на кожу: 8

Оглавление

Вариант 17

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2,7 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,012 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,78$
	Возможное количество воздействий на глаза:	13
	Возможное количество воздействий на кожу:	13

Вариант 18

	Тип лазера:	газовый (на парах меди)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	1,9 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,57$
	Возможное количество воздействий на глаза:	12
	Возможное количество воздействий на кожу:	12

Оглавление

Вариант 19

	Тип лазера: жидкостной (на растворе органических красителей)
	Длина волны излучения: $\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 1,7 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,007 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,84$
	Возможное количество воздействий на глаза: 10
	Возможное количество воздействий на кожу: 10

Вариант 20

	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 1,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,003 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,77$
	Возможное количество воздействий на глаза: 5
	Возможное количество воздействий на кожу: 5

Оглавление

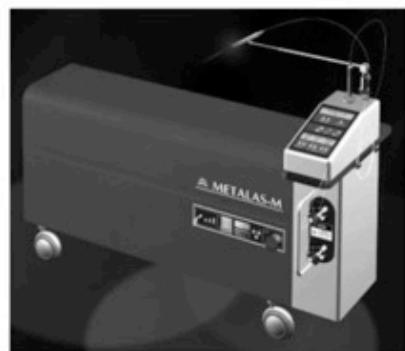
Вариант 21

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность:	0,2 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,003 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,82$
	Возможное количество воздействий на глаза:	12
	Возможное количество воздействий на кожу:	12

Вариант 22

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2,9 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,014 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,27$
	Возможное количество воздействий на глаза:	8
	Возможное количество воздействий на кожу:	8

Оглавление

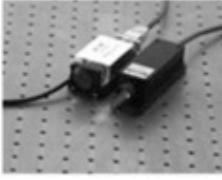
Вариант 23

Тип лазера:	газовый (на парах меди)
Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
Выходная мощность:	1,2 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,37$
Возможное количество воздействий на глаза:	10
Возможное количество воздействий на кожу:	10

Вариант 24

Тип лазера:	жидкостной (на растворе органических красителей)
Длина волны излучения:	$\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
Режим работы:	непрерывный
Выходная мощность:	1,9 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,007 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,42$
Возможное количество воздействий на глаза:	7
Возможное количество воздействий на кожу:	7

Оглавление

Вариант 25	
	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 0,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,004 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,73$
	Возможное количество воздействий на глаза: 15
	Возможное количество воздействий на кожу: 15

Вариант 26	
	Тип лазера: твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения: $\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 0,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,002 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,67$
	Возможное количество воздействий на глаза: 5
	Возможное количество воздействий на кожу: 5

Оглавление

Вариант 27

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,78$
	Возможное количество воздействий на глаза:	8
	Возможное количество воздействий на кожу:	8

Вариант 28

	Тип лазера:	газовый (на парах меди)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	1,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,57$
	Возможное количество воздействий на глаза:	10
	Возможное количество воздействий на кожу:	10

Оглавление

Вариант 29

	Тип лазера: жидкостной (на растворе органических красителей)
	Длина волны излучения: $\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 1 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,007 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,84$
	Возможное количество воздействий на глаза: 12
	Возможное количество воздействий на кожу: 12

Вариант 30

	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 0,9 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,004 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,77$
	Возможное количество воздействий на глаза: 7
	Возможное количество воздействий на кожу: 7

Оглавление

Вариант 31

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 660$ нм
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность:	0,4 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,004$ м
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,82$
	Возможное количество воздействий на глаза:	5
	Возможное количество воздействий на кожу:	5

Вариант 32

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694$ нм
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9}$ с; частота следования импульсов $f = 20$ Гц
	Выходная мощность:	2,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,014$ м
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,27$
	Возможное количество воздействий на глаза:	12
	Возможное количество воздействий на кожу:	12

Оглавление

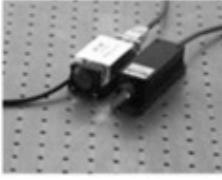
Вариант 33

Тип лазера:	газовый (на парах меди)
Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
Выходная мощность:	1,7 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,37$
Возможное количество воздействий на глаза:	10
Возможное количество воздействий на кожу:	10

Вариант 34

Тип лазера:	жидкостной (на растворе органических красителей)
Длина волны излучения:	$\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
Режим работы:	непрерывный
Выходная мощность:	1,3 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,007 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,42$
Возможное количество воздействий на глаза:	15
Возможное количество воздействий на кожу:	15

Оглавление

Вариант 35	
	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 0,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,004 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,73$
	Возможное количество воздействий на глаза: 5
	Возможное количество воздействий на кожу: 5

Вариант 36	
	Тип лазера: твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения: $\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 0,2 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,002 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,67$
	Возможное количество воздействий на глаза: 8
	Возможное количество воздействий на кожу: 8

Оглавление

Вариант 37

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,012 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,78$
	Возможное количество воздействий на глаза:	12
	Возможное количество воздействий на кожу:	12

Вариант 38

	Тип лазера:	газовый (на парах меди)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	1,9 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,57$
	Возможное количество воздействий на глаза:	10
	Возможное количество воздействий на кожу:	10

Оглавление

Вариант 39

	Тип лазера:	жидкостной (на растворе органических красителей)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность:	1,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,007 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,84$
	Возможное количество воздействий на глаза:	13
	Возможное количество воздействий на кожу:	13

Вариант 40

	Тип лазера:	полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность излучения:	1 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,005 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,77$
	Возможное количество воздействий на глаза:	15
	Возможное количество воздействий на кожу:	15

Оглавление

Вариант 41

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы:	непрерывный
	Выходная мощность:	0,3 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,003 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,82$
	Возможное количество воздействий на глаза:	8
	Возможное количество воздействий на кожу:	8

Вариант 42

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2,7 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_p = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,27$
	Возможное количество воздействий на глаза:	15
	Возможное количество воздействий на кожу:	15

Оглавление

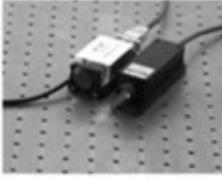
Вариант 43

Тип лазера:	газовый (на парах меди)
Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
Выходная мощность:	1,2 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,37$
Возможное количество воздействий на глаза:	10
Возможное количество воздействий на кожу:	10

Вариант 44

Тип лазера:	жидкостной (на растворе органических красителей)
Длина волны излучения:	$\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
Режим работы:	непрерывный
Выходная мощность:	1,7 Вт
Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,007 \text{ м}$
Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,42$
Возможное количество воздействий на глаза:	7
Возможное количество воздействий на кожу:	7

Оглавление

Вариант 45	
	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 0,5 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,004 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,73$
	Возможное количество воздействий на глаза: 15
	Возможное количество воздействий на кожу: 15

Вариант 46	
	Тип лазера: твердотельный (на кристалле алюмопиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения: $\lambda = 660 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 0,4 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_{\text{n}} = 0,002 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,67$
	Возможное количество воздействий на глаза: 5
	Возможное количество воздействий на кожу: 5

Оглавление

Вариант 47

	Тип лазера:	твердотельный (на кристалле алюмоиттриевого граната, активированного ионами Nd)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 694 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный с модуляцией добротности, длительность импульса $\tau = 4 \cdot 10^{-9} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 20 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	2,9 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,014 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,78$
	Возможное количество воздействий на глаза:	12
	Возможное количество воздействий на кожу:	12

Вариант 48

	Тип лазера:	газовый (на парах меди)
	Длина волны излучения:	$\lambda = 634 - 647 \text{ нм}$
	Режим работы:	импульсный, длительность импульса $\tau = 2 \cdot 10^{-8} \text{ с}$; частота следования импульсов $f = 16\,000 \text{ Гц}$
	Выходная мощность:	1,7 Вт
	Диаметр пятна на мишени	$d_n = 0,009 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени	$\rho = 0,57$
	Возможное количество воздействий на глаза:	10
	Возможное количество воздействий на кожу:	10

Оглавление

Вариант 49

	Тип лазера: жидкостной (на растворе органических красителей)
	Длина волны излучения: $\lambda = 601 - 750 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность: 1,9 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,007 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,84$
	Возможное количество воздействий на глаза: 8
	Возможное количество воздействий на кожу: 8

Вариант 50

	Тип лазера: полупроводниковый (на лазерном диоде Ga-As)
	Длина волны излучения: $\lambda = 650 \text{ нм}$
	Режим работы: непрерывный
	Выходная мощность излучения: 0,7 Вт
	Диаметр пятна на мишени $d_n = 0,003 \text{ м}$
	Коэффициент отражения излучения материалом мишени $\rho = 0,77$
	Возможное количество воздействий на глаза: 7
	Возможное количество воздействий на кожу: 7

Оглавление

Приложение 2**Форма отчёта по лабораторной работе «Защита от лазерного излучения»**

МГТУ им. Н.Э.Баумана НУК «Э» Кафедра Э9	Отчет о лабораторной работе «Защита от лазерного излучения»	(индекс группы)
(Ф.И.О. студентов)		

Параметры лазера: вариант _____ тип: _____; $\lambda =$ _____ нм; режим: _____;
 $\tau =$ ____ с; $f =$ ____ Гц; выходная мощность: $P =$ ____ Вт; диаметр пятна $d_n =$ ____ м; материал
мишени: _____; количество воздействий на глаза: ____; на кожу ____;

Задание №1. «Оценка опасности лазерной установки при облучении глаз».

Норма при облучении глаз прямым пучком: $P_{\text{пду}} =$ _____ Вт

Заключение: однократное облучение глаз прямым пучком опасно/неопасно

Угловой размер пятна: $\alpha =$ _____ рад; поправка: $B =$ _____

Норма при облучении глаз отраженным пучком: $P^*_{\text{пду}} = B \cdot P_{\text{пду}} =$ _____ Вт

Расчётное значение мощности отраженного излучения: $P^* = \rho \cdot P =$ _____ Вт

Заключение: однократное облучение глаз отраженным излучением опасно/неопасно.

Задание №2. «Оценка опасности лазерной установки при облучении кожи».

Норма при облучении кожи: $E_{\text{пду}} =$ _____ Вт/м²; $P_{\text{пду}} = S_A \cdot E_{\text{пду}} =$ _____ Вт

Расчётное значение мощности отраженного излучения: $P^* = \rho \cdot P =$ _____ Вт

Заключение: однократное облучение кожи прямым пучком опасно/неопасно, отраженным
излучением опасно/неопасно.

Задание №3. «Подбор материалов для защиты от лазерного излучения».

Нормативное значение мощности при хроническом облучении глаз $P_{\text{пду}} =$ _____ Вт

Нормативное значение мощности при хроническом облучении кожи $P_{\text{пду}} =$ _____ Вт

Требуемая и фактическая оптическая плотность защитных материалов

Хроническое облучение глаз $D_{\text{тр}} =$ _____	Хроническое облучение кожи $D_{\text{тр}} =$ _____
--	--

Выводы. 1) На основании заключений по заданиям 1 и 2 лазерную установку можно отнести
к ____ классу опасности. Для защиты работника необходимо использовать: очки со
стеклами: _____, защитные щитки из _____.

2) Комплекс мер по защите от лазерного излучения полученного класса опасности включает
в себя.

Оглавление

Работу выполнили (подписи)	Дата	Работу принял (подпись)	Дата

Оглавление

Б.Н. Рахманов, Ю.Л. Ткаченко «Защита от лазерного излучения»