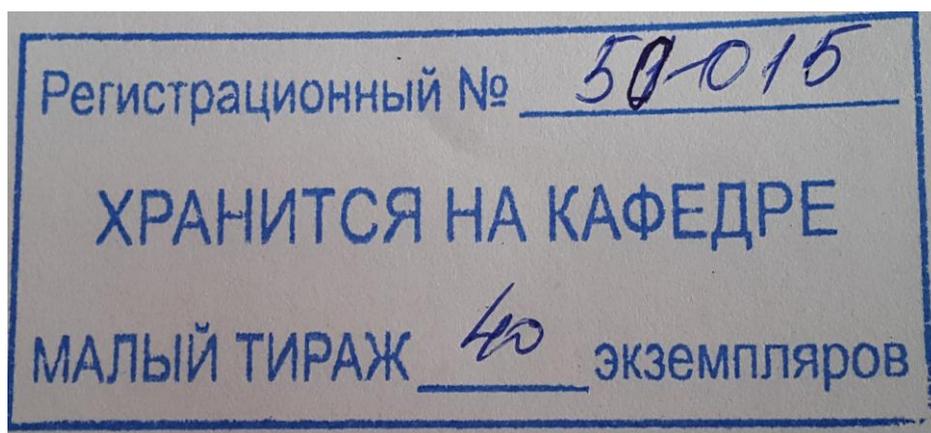


ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ И ВЫБОР МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«САМАРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ АЭРОКОСМИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ имени академика С.П. КОРОЛЁВА
(НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)»

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА
ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ И
ВЫБОР МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ**

*Рекомендовано редакционной комиссией
по двигателям летательных аппаратов и энергомашиностроению
в качестве методических указаний*

САМАРА – 2015

УДК: 502(075)

Составители: Г.Ф. Несоленов, О.А. Свидерский

Рецензент: д-р техн. наук. проф. Прохоров С.А.

Исследование опасности поражения человека лазерным излучением и выбор методов защиты от них: метод. указания / сост. Г.Ф. Несоленов, О.А. Свидерский. – Самара: Самар. гос. аэрокосм. ун-т, 2015. – 39 с.

Рассматривается методика проведения исследований опасности поражения лазерным излучением с целью защиты работающих от его воздействия и выбора соответствующих средств защиты.

Указания способствуют выработке у студентов навыков менеджмента по безопасности на основе проводимых исследований и возможности прогнозирования безопасных условий труда на рабочих местах с лазерными устройствами.

Методические указания рекомендованы для всех форм обучения и всех специальностей университета, так как позволяют получить соответствующие навыки в освоении дисциплины «Безопасность жизнедеятельности».

Настоящие указания могут быть также использованы для лиц, проходящих повышение квалификации по охране труда и работников отделов охраны труда промышленных производств.

Разработаны на кафедре экологии и безопасности жизнедеятельности СГАУ.

Цель работы: научиться проводить исследования поглощающей и отражающей способностей различных видов поверхностей при воздействии на них лазерного излучения и проконтролировать на основе полученных результатов уровень лазерного излучения.

Задачи:

1. Изучить основные принципы нормирования безопасных уровней лазерного излучения.

2. Ознакомиться с устройством и принципом работы стенда.

3. Провести исследования, касающиеся определения энергетической освещенности, отражательной и поглотительной способности различных материалов отражать или поглощать лазерное излучение.

4. Рассчитать эффективность средств защиты от лазерного излучения.

5. Выполнить дозиметрический контроль, сравнив полученные результаты с нормативными значениями.

6. Проработать вопросы, связанные с применением коллективных и индивидуальных средств защиты и правильного их применения.

7. Подготовить отчет по проделанной работе, сделав соответствующие выводы и рекомендации, в том числе, и по применению коллективных и индивидуальных средств защиты.

1 ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Термин «лазер» («laser») составлен из начальных букв пяти слов «Light amplification by stimulated emission of radiation», что в переводе с английского означает «Усиление света путём его вынужденного излучения». В сущности, лазер представляет собой источник света, в котором путём внешнего воздействия различными источниками, достигается возбуждение атомов определённого вещества. А когда возбуждённые атомы под воздействием внешнего электромагнитного излучения возвращаются в исходное состояние, происходит вынужденное излучение света.

Согласно планетарной модели строения атома, предложенной английским физиком **Э. Резерфордом** (1871-1937), в атомах различных веществ электроны движутся вокруг ядра по определённым энергетическим орбитам. Каждой орбите соответствует определённое количество энергии электрона. В обычном (невозбуждённом) состоянии электроны атома занимают более низкие энергетические уровни и способны только поглощать падающее на них возмущение. В результате взаимодействия атом приобретает дополнительное количество энергии, и тогда один или несколько его электронов переходят на отдалённые от ядра орбиты, т.е. на более высокие энергетические уровни. В таких случаях говорят, что атом вещества перешёл в возбуждённое состояние. Поглощение энергии происходит строго определёнными порциями – квантами. Избыточное количество энергии, полученное атомом, не может в нём оставаться бесконечно долго – атом стремится избавиться от излишка энергии и перейти в стационарное состояние.

Возбуждённый атом при определённых условиях будет отдавать полученную энергию так же строго определёнными порциями, в процессе чего электроны возвращаются на прежние энергетические уровни. При этом образуются кванты света (фотоны), энергия которых равна разности энергии двух уровней. Происходит самопроизвольное или спонтанное излучение энергии. Возбуждённые атомы способны излучать не только сами по себе, но и под воздействием падающего на них излучения. При этом излучённый квант и квант, «породивший» его, похожи друг на друга. В результате индуцированное излучение (вызванное внешним воздействием) имеет ту же длину волны, что и вызвавшая его волна. На этом и основано действие лазера [¹].

В отечественной литературе используется также термин «оптический квантовый генератор» (ОКГ). Создание лазеров (1960 г.) и несколько ранее мазеров (1955 г.) послужило основой развития нового направления в физике и технике, которое названо квантовой электроникой. В 1964 г. советским физикам **Н.Г. Басову**, **А.М. Прохорову** и американскому физика **Ч. Таунсу** за работы в области квантовой электроники присуждена Нобелевская премия [²].

Мазер – квантовый генератор электромагнитного излучения в сантиметровом диапазоне, характеризующийся высокой монохроматичностью, когерентностью и узкой направленностью излучения, который применяется в радиосвязи, радиоастрономии, а также в качестве генератора стабильных частот.

Лазер – источник света, который по сравнению с другими источниками света обладает рядом уникальных свойств, связанных с когерентностью и высокой направленностью его излучения.

Излучение «нелазерных» источниками света не имеет этих особенностей.

ВНИМАНИЕ! В естественной природной среде лазерное излучение не встречается.

Области применения лазеров и лазерной техники ещё более многочисленны, чем разнообразие их конструкций. Всего насчитывается несколько сотен областей использования лазеров на практике. Наиболее массовой областью использования лазерной техники является лазерная обработка материалов, в основе которой лежит в большинстве случаев тепловое воздействие лазерного излучения. Удаётся реализовать также широкий круг технологических процессов и методов [2].

Наиболее важными с точки зрения безопасности характеристиками лазерного излучения являются:

- длина волны – λ , м;
- длительность воздействия (импульса) – Δt , с;
- плотность энергии – E , Дж/м²;
- плотность мощности – N , Вт/м².

Лазерное излучение вне зависимости от количественных значений приведённых параметров оказывает воздействие на живой организм в той или иной степени. Однако предельно допустимые дозы и опасные значения параметров существенно различаются для различных органов человека. Поэтому, обычно рассматривают воздействие лазерного излучения на органы зрения и кожный покров.

Сама по себе лазерная установка является источником целого комплекса опасных и вредных факторов (ОВФ), воздействующих на обслуживающий персонал при несоблюдении требования охраны труда.

В зависимости от типа конструкции и целевого назначения лазеров и лазерных установок такими ОВФ могут стать:

- лазерное излучение (прямое, отражённое и рассеянное);
- сопутствующие ультрафиолетовое, видимое и инфракрасное излучения от источников накачки, плазменного факела и материалов мишени;
- высокое напряжение в цепях управления и источниках электропитания;
- электромагнитное излучение (ЭМИ) промышленной частоты и радиочастотного диапазона;
- рентгеновское излучение от газоразрядных трубок и других элементов, работающих при анодном напряжении более 5 В;
- шум;
- вибрация;
- токсичные газы и пары от лазерных систем с прокачкой, хладагентов и др.;
- повышенная температура поверхности лазерного изделия;
- опасность взрыва в системах накачки лазеров.

- возможность взрывов и пожаров при попадании лазерного излучения на горючие материалы.

Все перечисленные виды ОВФ могут характеризоваться следующими видами воздействий на обслуживающий персонал при нарушении им требований по безопасной эксплуатации лазерных установок:

- аддитивное;
- кумулятивное;
- синергетическое;
- вызывающее замешательство;
- приводящее к тревожности (стрессу или страху).

Воздействие аддитивное проявляется совокупным воздействием нескольких факторов одновременно.

Воздействие кумулятивное можно выделить в трёх видах:

- суммирование всех порций одного фактора с усилением общего влияния, но с сохранением характера воздействия. Примером может служить длительное воздействие шума лазерной установки на организм человека, или света на органы зрения;

- изменение характера воздействия фактора в связи с его качественным изменением вследствие количественного изменения. В качестве примера можно рассмотреть изменение категории работы вследствие изменения величины, поднимаемой и перемещаемой массы груза вручную при наладке лазерной установки. Это, в свою очередь, отражается на метеорологических параметрах рабочего места, переводя их из одного качества в другое;

- усиливающееся воздействие химического вещества или другого действующего агента, связанное с их накоплением в особи (биоаккумуляция), так, накопление паров тяжёлых металлов, вдыхаемых при лазерной обработке, в организме ведёт к серьёзным заболеваниям, в том числе профессиональных. Такое явление называется *биоаккумуляцией*.

Биоаккумуляция характеризуется накоплением в организмах всё возрастающих концентраций потенциально токсичных веществ. Эти вещества может вдыхать работающий из производственной среды рабочего места от работающего лазера. Опасность состоит в том, что такие вещества не разлагаются и не выделяются из организма. В результате внутренние органы жизнеобеспечения человека работают как фильтры, накапливая всё возрастающие количества вредных веществ, особенно таких опасных как тяжёлые металлы, канцерогены и др.

Воздействие синергическое – увеличение силы воздействия одного фактора при наличии другого (или других). Синергизм проявляется в том, что результирующее воздействие всех ОВФ всегда больше воздействия каждого фактора в отдельности.

Условия опасности, которая может вызвать замешательство. **Замешательство** можно определить как любой набор факторов (опасностей) или обстоятельств (условий), которые, по мнению человека не имеют сиюминутного решения, не разрушают свойств его самозащитности. Замешательство является

замешательством до тех пор, пока это свойство присутствует и ни одна опасность не понята со всей очевидностью. Опасность замешательства состоит:

- в невозможности:
 - контролировать опасность во времени в соответствии с ее качественными характеристиками;
 - своевременного предвидения развития будущих событий (на основе свойства антиципации);
- «затягивании» времени на принятие решения в быстро развивающейся опасной ситуации;
- изменяющихся качественных характеристиках самой опасности. Первый качественный признак – наличие явной угрозы, второй – изменение функциональных свойств, разрушающих свойство надёжной защищённости объекта или субъекта, что и характеризует опасность как таковую;
- принятии решений, несвойственных развивающимся будущим событиям.

В настоящее время рассматривается особая концепция замешательства. Она называется *концепция «стабильного» данного*. Пока не будет выбрано *одно* данное (фактор или опасность), *одно* условия, *один* отдельный предмет в беспорядочном потоке фактов или частей рабочего места, замешательство будет существовать, а значит, продолжаться и условия опасности для человека. *Один* предмет, одно условие, которые выбрал человек (зафиксировал) и использует в момент замешательства, становится *«стабильным» данным* для всех других объектов (условий). Оно не обязательно должно быть верным. Это такое данное, которое стабилизирует другие элементы, и относительно которого выстраиваются другие данные остальных элементов. Человек, оказавшийся в замешательстве должен:

- Усвоить одну часть опасности и определить её местонахождение по условию возможной её инициации и проявлению какого-либо негативного события.
- Установить, какие другие части опасности функционируют относительно фиксированных условий или «фиксированной» опасности.
- Начать контролировать условия, в которых существует опасность.
- Принять любое решение, присущее рассматриваемой ситуации. Оно и будет являться для человека «стабильным» данным.
- Приостановить в себе замешательство на основе принятого решения и контроль складывающейся обстановки.
- Полностью справиться с замешательством, соотнеся другие части опасности с тем решением, которое уже им принято.

Из концепции «стабильного» данного вытекает следующая аксиома: «Чтобы быть вне замешательства и иметь чувство полной и надёжной защищённости, необходимо научиться контролировать действующие ОВФ и факторы изменяющейся в динамике ситуации рабочего места и не терять самообладания, чтобы принять правильное решение на основе свойства антиципации».

Тревожность из-за складывающихся условий или обстоятельств. Состояние тревожности может спровоцировать отвлечение человека от требуемого регламента работы и прервать цикл его деятельности на рабочем месте. Кроме того состояние тревожности чаще всего приводит к утомлению человека, которое и является одним

из самых распространённых факторов, оказывающих существенное воздействие на эффективную и безопасную его деятельность.

Утомление представляет собой весьма сложный и разнообразный комплекс явлений. Полное содержание его определяется физиологическими, психологическими и социальными факторами и, исходя из этого, утомление и должно рассматриваться, по меньшей мере, с четырёх сторон:

- субъективной – как психического состояния;
- физиологических механизмов;
- понимания эффективности трудового процесса и динамики работоспособности;
- подверженности опасности, которая представляет собой совокупность субъективных и объективных факторов.

В отличие от тревоги, которая есть боязнь чего-то плохого в будущем, даже недалёком, страх есть боязнь чего-то опасного, происходящего прямо сейчас [3].

Страх обычно острее тревоги. Он, бывает, так сильно напрягает организм, кровеносные сосуды, что у пожилого человека, телесно хрупкого может случиться катастрофа в виде инфаркта или инсульта.

Реакция же молодого человека легко переносит напряжение страхом, поскольку организм наполняется в страхе бесценным «горючим» организма – адреналином.

Природа разнообразно защищает человека от страха. Так, один человек, сообразно своей природе, в опасности немеет душой при ясном течении мысли, позволяющей ему трезво оценивать ситуацию. Другой, тоже природно-защищённый от душераздирающей напряжённости онемением души, впадает одновременно и в лёгкий мышечный ступор, который сковывает всё его существо. Третий приходит в состояние вдохновенного азарта, обнаруживая в эти мгновения необычную для него сметку-смекалку и ловкость. У четвёртого суживается сознание, вытесняя из себя страшное, угрожающее, и он сможет остолбенеть. Пятый, тоже в суженом сознании, станет бессмысленно метаться-биться в «двигательной буре». И так далее. Страх обычно рассматривается психологами как природно-внутренний и душевный, общечеловеческий сигнал опасности.

В табл. 1 приведены основные опасные и вредные производственные факторы, источники их возникновения и нормативно-техническая документация (НТД), регламентирующая воздействие опасного или вредного производственного фактора.

Таблица 1.

Опасные и вредные производственные факторы, источники их возникновения и НТД, регламентирующая их воздействие

Опасный или вредный производственный фактор	Источник возникновения опасного или вредного фактора	Нормативно-технический документ, регламентирующий воздействие опасного фактора
1	2	3
Лазерное излучение: прямое (зеркально-отражённое) диффузионно-отражённое	Резонатор лазера; зеркала, оптическая система, мишень при воздействии лазерного излучения Оптическая система, мишень при воздействии лазерного излучения	Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров № 5804-91 [4], ГОСТ 12.1.040-83 [5]
Напряжение в электрической цепи, замыкание которой может пройти через тело человека	Цепи управления и источники электропитания лазера	ГОСТ 12.2.007.0-75 [6], Правила технической эксплуатации (ПТЭ) и Правила техники безопасности (ПТБ)
Вредные вещества	Системы охлаждения, сопутствующее УФ-излучение	ГОСТ 12.1.005-88 [7], отраслевые нормы
УФ-излучение	Газоразрядные трубки	Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров №5804-91 [4]
Шум и вибрация	Вспомогательное оборудование	ГОСТ 12.1.050-86 [8], ГОСТ 12.1.001-89 [9], ГОСТ 12.1.003-83 [10], СП 2.1.8.562-96 [11], СН 2.1.8,566-96 [12], СН 2.2.4/2.1.8.562-96 [13]
Инфракрасная радиация	Вспомогательное оборудование	СанПиН 2.2.4. 548-96 [14]

2 ВОЗДЕЙСТВИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА ОРГАНИЗМ ЧЕЛОВЕКА

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

- Ультрафиолетовая – $180 < \lambda \leq 380$.
- Видимая – $380 < \lambda \leq 750$.
- Ближняя инфракрасная – $750 < \lambda \leq 1400$.
- Дальняя инфракрасная – $140 < \lambda \leq 10^5$.

Различают следующие шесть видов воздействия лазерного излучения на живой организм:

- Термическое.
- Энергетическое.
- Фотохимическое.
- Механическое.
- Электрострикция.
- Образование в пределах биологической клетки микроволнового электромагнитного поля.

Термическое воздействие. Возможно только при фокусировке лазерного излучения, так как в этом случае выделяется большое количество теплоты в небольшом объёме за короткий промежуток времени.

Энергетическое воздействие. Определяется большим градиентом электрического поля, обусловленного высокой плотностью мощности. Это воздействие может вызывать поляризацию молекул, резонансные и другие эффекты.

Фотохимическое воздействие. Проявляется в выцветании ряда красителей, которые попадают в зону лазерного луча.

Механическое воздействие. Зависит от возникновения колебаний типа ультразвуковых в облучаемом организме.

Электрострикция – деформация молекул в электрическом поле лазерного излучения.

Образование в пределах клетки микроволнового электромагнитного поля, оказывающего на клетку микроволнового эффекта, изменяя её температурный режим.

Под воздействием лазерного излучения происходит нарушение жизнедеятельности как отдельных органов, так и организма в целом.

При больших интенсивностях облучения возможны повреждения внутренних органов, которые имеют характер отёков, кровоизлияний, кровотечений, омертвления тканей и других отрицательных последствий.

Лазерное излучение представляет особую опасность для тканей, которые максимально поглощают излучение. Сравнительно лёгкая уязвимость роговицы и хрусталика органов зрения, а также способность оптической системы глаза увеличивать плотность энергии (мощности) излучения видимого и ближнего инфракрасного диапазона (750-1400 нм) на глазном дне до $6 \cdot 10^4$ раз по отношению к роговице делают органы зрения наиболее уязвимым органом. Степень его повреждения может изменяться от слабых ожогов сетчатки до полной потери зрения.

Лазерное излучение с длиной волны 380-1400 нм (ультрафиолетовая) и свыше 1400 нм (дальняя) инфракрасная область – для передних сред глаза.

<p>ВНИМАНИЕ! Излучение <i>видимой области</i> может вызывать ожоги и разрушение сетчатой и сосудистой оболочек органов зрения от обратимого повреждения до слепоты.</p>
--

Излучение *ультрафиолетовой области* вызывает разрушение молекул белка роговой оболочки и ожог конъюнктивы органов зрения. Болевые ощущения возникают через несколько секунд, повреждение органов зрения – через несколько минут, часов, дней. Повреждение может быть необратимым – слепота.

Излучение *инфракрасной области* поглощается радужной оболочкой, хрусталиком и стекловидным телом. Богатая пигментом радужная оболочка нагревается за счёт теплопроводности, белок хрусталика свёртывается. Повреждение органов зрения может происходить через большой промежуток времени, так как из-за нагрева роговой оболочки, сразу возникает мигательный рефлекс глаза. В тяжёлых случаях повреждение может быть необратимым и приводить к слепоте.

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

При повреждении сетчатки лёгкой степени на глазном дне наблюдается небольшой участок помутневшей сетчатки. В тяжёлых случаях имеется участок некроза сетчатки, разрыв её ткани (механическое повреждение), возможен выброс участка сетчатки в стекловидное тело. Эти повреждения сопровождаются кровоизлиянием в сетчатку. В пред- или подсетчаточное пространство или стекловидное тело.

Повреждение кожного покрова зависит от первоначально поглощённой энергии. Повреждение кожного покрова энергией лазерного излучения ультрафиолетового диапазона спектра (нетепловые уровни энергии) может происходить без возникновения каких-либо ощущений. Характер поражения кожного покрова под воздействие лазерного излучения аналогичен термическим ожогам. И в зависимости от уровня воздействующей энергии, может быть различным: от покраснения до поверхностного обугливания и образования глубоких дефектов кожи. Значительные повреждения развиваются на пигментированных участках кожного покрова (родимых пятен, местах с сильным загаром), минимальное повреждение кожи развивается при плотности энергии 0,1-1,0 Дж / см².

При воздействии мощного импульса лазерного излучения из организма в облучённых тканях возникает ударная волна непосредственно от «удара» самого импульса. Появление такой волны обусловлено возникновением градиентов давления внутри облучаемой системы за счёт объёмного 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, которая состоит из группы импульсов различной длительности и амплитуды. Максимальную амплитуду имеет первый импульс сжатия, который и 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 внутримозговые (внутричерепные) кровоизлияния.

Хроническое действие, переходящее по временному критерию в воздействие, диффузно отражённого лазерного излучения вызывает неспецифические, преимущественно вегетативно-сосудистые нарушения; функциональные сдвиги могут наблюдаться со стороны нервной, сердечнососудистой систем, желез внутренней секреции.

По степени опасности выходного излучения лазеры подразделяются на четыре класса:

I – лазеры, выходное излучение которых не представляет опасности для органов зрения и кожного покрова;

II – лазеры, выходное излучение которых представляют опасность при облучении органов зрения прямым или зеркально отражённым излучением;

III – лазеры, выходное излучение которых представляют опасность для органов зрения прямым или зеркально отражённым излучением, а также диффузно отражённым излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности. Этот класс распространяется только на лазеры, генерирующие излучения в спектральном диапазоне длин волн 380-1400 нм.

IV – лазеры, выходное излучение которых представляют опасность при облучении кожного покрова диффузно отражённым излучением на расстоянии 10 см от диффузно отражающей поверхности.

ВНИМАНИЕ! Лазеры классифицирует предприятие-изготовитель по выходным характеристикам излучения расчётным методом.

3 НОРМИРОВАНИЕ ИНТЕНСИВНОСТИ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Основным документом, регламентирующим требования безопасности при эксплуатации лазерных установок, являются «СанПиН-лазер 5804-91» [4]. Этот документ устанавливает:

- предельно допустимые уровни (ПДУ) лазерного излучения в диапазоне длин волн $180-1 \cdot 10^5$ нм при различных условиях воздействия на человека;
- классификацию лазеров по степени опасности генерируемого ими излучения;
- требования к:
 - устройству и эксплуатации лазеров,

- производственным помещениям,
- размещению оборудования,
- организации рабочих мест,
- применению средств защиты,
- медицинскому контролю,
- персоналу;
- контроль состояния производственной среды.

Предельно допустимые уровни (ПДУ) лазерного излучения устанавливаются для двух условий облучения – однократного и хронического для трёх диапазонов длин волн, нм:

$$I - 180 \leq \lambda \leq 380;$$

$$II - 380 \leq \lambda \leq 1400;$$

$$III - 1400 \leq \lambda \leq 10^5.$$

Нормируемыми параметрами являются энергетическая экспозиция – H и облучённость – E , которые усредняются по ограничивающей апертуре – отверстию в защитном корпусе лазера, через которое испускается лазерное излучение.

Для определения ПДУ ($H_{ПДУ}$ и $E_{ПДУ}$) при воздействии лазерного излучения на кожный покров усреднение проводится по ограничивающей апертуре диаметром $1,1 \cdot 10^{-3}$ м (площадь апертуры $S_a = 10^{-6}$ м²).

Для определения $H_{ПДУ}$ и $E_{ПДУ}$ при воздействии лазерного излучения на органы зрения в диапазонах длин волн 180-380 и 1400-10⁵ нм усреднение осуществляется также по апертуре диаметром $1,1 \cdot 10^{-3}$ м, а в диапазоне длин волн 380-1400 нм – по апертуре диаметром $7 \cdot 10^{-3}$ м.

Наряду с энергетической экспозицией и облучённостью нормируемыми параметрами являются также энергия – W и мощность – P лазерного излучения, прошедшего через ограничивающую апертуру.

**ПДУ лазерного излучения в диапазоне длин волн
при облучении органов зрения и кожного покрова**

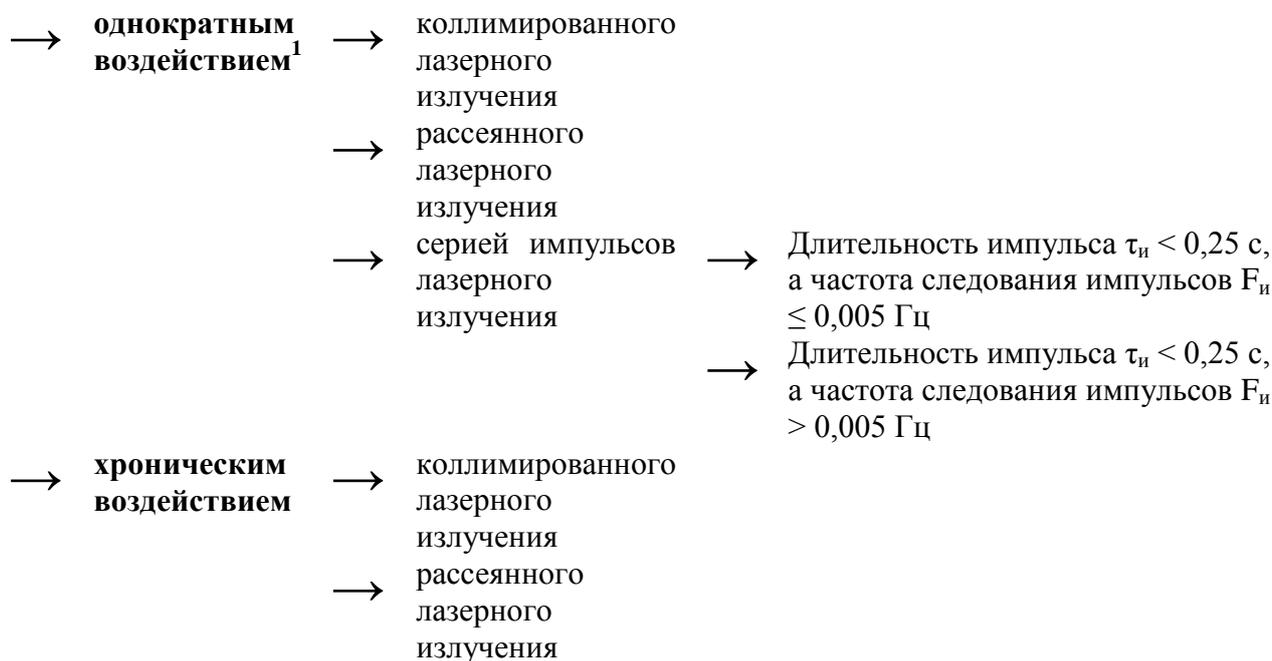


Рис.3.1. Нормирование лазерного излучения в спектральном диапазоне II
($380 \leq \lambda \leq 1400$ нм)

При оценке воздействия на органы зрения 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.

Указанные выше энергетические параметры связаны соотношениями:

$$H_{\text{ПДУ}} = \frac{W_{\text{ПДУ}}}{S_a}; \quad (1)$$

$$E_{\text{ПДУ}} = \frac{P_{\text{ПДУ}}}{S_a}; \quad (2)$$

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 апертуры, м²;

$E_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимый уровень облучённости, Вт/м²;

$P_{\text{ПДУ}}$ – предельно допустимый уровень мощности лазерного излучения, Вт.

¹ Однократным облучением считается одномоментное облучение или облучение в течение первых четырех суток.

Используемый в лабораторной работе лазер имеет длину волны $\lambda = 650$ нм относится к диапазону II лазерного излучения.

$\lambda = 650$

ВНИМАНИЕ! Предельно допустимые уровни лазерного излучения устанавливаются отдельно для случаев однократного и хронического облучения органов зрения, а также для однократного и хронического облучения кожного покрова (рис. 3.1).

3.1 Предельно допустимые уровни в диапазоне II ($380 \leq \lambda \leq 1400$) при однократном облучении органов зрения

В качестве примера рассмотрим определение ПДУ лазерного излучения при воздействии на органы зрения коллимированного (заключённого в ограниченном телесном угле) лазерного излучения. Соотношения для определения $R_{\text{ПДУ}}$ при воздействии на органы зрения коллимированного лазерного излучения (наблюдении прямого или зеркально отражённого пучка) в диапазоне II ($380 \leq \lambda \leq 1400$ нм) приведены в табл. 3.1.

Таблица 3.1.

Соотношения для определения $R_{\text{ПДУ}}$ при однократном воздействии на органы зрения коллимированного лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 < \lambda \leq 1400$ нм). Длительность облучения больше 1 с. Ограничивающая апертура диаметром – $7,0 \cdot 10^{-3}$ м

Спектральный интервал, λ , нм	Длительность облучения, t, с	$R_{\text{ПДУ}}$, Вт
$380 < \lambda \leq 500$	$1,0 < t \leq 5,0 \cdot 10^{-2}$	$5,9 \cdot 10^{-5} / \sqrt[3]{t}$
	$5,0 \cdot 10^{-2} < t \leq 10^4$	$3,7 \cdot 10^{-3} / t$
	$t > 10^4$	$3,7 \cdot 10^{-7}$
$500 < \lambda \leq 600$	$1,0 < t \leq 2,2 \cdot 10^3$	$5,9 \cdot 10^{-5} / \sqrt[3]{t}$
	$2,2 \cdot 10^3 < t \leq 10^4$	$10^{-2} / t$
	$t > 10^4$	10^{-6}
$600 < \lambda \leq 700$	$1,0 < t \leq 2,2 \cdot 10^3$	$1,2 \cdot 10^{-4} / \sqrt[3]{t}$
	$2,2 \cdot 10^3 < t \leq 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-2} / t$
	$t > 10^4$	$2,0 \cdot 10^{-6}$
$700 < \lambda \leq 750$	$1,0 < t \leq 10^4$	$1,2 \cdot 10^{-4} / \sqrt[3]{t}$
	$t > 10^4$	$5,5 \cdot 10^{-6}$
$750 < \lambda \leq 1000$	$1,0 < t \leq 10^4$	$3,0 \cdot 10^{-4} / \sqrt[3]{t}$
	$t > 10^4$	$1,4 \cdot 10^{-5}$
$1000 < \lambda \leq 1400$	$1,0 < t \leq 10^4$	$2, \cdot 10^{-4} / \sqrt[3]{t}$
	$t > 10^4$	$3,5 \cdot 10^{-5}$

Примечание. Ограничивающая апертура – круглая диафрагма, ограничивающая поверхность, по которой усредняется облучённость или энергетическая экспозиция.

3.2 Предельно допустимые уровни в диапазоне II ($380 \leq \lambda \leq 1400$ нм) при хроническом облучении кожного покрова

Для определения ПДУ $H_{\text{ПДУ}}$, $E_{\text{ПДУ}}$ и $W_{\text{ПДУ}}$, $R_{\text{ПДУ}}$ при хроническом воздействии на кожный покров коллимированного или рассеянного лазерного излучения в диапазоне II ($380 \leq \lambda \leq 1400$) необходимо уменьшить в 10 раз соответствующие ПДУ, приведенные в табл. 3.2.

Таблица 3.2.

Соотношения для определения $H_{\text{ПДУ}}$, $E_{\text{ПДУ}}$ и $W_{\text{ПДУ}}$, $R_{\text{ПДУ}}$ при однократном воздействии на кожный покров коллимированного или рассеянного лазерного излучения в спектральном диапазоне II ($380 \leq \lambda \leq 1400$ нм). Ограничивающая апертура диаметром – $1.1 \cdot 10^{-3}$ м.

Спектральный интервал, λ , нм	Длительность облучения, t, с	$H_{\text{ПДУ}}$, Дж · м ⁻² $E_{\text{ПДУ}}$, Вт · м ⁻²
$380 < \lambda \leq 500$	$10^{-10} < t \leq 10^{-1}$	$H_{\text{ПДУ}} = 2,5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[3]{t}$
	$10^{-1} < t \leq 1,0$	$H_{\text{ПДУ}} = 50 \cdot 10^3 \cdot \sqrt{t}$
	$1,0 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \cdot 10^2$
$500 < \lambda \leq 900$	$10^{-10} < t \leq 3$	$H_{\text{ПДУ}} = 7,0 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[3]{t}$
	$3,0 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \cdot 10^3 / \sqrt{t}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \cdot 10^2$
$900 < \lambda \leq 1400$	$10^{-10} < t \leq 1,0$	$H_{\text{ПДУ}} = 2,0 \cdot 10^4 \cdot \sqrt[3]{t}$
	$1,0 < t \leq 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 2,5 \cdot 10^3 \cdot \sqrt[3]{t^4}$
	$t > 10^2$	$E_{\text{ПДУ}} = 5,0 \cdot 10^2$
$W_{\text{ПДУ}} = 10^{-6} \cdot H_{\text{ПДУ}}$, $R_{\text{ПДУ}} = 10^{-6} \cdot E_{\text{ПДУ}}$		

3.3 Одновременное воздействие на органы зрения и кожный покров лазерного излучения нескольких источников с различными длинами волн

При одновременном воздействии на органы зрения и кожный покров лазерного излучения нескольких источников с различными длинами волн эти источники в общем случае могут иметь различные характеристики:

- спектральные (два или несколько типов лазеров, генерация нескольких длин волн одним лазером, генерация гармоник);
- временные (режимы – непрерывный, импульсный, непрерывный с модуляцией мощности и т.д.);
- пространственные (коллимированный пучок, диффузно отражённое или рассеянное излучение).

Степень опасности при одновременном воздействии излучения различных лазерных источников является аддитивной составляющей в следующих случаях воздействия на:

- кожный покров излучения любых длин волн в диапазоне I ($180 \leq \lambda \leq 10^5$ нм);
- передние среды глаза лазерного излучения в диапазонах I и II длин волн $180 \leq \lambda \leq 380$ нм $1400 \leq \lambda \leq 10^5$ нм соответственно;
- сетчатку органов зрения лазерного излучения в диапазоне II длин волн $180 \leq \lambda \leq 380$ нм

ВНИМАНИЕ! Для каждого из перечисленных трёх случаев ПДУ устанавливаются независимо.

Предельно допустимая суммарная энергия или мощность излучения от нескольких источников, воздействие которых является аддитивным, определяется по следующим зависимостям:

$$W_{\text{пду}}^{\Sigma} = C_1 \cdot W_{\text{пду}}^{(1)} + C_n \cdot W_{\text{пду}}^{(n)} = \sum_{i=1}^n C_i \cdot W_{\text{пду}}^{(i)}; \quad (3)$$

$$P_{\text{пду}}^{\Sigma} = P_1 \cdot P_{\text{пду}}^{(1)} + C_n \cdot P_{\text{пду}}^{(n)}, \quad (4)$$

где n – число источников лазерного излучения, воздействие которых аддитивно;
 i – условный порядковый номер источника лазерного излучения;

$W_{\text{пду}}^{(i)}$ и $P_{\text{пду}}^{(i)}$ – предельно допустимые значения энергии (мощности) источника с порядковым номером i к суммарной энергии (мощности) всех источников:

$$C_i = \frac{W^{(i)}}{\sum_{i=1}^n W^{(i)}} = \frac{P^{(i)}}{\sum_{i=1}^n P^{(i)}} \quad (5)$$

ВНИМАНИЕ! Уравнения (3-5) применимы в тех случаях, когда длительность экспозиции или импульсов излучения рассматриваемых источников имеют один и тот же порядок.

При практических расчётах значение энергии (мощности) могут быть заменены эквивалентными значениями энергетической экспозиции (облучения).

4 ТРЕБОВАНИЯ К ИЗГОТОВИТЕЛЯМ ЛАЗЕРНЫХ ПРИБОРОВ В СВЯЗИ С ОБЕСПЕЧЕНИЕМ БЕЗОПАСНОСТИ ПОЛЬЗОВАТЕЛЕЙ

Международным стандартом в области лазерной безопасности является документ IEC-825 [¹⁵], а на территории России – ГОСТ Р 50723-94 [¹⁶].

Применение того или иного способа обеспечения безопасности пользователей лазерными установками зависит от стадии изготовления или эксплуатации такой установки. На защиту пользователя от лазерного облучения, превышающего ПДУ, нацелены рекомендуемые МЭК конструктивные мероприятия, необходимые при изготовлении лазерных приборов. Поскольку эти мероприятия, в той или иной степени, обязательны для всех изготовителей лазерных приборов, целесообразно рассмотреть их более подробно.

МЭК рекомендует на основе унификаций требований к конструкциям лазерных приборов разделять эти приборы на четыре класса с точки зрения опасности лазерного излучения для пользователей.

4.1 Лазерные излучатели класса 1

Считаются наиболее безопасными как по своей природе (отсутствует превышение ПДУ облучения), так и по конструктивному исполнению. В связи с таким двойным подходом допустимые пределы излучения (ДПИ) лазерных приборов класса 1 в спектральной области от 0,4 до 1,4 мкм, для которой возможно как точечное, так и протяжённое повреждение сетчатки органов зрения, характеризуются значениями в двух аспектах – энергетическом (в ваттах или джоулях) и яркостном. Соответствующие значения приведены в табл. 1 Приложения П.3 (кроме ультрафиолетового излучения, а также инфракрасного излучения от 1,4 мкм).

4.2 Лазерные излучатели класса 2

Маломощные лазерные приборы, излучающие только в видимом ($0,4 < \lambda < 0,7$ мкм) диапазоне. Их непрерывная мощность ограничена 1 мВт, так как предполагается, что человек обладает естественной реакцией защиты своих органов зрения от воздействия непрерывного излучения (рефлекс мигания).

При кратковременных облучениях ($\Delta t < 0,25$ мин) энергетика лазерных излучателей класса 2 не должна превышать соответствующие ДПИ для приборов класса 1.

Таким образом, лазерные излучатели класса 2 не могут нанести вред человеку при умелом с ними обращении.

4.3 Лазерные излучатели класса 3

Излучатели этого класса занимают переходное положение между безопасными приборами классов 1, 2 и лазерами класса 4 (которые безусловно требуют принятия

мер по защите персонала). В соответствии с этим МЭК рекомендует подразделять лазерные излучатели класса 3 на два подкласса – 3А и 3Б.

4.3.1 Лазерные излучатели подкласса 3А

К ним условно относят безопасные излучатели. Такие излучатели не способны повредить зрение человека при условии неиспользования каких-либо дополнительных оптических приборов для наблюдения прямого лазерного излучения. В соответствии с этим условием мощность видимого излучения лазеров подкласса 3А непрерывного излучения не должна превышать 5 мВт (т.е. пятикратного значения ПДУ для класса 2), а облучённость – 25 Вт/м^2 . Допустимая энергетика для других длин волн и длительностей облучения не должна более чем в пять раз превышать ПДУ для класса 1 (см. табл. 2 Приложения П.3).

ВНИМАНИЕ! Непосредственное наблюдение пучка, испускаемого лазерными изделиями класса 3А с помощью оптических инструментов (например, бинокль, телескоп, микроскоп), может быть опасным.

4.3.2 Лазерные излучатели подкласса 3Б

К ним относят излучатели средней мощности, непосредственное наблюдение которых даже невооруженным (без фокусирующей оптической системы) глазом опасно для зрения. Однако при соблюдении определённых условий – удалении глаз более чем на 13 см от рассеивателя и времени воздействия не более 10 с – допустимо наблюдение диффузно рассеянного излучения. Поэтому непрерывная мощность таких лазеров не может превышать 0,5 Вт, а энергетическая экспозиция – 100 кДж/м^2 . Остальные значения ПДУ для лазеров подкласса 3Б приведены в табл. 3. Приложения П.3.

ВНИМАНИЕ! Непосредственно наблюдение таких лазерных изделий класса 3Б всегда опасно. Видимое рассеянное излучение обычно безопасно.

Условия безопасного наблюдения диффузного отражения для лазерных изделий класса 3Б в видимой области: минимальное расстояние для наблюдения между глазом и экраном – 13 см, максимальное время наблюдения – 10 с.

4.4. Лазерные излучатели класса 4

Это мощные лазерные установки, способные повредить органы зрения и кожные покровы человека не только прямым, но и диффузно рассеянным излучением. При их функционировании значения ПДУ превышают значения, принятые для подкласса 3Б. Работа с лазерными излучателями класса 4 требует обязательного применения соответствующих защитных мер, так как создает опасное рассеянное излучение.

Их излучения могут привести к возгоранию сгораемых материалов, следовательно к пожару. Использование таких лазерных установок требует от работников особой осторожности и соблюдения всех требований по охране труда [17].

5 КОНТРОЛЬ УРОВНЯ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Дозиметрический контроль лазерного излучения – это сопоставление результатов измерений или расчётов уровня лазерного излучения со значениями ПДУ.

Различают два вида дозиметрического контроля:

- предупредительный (оперативный);
- индивидуальный.

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

- приёме в эксплуатацию новых лазерных изделий классов III-IV;
- внесении изменений в конструкцию действующих лазерных изделий;
- изменении в конструкции средств коллективной защиты;
- проведении экспериментальных и наладочных работ;
- аттестации рабочих мест;
- организации новых рабочих мест.

Индивидуальный дозиметрический контроль содержит методы измерений уровней энергетических параметров излучения, воздействующего на органы зрения (кожный покров) конкретного работника в течение рабочего дня. Проводится при работе на открытых лазерных установках (экспериментальные стенды), а также в тех случаях, когда не исключено случайное воздействие лазерного излучения на органы зрения и кожный покров.

Контроль энергетических параметров лазерного излучения проводится специально назначенным лицом из числа инженерно-технических работников (ИТР), прошедших специальное обучение, имеющих допуск к выполнению таких работ, и назначенных на основании письменного разрешения руководителя предприятия.

Методы проведения различных форм дозиметрического контроля лазерных излучений определены Методическими указаниями по проведению дозиметрического контроля и гигиенической оценки лазерного излучения [18].

<p>ВНИМАНИЕ! Апертура, применяемая для измерений, должна быть аттестована органами Ростехрегулирования и проходить проверку в установленном порядке.</p>

6 СРЕДСТВА ЗАЩИТЫ ОТ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В ПРОМЫШЛЕННЫХ УСЛОВИЯХ

Действующие лазерные установки должны размещаться в отдельных, специально выделенных помещениях или в отгороженных частях помещения, кроме лазерных устройств закрытого типа, как лазерный стенд.

Лазеры класса IV 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 средств защиты в каждом конкретном случае осуществляется с учётом требований безопасности конкретного процесса.

6.1 Коллективные средства лазерной безопасности

Коллективные средства защиты от повышенного уровня лазерного излучения разделяют на следующие группы:

- устройства:
 - оградительные,
 - предохранительные,
 - для автоматического контроля и сигнализации,
 - дистанционного управления;
- знаки безопасности;
- режимные (ограничивающие доступ в помещение во время работы лазерной установки).

6.1.1 Оградительные устройства

Надёжной защитой от случайного попадания излучения на человека является экранирование лазерного луча на всём пути его распространения, если позволяют это условие выполнить технологические возможности.

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

Прозрачные экраны должны поглощать лазерное излучение и при этом быть прозрачными на всём или части видимого диапазона длины волн (частично прозрачные экраны). Такие экраны изготавливаются из специальных стёкол 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.

ВНИМАНИЕ! При высокой энергии лазерного излучения, которая может разрушить частично прозрачный экран, следует принять меры, исключающие возможность прямого попадания лазерного луча на такой экран.

Непрозрачные экраны или ограждения. Препятствуют выходу лазерного излучения наружу. Такие экраны изготавливаются из металлических листов (сталь, дюралюминий и т.д.). В некоторых случаях допускается изготовление таких экранов из пластмасс.

Для снижения уровня отражённого лазерного излучения линзы, призмы и другие твёрдые 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. 6.1).

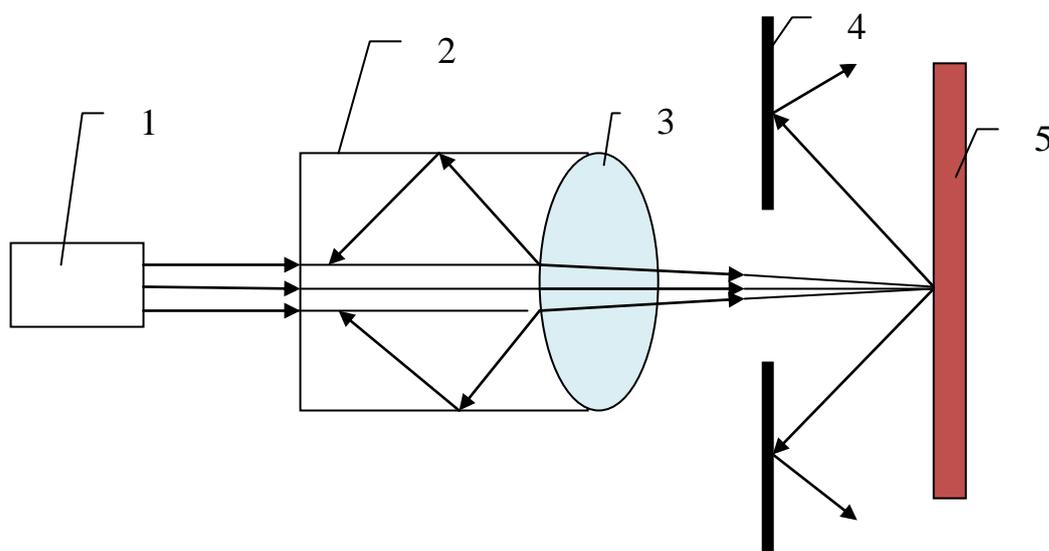


Рис. 6.1. Схема экранирования отражённого лазерного излучения блендами и диафрагмами: 1 – лазер, 2 – бленда, 3 – линза, 4 – диафрагма, 5 – мишень

Из схемы следует, что через отверстие проходит только прямое излучение, отражённые лучи от объекта попадают на внутреннюю поверхность бленды, а также на поверхность диафрагмы, которые эти отражённые лучи частично поглощают и рассеивают. Для этой цели можно использовать даже фанеру, покрытую чёрной матовой краской.

За приёмниками излучений устанавливают невоспламеняющиеся экраны с поверхностью, хорошо поглощающей энергию излучений соответствующей длины волны.

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

Лазерные установки, являющиеся источником ионизирующего излучения, устанавливают так, чтобы путь пучка проходил по непосещаемой людьми зоне

помещения. Точки же фокусирования пучка при работе установки обязательно защищают диафрагмами. В конце пучка устанавливается ловушка для поглощения и защиты от брызг, испарения, аэрозолей, выделяемых исследуемым веществом. При образовании в исследуемом веществе ионизирующего излучения предусматривают локальную защиту из материалов, наиболее поглощающих такое излучение.

6.1.2 Предохранительные устройства

Входные двери в помещения, в которых расположены лазерные установки, должны оснащаться блокирующими устройствами.

При размещении пультовой и рабочей камеры в разных помещениях система блокировки входной двери в помещение с рабочей камерой должны отключаться только после выключения установки и окончания режимного периода, если таковой предусмотрен. При этом должна быть исключена возможность включения установки при незапертой двери в помещение с рабочей камерой, а также исключена возможность открытия двери в это помещение во время работы установки.

ВНИМАНИЕ! При случайном открытии двери в помещение с рабочей камерой (или неисправности контакта блокировки) установка должна отключаться.

В помещении с рабочей камерой должны устанавливаться устройства аварийного отключения установки, которые должны располагаться в доступных местах и организовываться режим, запрещающий её включение.

ВНИМАНИЕ! Осветители с импульсными лампами в системе накачки должны иметь систему блокировки, исключающую возможность вспышки лампы при открытой крышке осветителя.

При совмещении системы наблюдения с оптической системой лазерной установки и с целью предохранения органов зрения обслуживающего персонала от излучения в окулярах микроскопа 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.

6.1.3 Устройства автоматического контроля и сигнализации

Помимо блокировки входных дверей в помещение, в которых размещены лазерные изделия, оно должно оснащаться звуковой и световой сигнализацией, сблокированной с системой пуска лазерной установки.

В помещении, где проводятся работы с импульсной установкой, также устанавливается сигнализация: световая – в период, когда на конденсаторной

батареи растёт напряжение, и звуковая – непосредственно за две-три секунды перед срабатыванием осветителя.

ВНИМАНИЕ! Во время работы установки на пульте управления и над входом в помещение с рабочей камерой должны гореть предупреждающие световые сигналы.

Система блокировки и сигнализации должна проверяться **каждый раз** перед включением установки.

ВНИМАНИЕ! ЗАПРЕЩАЕТСЯ эксплуатация установки в случае неисправности хотя бы одной из систем блокировки или сигнализации.

6.1.4 Устройства дистанционного управления

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

6.1.5 Знаки безопасности

Путь пучка света лазерной установки маркируется покраской рейтеров, оправ, диафрагм и бленд.

На дверях помещения, в которых размещаются лазерные установки, устанавливается знак «ОПАСНО! ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ» (рис. 6.2) [19].



Рис. 6.2. Знак безопасности «ОПАСНО! ЛАЗЕРНОЕ ИЗЛУЧЕНИЕ»

В соответствии с ГОСТ 12.4026-2001 такой знак устанавливается на дверях помещения, в котором имеется лазерная установка, оборудовании, приборах и других местах, где имеется лазерное излучение.

6.2 Средства индивидуальной защиты

В ряде случаев эксплуатация лазерных установок класса опасности II-IV применяются средства индивидуальной защиты (СИЗ) с целью обеспечения лазерной безопасности. Такие средства применяются только в том случае, когда коллективные средства защиты не позволяют обеспечить надёжную защищённость персонала, т.е. не обеспечивается требование лазерной безопасности.

К СИЗ относят:

- технологические халаты;
- перчатки;
- очки;
- щитки или маски.

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

Перчатки применяются в тех случаях, когда существует опасность воздействия лазерного излучения на кожный покров. Перчатки изготавливаются из замши и кожи.

Для защиты рук могут также использоваться специальные защитные дерматологические средства (кремы, лаки, пасты, мази), создающие предохранительную плёнку на кожном покрове рук.

В защитных щитках, масках и очках применяются специальные светофильтры, задерживающие лазерное излучение, но пропускающие излучение в соседних диапазонах спектра. Это достигается за счёт выбора светофильтров с определённой кривой спектрального пропускания (табл. 4 Приложения П.3). Так, например, противолазерные очки, изготавливаемые из сине-зелёного стекла марки СЗС-22, применяются для защиты органов зрения от лазерного излучения с длиной волны $\lambda = 0,69; 0,84$ и $1,06$ мкм.

ВНИМАНИЕ! В паспортах на светофильтры и оправы очков указывают их спектральную характеристику, оптическую плотность и максимально допустимый уровень излучения.

Толщина светофильтра устанавливается в зависимости от спектральной характеристики стекла.

Светофильтры очков должны обеспечивать снижение интенсивности облучения органов зрения лазерным излучением до ПДУ.

Существует два типа защитных очков: открытые и закрытые.

Открытые защитные очки модели О16-72 ЛС-630 предназначены для защиты органов зрения спереди и с боков от рассеянного и диффузно отражённого излучения на длине волны $0,63$ мкм.

Закрытые защитные очки с непрямой вентиляцией марки ЗН22-72-СЗС-22-6 предназначены для защиты органов зрения с боков, сверху и снизу от рассеянного и

диффузно отражённого, прямого излучения с длиной волны 0,63-1,50 мкм и для импульсного лазерного излучения с длиной волны 0,63-1,06 мкм.

В ассортименте защитных очков должны быть очки с оправой, не препятствующей одновременному пользованию обычными корректирующими очками.

ВНИМАНИЕ! При работе мощных лазеров класса IV недостаточна только защита органов зрения так как возможно и поражение кожного покрова лица.

В этих случаях эффективно применение защитных щитков и масок.

7 ПРАВИЛА ТЕХНИКИ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ВЫПОЛНЕНИИ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

Лабораторный стенд «Защита от лазерного излучения» (далее – стенд) предназначен для проведения исследований по определению способности различных материалов отражать и поглощать лазерное излучение. Стенд может быть использован в лабораторных условиях при температурах от плюс 10 до плюс 35 °С, относительной влажности воздуха до 80 %, при температуре плюс 25 °С.

7.1 Требования техники безопасности при выполнении лабораторной работы на стенде

1. К выполнению лабораторной работы допускаются студенты, ознакомившиеся с теоретическим материалом, изучившие устройство стенда и его принцип действия и усвоившие правила техники безопасности при работе на стенде.

2. Допуск к выполнению лабораторной работы осуществляет преподаватель, ведущий лабораторные занятия, после проверки у студентов знаний описательной части установки и электрической схемы.

3. Лабораторная работа выполняется бригадой количеством не менее чем двух человек, один из которых наблюдает за ходом выполнения лабораторной работы другим лицом и при возникновении опасности обесточивает лабораторный стенд.

ВНИМАНИЕ! При работе на установке необходимо помнить, что источниками опасности являются:

- источник питания лазера, находящийся под напряжением 220 В;
- световой пучок лазера, а также его отражение, преломленные и рассеянные лучи.

Перед началом работы:

1. Ознакомиться:
 - с назначением лабораторного стенда;
 - устройством и принципом его работы;

- требованиями техники безопасности при работе на лабораторном стенде, внимательно прочитав настоящие указания.

2. Убедиться в отсутствии механических повреждений корпуса стенда, кабеля с вилкой и розетки – источника питания лазерной установки.

3. При обнаружении неисправности немедленно сообщить о ней преподавателю.

ВНИМАНИЕ! ЗАПРЕЩАЕТСЯ:

1. Приступать к выполнению работы без разрешения преподавателя.
2. Выполнять любые виды наладочных работ при включённом в электрическую сеть стенде.
3. Работать на стенде при открытых крышках и снятом кожухе.

Во время работы:

1. Подсоединить сетевой кабель из комплекта стенда к электрической розетке напряжением 220 В с заземляющим контактом.

2. Перевести выключатель «СЕТЬ», расположенный на боковой стороне стенда, в положение «ВКЛ».

3. Включить стенд, повернув переключатель диапазонов.

4. Следовать всем рекомендациям, приведенным в настоящих методических указаниях (подраздел 8.2).

5. Прodelать исследовательскую работу.

6. Выполнить требуемые в Указаниях расчёты.

7. Сделать соответствующие выводы.

8. Подготовить отчёт о самостоятельно проделанной работе.

ВНИМАНИЕ! ЗАПРЕЩАЕТСЯ

1. Приступать к работе одному студенту.
2. Покидать рабочее место при работающем лазерном стенде.
3. Отвлекаться при выполнении лабораторной работы.
4. Продолжать выполнение лабораторной работы при обнаружении каких-либо неисправностей.

После окончания работы:

1. Выключить стенд, поставив переключатель диапазонов в начальное положение.

2. Выключить питание стенда, переведя выключатель «СЕТЬ», расположенный на боковой стороне стенда в положение «ВЫКЛ».

3. Отключить стенд от электрической сети переменного тока.

4. Привести рабочее место в порядок.

5. Отчитаться перед преподавателем о проделанной работе по аккуратно выполненному отчёту.

6. Ответить на контрольные вопросы, приведенные в Приложении П.2.

7. Покинуть помещение лаборатории с разрешения преподавателя.

8 ПОРЯДОК ВЫПОЛНЕНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ

В лабораторном стенде в качестве источника лазерного излучения применён лазерный модуль непрерывного режима работы с коллимированным пучком излучения малой расходимости, в видимом диапазоне, красного цвета (длина волны $\lambda = 650$ нм).

Лазерная установка работает от сети переменного тока напряжением 220 В. Стенд выполнен в виде самостоятельного прибора, настольного исполнения. Основные элементы стенда приведены на рис. 8.1.

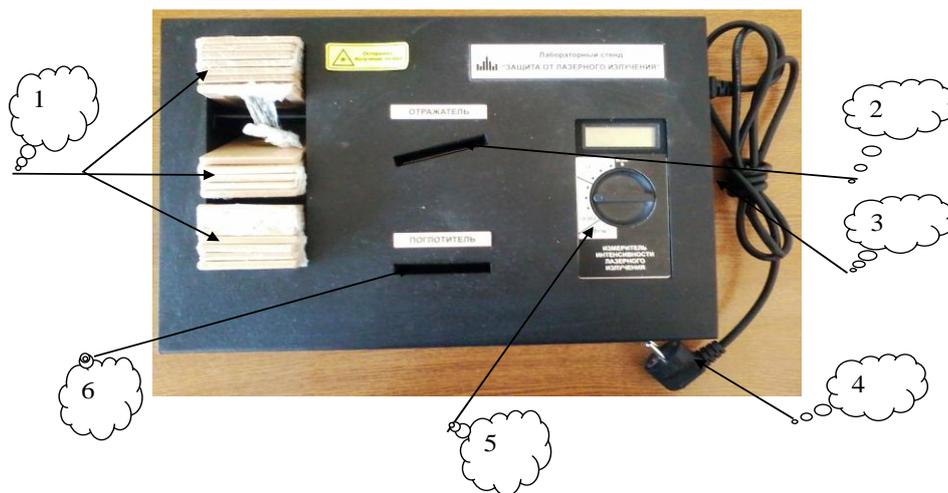


Рис. 8.1. Внешний вид лабораторного стенда: 1 – место хранения фильтров-поглотителей и отражателей; 2 – отверстие для установки отражателя; 3 – включатель-выключатель «Сеть»; 4 – кабель питания с вилкой; 5 – измеритель интенсивности лазерного излучения; 6 – отверстие для установки фильтра-поглотителя

Исследуемые в лабораторной работе фильтры-поглотители и отражатели лазерного излучения расположены в специальных местах хранения – позиция 1 на рис. 8.1.

Каждый поглотитель или отражатель помещается в специальный держатель, верхняя часть которого маркирована специальной меткой с отверстиями и вставляются в отверстие 2 или 6 (рис. 8.1).

Уровень лазерного излучения оценивается по показателям измерителя лазерного излучения (позиция 5 рис. 8.1).

Количество отверстий в верхней части держателя соответствует порядковому номеру исследуемого образца в таблицах 8.2-8.3.

8.1 Определение предельно допустимого уровня лазерного излучения

Для условий, заданных в табл. 8.1 определить ПДУ лазерного излучения для источника, установленного в лабораторном стенде.

Таблица 8.1.

Исходные данные для определения предельно допустимых уровней лазерного излучения

№ варианта	Вид излучения	Тип облучения	Облучаемая часть тела	Длительность воздействия лазерного излучения, t, с	
1	Непрерывное коллимированное	Хроническое	Органы зрения	1	
2		Однократное		Органы зрения	10
3					20
4					30
5					40
6					100
7					200
8					Хроническое
9		70			
10		100			
11		120			
12		150			
13		200			
14		500			
15					

8.2 Определение эффективности поглотителей

1. Ознакомиться с устройством и принципом работы лабораторного стенда.
2. Вставить отражатель «Тёмная матовая поверхность» (№ 18) в отверстие для фильтра-поглотителя (позиция 6 рис. 8.1).
3. Перевести переключатель «СЕТЬ» (позиция 3 рис. 8.1), расположенный на боковой стороне стенда, в положение «ВКЛ». Загорится индикатор.
4. Включить прибор, повернув переключатель диапазонов (позиция 5 рис. 8.1).
5. Последовательно, поворачивая переключатель диапазонов (позиция 5 рис. 8.1) от максимального к минимальному значению, определить значение от тёмного сигнала $E_{мс}$, Вт/м².
6. Вставить отражатель «Зеркало» (№ 11) в отверстие для отражателей (позиция 2 рис. 8.1).
7. Определить значение облучённости $E_{изм}$, Вт/м².
8. Рассчитать истинную облучённость по зависимости

$$E_{эм} = E_{изм} - E_{мс};$$
9. Полученный результат занести в табл. 8.2.
10. Вставить фильтр-поглотитель в отверстие для поглотителя (позиция 6 рис. 8.1).
11. Определить значение облучённости $E_{изм}$, Вт/м².
12. Рассчитать истинную облучённость по уравнению

$$E_{\text{погл}} = E_{\text{изм}} - E_{\text{тмс}};$$

полученный результат занести в табл. 8.2.

13. Заменить фильтр-поглотитель.

14. Повторить п.п. 8 и 9.

15. На основании полученных результатов выполнить расчёт эффективности поглощения лазерного излучения для каждого фильтра-поглотителя по выражению

$$\eta = \frac{E_{\text{эм}} - E_{\text{погл}}}{E_{\text{эм}}} \cdot 100 \% \quad (6)$$

16. По данным табл. 8.2 сравнить способности различных материалов поглощать лазерное излучение.

17. Вынуть фильтр-поглотитель из отверстия (позиция 6 рис. 8.1).

18. Возвратить все фильтры-поглотители на место хранения (позиция 1 рис. 8.1) в последовательности возрастания номеров (числа отверстий).

Таблица 8.2.

Эффективность поглотителей

№ поглотителя ²	Наименование поглотителя	Облучённость, E, Вт/м ²	Эффективность, η, %
(Зеркало № 11), E _{эм}	Без поглотителя		
1	Силикатное (оконное) стекло (толщина 2 мм)		
2	Оргстекло (толщина 3 мм)		
3	Светофильтр марки С3 (толщина 2,2 мм)		
4	Светофильтр марки С6 (толщина 2,7 мм)		
5	Тонкий пластик голубого цвета		
6	Тонкий пластик розового цвета		
7	Фотоплёнка засвеченная, проявленная		
8	Ткань тонкая хлопчатобумажная белого цвета		
9	Фотоплёнка незасвеченная, проявленная		
10	Тонкий пластик жёлтого цвета		

8.3 Определение отражающей способности различных поверхностей

1. Повторно провести измерения согласно подразделу 8.2 (п.п. 7 и 8).
2. Заменить отражатель.
3. Повторить измерения и расчёты согласно подразделу 8.2 (п.п. 7 и 8).
4. Полученный результат занести в табл. 8.3.
5. Определить коэффициент отражения материалов различного цвета и фактуры поверхности.

² Количество меток в верхней части держателя соответствует порядковому номеру исследуемого образца в таблице

Отражающая способность различных поверхностей

№ отражателя ³	Наименование отражателя	Характеристика поверхности	Облучённость, E, Вт/м ²	Коэффициент отражения, ρ
11	Зеркало	Полированная		
12	Пластина жестяная			
13	Пластина медная			
14	Стеклопакет	Матовая		
15	Белый пластик	Глянцевая		
16	Чёрный пластик			
17	Белый пластик	Матовая		
18	Чёрный пластик			
19	Кварцевое стекло (толщина 4 мм)	Глянцевая		

Отражающая способность различных поверхностей оценивается через облучённость приёмника лазерным излучением, отражённым от эталона-зеркала $E_{отр}^{эт}$.

Составить отношение интенсивностей и коэффициентов отражения, чтобы получить:

$$\frac{E_{отр}^{эт}}{E_{отр}^{обр}} = \frac{\rho_{эт}}{\rho_{обр}}, \quad (7)$$

Откуда

$$\rho_{обр} \cdot \frac{E_{отр}^{обр}}{E_{отр}^{эт}} = 0,92 \cdot \frac{E_{отр}^{обр}}{E_{отр}^{эт}}, \quad (8)$$

где – коэффициент отражения исследуемого образца;

$\rho_{эт}$ – коэффициент отражения эталона-зеркала ($\rho_{эт} = 0,92$).

6. На основании результатов расчёта сравнить способность различных материалов отражать лазерное излучение.

7. Выключить прибор, повернув выключатель диапазонов (позиция 5 рис. 8.1).

8. Отражатели лазерного излучения убрать на место хранения (позиция 1 рис. 8.1.) в порядке возрастания номеров (числа отверстий).

9. По окончании проведенных исследований и заполнения отчёта отключить «Сеть», кнопка которого расположена на боковой поверхности стенда (позиция 3 рис. 8.1).

³ Количество отверстий в верхней части держателя соответствует порядковому номеру исследуемого образца в таблице

9 Содержание отчёта

1. Описать цель и задачи выполняемой лабораторной работы.
2. Указать перечень применяемого оборудования для выполнения исследований, содержащихся в Указаниях.
3. Привести таблицы измерений и результаты проведенных расчётов.
4. Сделать выводы по работе.
5. Предложить методы защиты обслуживающего персонала.
6. Ответить на выбранный самостоятельно вопрос (Приложение П.2).

Приложения

Приложение П.1.

Глоссарий

АПЕРТУРА – отверстие в защитном корпусе лазера, через которое испускается лазерное излучение.

АПЕРТУРА ОГРАНИЧИВАЮЩАЯ – круглая диафрагма, ограничивающая поверхность, по которой проводится усреднение облучённости или энергетической экспозиции.

ДОЗИМЕТРИЧЕСКИЙ КОНТРОЛЬ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ – сопоставление результатов измерений или расчётов уровней лазерного излучения со значениями предельно-допустимых уровней.

ИЗЛУЧЕНИЕ ЛАЗЕРНОЕ КОЛЛИМИРОВАННОЕ – лазерное излучение, заключённое в ограниченном телесном угле.

ЛАЗЕР – источник электромагнитного излучения видимого, инфракрасного и ультрафиолетового диапазона, основанный на вынужденном излучении атомов и молекул.

МАЗЕР – квантовый генератор электромагнитного излучения в сантиметровом диапазоне, характеризующийся высокой монохроматичностью, когерентностью и узкой направленностью излучения, который применяется в радиосвязи, радиоастрономии, а также в качестве генератора стабильных частот.

ОБЛУЧЁННОСТЬ – физическая величина, одна из энергетических фотометрических величин [20]. Характеризует поверхностную плотность мощности излучения, падающего на поверхность.

ПРЕДЕЛЬНО-ДОПУСТИМЫЙ УРОВЕНЬ – законодательно утверждённая верхняя граница некоего воздействующего фактора, которая допускается при той или иной человеческой деятельности, как не приводящая к травмам или другим повреждениям организма [21].

Приложение П.2.
Контрольные вопросы

1. Для каких органов человека лазерное излучение особенно опасно и почему?
2. Расскажите об опасности для обслуживающего персонала при работе с лазером класса I.
3. Какая опасность подстерегает обслуживающий персонал при работе с лазером класса II?
4. В чём Вы видите опасность для обслуживающего персонала при работе с лазером класса III?
5. Какова опасность для обслуживающего персонала при работе с лазером класса IV?
6. Расскажите о нормируемых параметрах лазерного излучения.
7. Какие Вы знаете формы дозиметрического контроля лазерного излучения?
8. В чём заключается предупредительный контроль лазерного излучения, когда он проводится?
9. В чём заключается индивидуальный контроль лазерного излучения, когда он проводится?
10. Какие методы и средства коллективной защиты от лазерного излучения Вы знаете?
11. Какие средства индивидуальной защиты рекомендованы от воздействия лазерного излучения?
12. Что собой представляет апертура?
13. Какую роль выполняет ограничивающая апертура в устройстве лазера?
14. Расскажите о дозиметрическом контроле лазерного излучения.
15. Как называется лазерное излучение, заключённое в ограниченном телесном угле?
16. Что собой представляет лазер? Что означает его аббревиатура?
17. В чём отличие лазера от мазера?
18. Что такое облучённость и что она характеризует?
19. Что собой характеризует предельно-допустимый уровень?

Приложение П.3. Таблицы допустимых значений

Таблица 1. Допустимые пределы излучений для лазеров класса 1

Длина волны λ , нм	Допустимые пределы излучений										
	Единица измерения	Условие	При длительности излучения Δt , с								
			Меньше 10^{-9}	От 10^{-9} до 10^{-7}	От 10^{-7} до $1,8 \cdot 10^{-5}$	От $1,8 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$	От $5 \cdot 10^{-5}$ до 10	От 10 до 10^3	От 10^3 до 10^4	От 10^4 до $3 \cdot 10^4$	
От 200 до 302,5	мкДж	—	—	24							
	кВт	—	24	—							
От 302,5 до 315	мкДж	При $\Delta t \leq T_1$	—	$0,79C_1$							
	кВт	При $\Delta t > T_1$	—	$0,79C_2$							
От 315 до 400	мкДж	—	—	$0,79C_2$							
	кВт	—	24	—							
От 400 до 550*	мкДж	—	—	$0,79C_1$							
	кВт	—	24	—							
От 550 до 700*	Дж	При $\Delta t \leq T_2$	—	$10^3 C_{10}$							
	Дж/м ² ср	При $\Delta t > T_2$	—	$3,9C_3$							
	мкДж	—	—	$10^6 C_7$							
	мкДж/м ² ср	—	—	$2 \cdot 10^{-4}$	C_{10}	C_{10}	C_{10}	C_{10}	$3,9 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	—
От 700 до 1050*	Вт	—	200	—							
	Вт/м ² ср	—	10^{11}	—							
	Дж	—	—	$C_4 C_{10}$							
	Дж/м ² ср	—	—	$C_4 C_7$							
От 1050 до 1400*	кВт	—	0,2C ₄	—							
	кВт/м ² ср	—	$C_4 \cdot 10^8$	—							
	Дж	—	—	$2 \cdot 10^{-6}$							
	Дж/м ² ср	—	—	C_7							
От 1400 до 10 ⁵	Вт	—	$2 \cdot 10^3$	—							
	Вт/м ² ср	—	$5 \cdot 10^{11}$	—							
От 10 ⁵ до 10 ⁶	мкДж	—	—	80	$0,4C_9$						
	Вт	—	$8 \cdot 10^4$	—							
От 10 ⁵ до 10 ⁶	Дж	—	—	10^{-2}	$10^{-4} C_1$						
	Вт	—	10^7	—							

$C_1 = 5,6 \cdot 10^3 (\Delta t)^{0,25}$; $T_1 = 10^{0,8(\lambda - 295) - 15}$; * — Необходимы двойные пределы для класса 1.
 $C_2 = 10^{0,2(\lambda - 295)}$; $T_2 = 10^{1 + 0,02(\lambda - 550)}$;
 $C_3 = 10^{0,015(\lambda - 550)}$;
 $C_4 = 10^{(\lambda - 700)/500}$;
 $C_7 = 10^5 (\Delta t)^{0,33}$;
 $C_8 = 1,9 \cdot 10^4 (\Delta t)^{0,75}$;
 $C_9 = 1,1 \cdot 10^4 (\Delta t)^{0,25}$;
 $C_{10} = 7 \cdot 10^{-4} (\Delta t)^{0,75}$

Таблица 2. Допустимые предельные уровни для лазеров подкласса 3А

Длина волны λ , нм	Допустимые предельные уровни									
	Единица измерения	Условие	При длительности излучения Δt , с							
			$< 10^{-9}$	От 10^{-9} до 10^{-7}	От 10^{-7} до $1.8 \cdot 10^{-5}$	От $1.8 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$	От $5 \cdot 10^{-5}$ до 10	От 10 до 10^3	От 10^3 до 10^4	От 10^4 до $3 \cdot 10^4$
От 200 до 302,5*	мДж	—	0,12							
	Дж/м ²	—	30	30	30	30	30	30	30	
	МВт	—	0,12	—						
	ГВт/м ²	—	30	—						
От 302,5 до 315	мкДж	При $\Delta t \leq T_1$	4C ₁					—		
	мкДж	При $\Delta t > T_1$	4C ₂					—		
	мкДж	—	—					4C ₂		
	Дж/м ²	При $\Delta t \leq T_1$	C ₁					—		
	Дж/м ²	При $\Delta t > T_1$	C ₂					—		
	Дж/м ²	—	—					C ₂		
	МВт	—	0,12	—						
От 315 до 400	ГВт	—	1,2·10 ⁵	—					4·10 ⁻⁵	
	Вт/м ²	—	3·10 ¹⁰	—					10	
	мкДж	—	4C ₁					—		
	Дж/м ²	—	C ₁					10 ⁴	—	
От 400 до 700	Дж	—	10 ⁻⁶	5C ₁₀			—			
	Дж/м ²	—	5·10 ⁻³	C ₆			—			
	Вт	—	1000	—			5·10 ⁻³			
	Вт/м ²	—	5·10 ⁶	—			25**	25**		
От 700 до 1050	Дж	—	C ₄ 10 ⁶	5C ₄ C ₁₀				—		
	Дж/м ²	—	5·10 ⁻³ ·C ₄	C ₄ C ₆				—		
	Вт	—	10 ³ ·C ₄	—				6·10 ⁻⁴ ·C ₄		
	Вт/м ²	—	5·10 ⁶ C ₄	—				3,2C ₄		
От 1050 до 1400	мДж	—	0,01			C ₆			—	
	Дж/м ²	—	0,05			5C ₆			—	
	Вт	—	10 ⁴	—			3·10 ⁻³			
	Вт/м ²	—	5·10 ⁷	—			16			
От 1400 до 10 ⁵	мкДж	—	400	2C ₉				—		
	Дж/м ²	—	100	C ₁				—		
	Вт	—	4·10 ⁵	—			4·10 ⁻³			
	Вт/м ²	—	10 ¹¹	—			10 ³			
От 10 ⁵ до 10 ⁶	мДж	—	50	0,5C ₁				—		
	Дж/м ²	—	100	C ₁	C ₁	C ₁	C ₁	—		
	Вт	—	5·10 ⁷	—			0,5			
	Вт/м ²	—	10 ¹¹	—			10 ³			

$C_1=5,6 \cdot 10^3 (\Delta t)^{0,25}$; $T_1=10^{0,8(\lambda-295)-15}$;
 $C_2=10^{0,2(\lambda-295)}$; $T_2=10^{1+0,02(\lambda-550)}$;
 $C_4=10^{(\lambda-700)/500}$; $C_6=18 (\Delta t)^{0,75}$;
 $C_9=1,1 \cdot 10^4 (\Delta t)^{0,25}$;
 $C_{10}=7 \cdot 10^4 (\Delta t)^{0,5}$;
 * – Здесь и далее необходимы двойные пределы для класса 3А.
 ** – Естественная защитная реакция на излучение более 0,25 с.

Таблица 3.

Предельно допустимые уровни для лазеров подкласса 3Б

Длина Волны λ , нм	Предельно допустимые уровни											
	Единица измерения	Условие	При длительности излучения Δt , с									
			$< 10^{-9}$	От 10^{-9} до 10^{-7}	От 10^{-7} до $1,8 \cdot 10^{-5}$	От $1,8 \cdot 10^{-5}$ до $5 \cdot 10^{-5}$	От $5 \cdot 10^{-5}$ до 10	От 10 до 10^3	От 10^3 до 10^4	От 10^4 до $3 \cdot 10^4$		
От 200 до 302,5	мкДж	—	24									
	кВт	—	24	—								
От 302,5 до 315	мкДж	При $\Delta t \leq T_1$	0,79C ₁				—					
	мкДж	При $\Delta t > T_1$	—	0,79C ₂				—				
	мкДж	—	—				0,79C ₂					
	кВт		24									
От 315 до 400	кВт	—	24	—				7,9·10 ⁻⁹				
	мкДж		—	0,79C ₁				7,9·10 ³	—			
От 400 до 550*	Дж	—	—	21·10 ⁴	C ₁₀			3,9·10 ⁻³			—	
	Дж/м ² ср		C ₇				2,1·10 ⁵					
	Вт		200	—								3,9·10 ⁻⁷
	Вт/м ² ср		10 ¹¹	—								21
От 550 до 700*	мДж и Дж/м ² ср	При $\Delta t \leq T_2$	—				10 ³ C ₁₀				—	
	мДж	При $\Delta t > T_2$	—				3,9C ₃					
	мДж/м ² ср	—	—	10 ⁻⁶ C ₇			—					
	мДж и Дж/м ² ср		2·10 ⁻⁴	10 ³ C ₁₀		2·10 ⁻⁴		—				
	мкВт		200	—				—				
	Вт/м ²		10 ¹¹	—								0,39·10 ⁻⁶ ·C ₃
От 700 до 1050*	Дж	—	2C ₄ 10 ⁷			C ₄ C ₁₀				21C ₃		
	Дж/м ² ср		—	C ₄ C ₇	C ₄ C ₇	C ₄ C ₇	C ₄ C ₇	2C ₄ C ₈		—		
	кВт		0,2C ₄	—				12C ₄				
	кВт/м ² ср		C ₄ ·10 ⁸	—				6,4C ₄				
От 1050 до 1400*	Дж	—	2·10 ⁻⁶			5C ₁₀				—		
	Дж/м ² ср		—	C ₇				—				
	Вт		2·10 ³	—				6·10 ⁴				
	Вт/м ² ср		5·10 ¹¹	—				3,2·10 ⁴				
От 1400 до 10 ⁵	мкДж	—	—	80	0,4C ₉			—				
	Вт		8·10 ⁴	—				8·10 ⁻⁴				
От 10 ⁵ до 10 ⁶	Дж	—	—	10 ⁻²	10 ⁻⁴ C ₁			—				
	Вт		10 ⁷	—				0,1				

Очки для защиты от лазерного излучения

Марка очков	Марка светофильтров	Диапазон защиты, нм	Оптическая плотность
ЗН22-72-СЗС22	СЗС22	630-680	3
		680-1200	6
		1200-1400	3
630-680		6	
680-1200			
1200-1400			
ЗНД4-72-СЗС22-СС2-1	ОС23-1	400-530	6
ЗН62-Л17	Л17	600-110	4
		530	2
ЗН62-ОЖ	ОЖ	200-510	3

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- ¹ Фёдоров, Б.Ф. Лазеры. Основы устройства и применение / Б.Ф. Федоров. – М. : ДОСААФ, 1988. – 190 с.
- ² Защита от лазерного излучения. Методические рекомендации по выполнению лабораторных работ. – Челябинск : ООО НПП «Учтех-Профи», 2013. – 23 с.
- ³ Бурно, М. Игры, в которые мы играем сами с собой [Текст] // Физкультура и спорт, № 7, 1997.
- ⁴ Санитарные нормы и правила устройства и эксплуатации лазеров № 5804-91.
- ⁵ ГОСТ 12.1.040-83. ССБТ. Лазерная безопасность. Общие положения.
- ⁶ ГОСТ 12.2.007.0-75. ССБТ. Изделия электротехнические. Общие требования безопасности.
- ⁷ ГОСТ 12.1.005-88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
- ⁸ ГОСТ 12.1.050-86. ССБТ. Методы измерения шума на рабочих местах.
- ⁹ ГОСТ 12.1.001-89. ССБТ. Ультразвук. Общие требования безопасности.
- ¹⁰ ГОСТ 12.1.003-83. ССБТ. Шум. Общие требования безопасности.
- ¹¹ СанПиН 2.1.2.2645-2010. Об утверждении СанПиН 2.1.2.2645-10 (с изменениями и дополнениям). Приложение. Санитарно-эпидемиологические требования к условиям проживания в жилых зданиях и помещениях. Постановление Главного государственного врача РФ от 27.12.2010. Зарегистрировано в Минюсте РФ 15.07.2010.
- ¹² СН 2.1.8.566-96. Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданиях. Утверждены и введены в действие Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.11.1996. № 40.
- ¹³ СН 2.2.4.2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых и общественных зданиях и на территории жилой застройки. Утверждены введены в действие Постановлением Госкомсанэпиднадзора РФ от 31.11.1996. № 36.
- ¹⁴ СанПиН 2.2.4. 548-96. гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
- ¹⁵ <http://www.normodocs.com> – Стандарт .IEC-825.
- ¹⁶ ГОСТ Р 50723-94. Лазерная безопасность. Общие требования безопасности при разработке и эксплуатации лазерных изделий. – М. : Издательство стандартов, 1995. – 34 с.
- ¹⁷ Сафонов, А.Н. Технологическое оборудование и материалы. № 5, май, 2000. – 25 с.
- ¹⁸ Методическими указаниями по проведению дозиметрического контроля и гигиенической оценки лазерного излучения. Утверждены 28.12.1990 № 5309-90.
- ¹⁹ ГОСТ 12.4026.2001. ССБТ. Цвета сигнальные и знаки безопасности.
- ²⁰ ГОСТ 26148-84. Фотометрия. Термины и определения.
- ²¹ Википедия. Толкования.

Учебное издание

**ИССЛЕДОВАНИЕ ОПАСНОСТИ ПОРАЖЕНИЯ ЧЕЛОВЕКА
ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ
И ВЫБОР МЕТОДОВ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ**

Методические указания

Составители: *Несоленов Геннадий Федорович,
Свидерский Олег Алексеевич*

Самарский государственный аэрокосмический университет
имени академика С.П.Королева
443086 Самара, Московское шоссе, 34
