

Министерство образования Республики Беларусь
Учреждение образования
«Белорусский государственный университет
информатики и радиоэлектроники»
Кафедра инженерной психологии и эргономики

УДК 621.373.8

КАРАГАНОВ

Кирилл Васильевич

УПРАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание академической степени
магистра техники и технологии

по специальности 1–59 81 01

Управление безопасностью производственных процессов

Минск 2017

Работа выполнена на кафедре инженерной психологии и эргономики учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники»

Научный руководитель:

Андруш Виталий Григорьевич,
кандидат технических наук, доцент («Белорусский государственный аграрный технический университет», Инженерно-технологический факультет, кафедра «Управление охраной труда»)

Рецензент:

Ткачева Людмила Тимофеевна,
кандидат технических наук, доцент (Белорусский государственный аграрный технический университет», Инженерно-технологический факультет, кафедра «Управление охраной труда»)

Защита диссертации состоится «23» января 2017 г. года в 10⁰⁰ часов на заседании Государственной комиссии по защите магистерских диссертаций в учреждении образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники» по адресу: 220013, г. Минск, ул. П. Бровки, 4, 2 уч. корп., ауд. 611, тел.: 293-88-24, e-mail: kafipie@bsuir.by.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке учреждения образования «Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники».

ВВЕДЕНИЕ

Современная промышленность активно использует последние достижения в физике и технике. Это в полной мере относится и к успехам науки в области лазерной физики и техники. Понятие "лазер" прочно вошло в современный обиход, хотя и прошло немного лет со дня создания первых лабораторных образцов этих приборов.

Уникальные свойства лазера способствуют выполнению большого количества операций над материалами, и в свою очередь, представляют высокую опасность поражения органов зрения человека. Лазерное излучение обладает высокой энергией, которая способна вызвать в тканях организма тепловые, фотохимические, ударно-акустические и другие эффекты. Высокая мощность лазерного излучения может привести к поражению ткани за короткий промежуток времени. Плотность энергии излучения достигает высоких, поражающих значений посредством малого размера пучка. Пучок, распространяясь, изменяется незначительно в силу небольшой расходимости, соответственно, присутствует риск поражения даже на большом расстоянии. Причём, в случае распространения невидимого излучения, наличие опасности может быть неочевидно, и даже видимое излучение будет заметно в воздухе лишь при наличии взвешенных частиц. Характер повреждения биоткани зависит от параметров излучения, площади облученного участка, а также от биологических и физико-химических особенностей облучаемых тканей и органов. Человеку может угрожать опасное повышение внутриглазного давления, повреждение сред глаза. Например, лазерное излучение с длиной волны от 380 до 1400 нм наибольшую опасность несет для сетчатки глаза, а излучение с длиной волны от 180 до 380 нм и свыше 1400 нм – для передних сред глаза.

Согласно требованиям СанПиН 2.2.4.13–2–2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий» при работе с лазерным излучением предусмотрено использование защитных очков,

лицевых щитков и насадок, защитной спецодежды, наличие предупреждающих надписей и опознавательных знаков, проведение медицинского осмотра персонала, применение средств дозиметрического контроля, наличие устройств сигнализации и блокировки, прерывающих работу излучателя в случае опасности. Все части лазерных технологических установок по возможности помещаются в защитный корпус (кожух). В данной работе проведён расчёт ПДУ энергетической экспозиции рассеянного и отраженного лазерного излучения, рассчитаны границы лазерно-опасных зон, а также даны рекомендации о средствах защиты глаз. Для того чтобы рассчитать эти условия безопасности использовались параметры, указанные в технической документации лазеров: длина волны излучения, расходимость излучения, диаметр пучка на выходе из лазера, мощность (при непрерывном режиме работы), энергия в импульсе, частота следования и длительность импульсов (при импульсном режиме работы).

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Поскольку в настоящее время современная промышленность всё более активно использует последние достижения науки и техники в области лазерных излучений, способных вызвать в тканях живых организмов тепловые, фотохимические, ударно-акустические и другие эффекты, вместе с этим фактом становится необходимым и дальнейшее совершенствование методов, обеспечивающих условия безопасной эксплуатации такого рода установок.

В диссертационном исследовании мы предприняли попытку при помощи применения математических и инструментальных методов и средств рассчитать параметры лазерного излучения, лазерно-опасной зоны и предельно допустимых уровней излучения, возникающих при работе с лазерными установками.

Соблюдение определенных в диссертационном исследовании параметров для предстоящей работы с лазерными установками позволит снизить риски ущерба для здоровья опасных факторов, вызываемых данными излучениями.

Область исследования. Содержание диссертационной работы соответствует образовательному стандарту высшего образования второй ступени (магистратуры) специальности 1–59 81 01 «Управление безопасностью производственных процессов».

Объектом исследования в диссертации является безопасность работы с лазерными установками.

Предмет исследования – методы и способы расчета ПДУ энергетической экспозиции рассеянного и отраженного лазерного излучения, расчет границы ЛОЗ, рекомендации о защите глаз при работе с лазерным оборудованием.

Степень разработанности проблемы. Анализ современной научной литературы показывает, что проблема безопасной эксплуатации лазерных установок освещена в большом количестве публикаций. Этой теме посвящены работы таких специалистов, как К.Г. Фолин, К.Г. Достанко, Н.Д. Девятков, С.М. Зубкова, И.Б. Лапрун, Н.С.Макеева, В.П. Вейко, А.И. Сербин, Ю.М. Климов, А.И. Кириллов, Б.Н. Рахманов, Е.Д. Чистов, А.Е. Пушкарева, А.И. Кириллов, В.Ф. Морсков, Н.Д. Устинов и др.

Но поскольку развитие техники не стоит на месте, в современном мире всё более актуальной становится проблема разработки и совершенствования технических, информационных и организационных методов и средств обеспечения безопасности эксплуатации технически сложных и опасных устано-

вок, использующих лазерное излучение.

Целями диссертационного исследования являются: ознакомление с общими теоретическими вопросами безопасности при работе с лазерным оборудованием; проработка мер безопасности при работе с лазерным оборудованием; получение практических расчетов по предельно допустимым уровням лазерно-опасных зон.

Для достижения поставленных целей были поставлены основные **задачи**:

1. Осветить общие теоретические вопросы устройства и принципа работы лазерного оборудования, способы защиты персонала от негативных факторов, возникающих в процессе управления лазерным оборудованием.
2. Выполнить математические расчеты параметров воздействия отраженного и рассеянного лазерного излучения на органы зрения.

Теоретическая и методологическая основа исследования.

Методологической основой исследования послужили: методика определение предельно допустимых уровней облучения и расчет границ лазерно-опасных зон В.П. Вейко и А.И. Сербина, методы математического моделирования в оптике биоткани А.Е. Пушкарева, методы модуляции и сканирования света Е.Р. Мустель и В.Н. Парыгина, методы статистической физики и физической кинетики Л.Д. Ландау и Е.М. Лифшица, математическая теория горения и взрыва Я.Б. Зельдович и др.

Информационная база основана на технических характеристиках и статистических данных, полученных с помощью лазерной установки LS-2136LP компании "LOTIS TII".

Научная новизна заключается в получении расчетов, применение которых в дальнейшем сможет помочь в создании единого программного обеспечения, учитывающего параметры установок и дополнительных условий облучения для быстрого расчета предельно допустимых уровней излучения, лазерно-опасной зоны и разработке рекомендаций по применению средств защиты.

Основные положения, выносимые на защиту.

1. Проведены расчёты допустимых и наблюдаемых параметров лазерного излучения на примере установки LS-2136LP компании "LOTIS TII", определены границы лазерно-опасной зоны. В расчётах были использованы параметры, указанные в технической документации лазеров: длина волны излучения, расходимость излучения, диаметр пучка на выходе из лазера, мощность (при импульсном режиме работы), энергия в импульсе, частота следования и длительность импульсов.

2. Обоснованы выводы об опасности данной установки на основании требований СанПиН 2.2.4 –13–2–2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий».

3. На основании расчетов сформированы выводы о возможности и спо-

собах применения средств защиты для персонала.

4. Произведенные в работе расчеты в дальнейшем смогут помочь в создании единого программного обеспечения, учитывающего параметры установок и дополнительных условий облучения, для быстрого расчета предельно допустимых уровней излучения, лазерно-опасной зоны и рекомендациями по применению средств защиты.

Теоретическая значимость диссертации заключается в собрании воедино большого количества методического материала, позволяющего быстро и максимально точно проводить расчёты параметров воздействия лазерного излучения на органы зрения человека.

Практическая значимость. Соблюдение определенных в диссертационном исследовании параметров для предстоящей работы с лазерными установками позволит снизить риски ущерба для здоровья опасных факторов, вызываемых данными излучениями.

Опубликованность результатов диссертации. Основные положения диссертационного исследования обсуждены на заседаниях кафедры инженерной психологии и эргономики БГУИР, на 51-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР (авторский объем 2 страницы).

Область применения. Результаты исследования дают возможность специалистам по управлению безопасностью технологических процессов обеспечить соблюдение безопасных параметров эксплуатации лазерной установки LS-2136LP компании "LOTIS ТП".

Структура и объем работы. Структура диссертационной работы обусловлена логикой проведения исследования. Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырёх глав с выводами по каждой главе, заключения, библиографического списка.

Полный объем диссертационной работы составляет 60 страниц, включая 7 иллюстраций, 14 таблиц и 30 источников.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** рассматриваются общие аспекты уникальных свойств лазера и высокой опасности поражения жизненно важных органов человека в процессе эксплуатации лазерных установок, дается аннотация результатов представляемой диссертационной работы.

В **общей характеристике работы** определены объект и предмет исследования, обозначены цели и задачи исследования, а также информируется о публикационной активности соискателя.

В **первой главе** «Особенности и принцип действия лазерного излучения в современном научно-техническом прогрессе» рассмотрены основные понятия, свойства и характеристики лазерного излучения. Приводится принципиальная схема лазерной установки (Рисунок 1.)

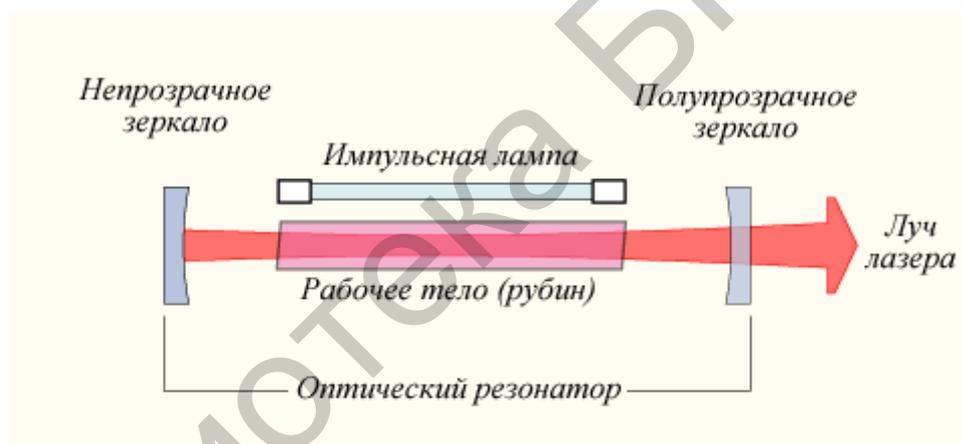


Рисунок 1. Схема устройства лазера

В данной главе приводится перечень твердотельных лазеров включающий в себя: неодимовый, рубиновый, александритовый, эрбиевый, гольмиевый; перечень газовых лазеров: аргоновый, эксимерный, на парах меди; перечень жидкостных: лазеры, которые работают на растворах красителей. Освещаются аспекты применения лазеров в офтальмохирургии, подробно рассматриваются важнейшие свойства лазерного излучения: монохроматичность, когерентность, направленность, поляризация; основные физические характеристики дозирования: мощность излучения, энергия (доза) и плотность дозы. Рассматривается использование лазерного излучения в различных сферах науки и техники. В частности: лазерная локация (наземная, бортовая, подводная), лазерная связь, лазерные навигационные системы, лазерное оружие, лазерные системы ПРО и ПКО, которые создаются в рамках

стратегической оборонной инициативы. Основной акцент делается на применении лазерного излучения в медицине в двух основных направлениях – использование лазерного излучения в качестве инструмента исследования и в качестве инструмента воздействия на биологические объекты.

В данной главе была достигнута и выполнена одна из основных целей магистерской диссертации - ознакомление с общими теоретическими вопросами безопасности при работе с лазерным оборудованием.

Во **второй главе** «Взаимодействие лазерного излучения с биотканями» были рассмотрены различные опасные и вредные факторы при работе человека с лазерным оборудованием, перечислены основные средства индивидуальной защиты. Рассмотрены основные законы и модели взаимодействия лазерного излучения и тканей глаза (Рисунок 2.).

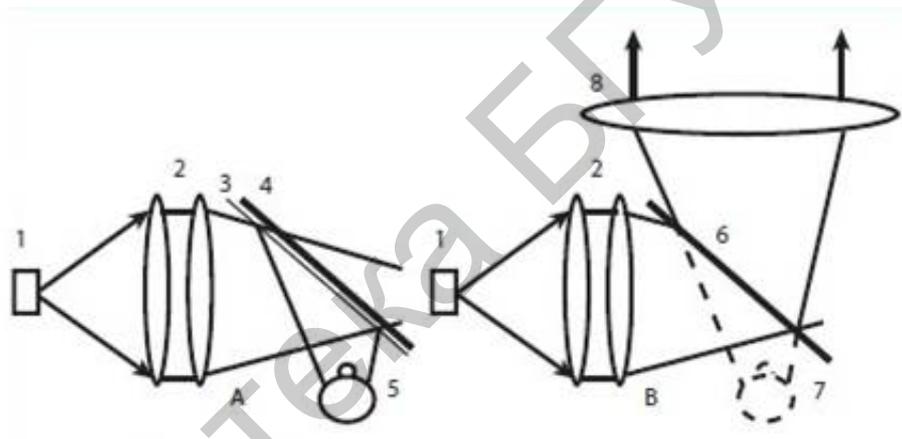


Рисунок 2. Принципиальные схемы регистрации голограмм глаза (А) и восстановления голографического изображения (В)

где:

- 1 – импульсный лазер,
- 2 – коллимирующая система,
- 3 – полупрозрачный делитель,
- 4 – голографическая пластина,
- 5 – глаз, 6 – голограмма,
- 7 – восстановленное изображение глаза,
- 8 – входной объектив диагностической системы

Представлены формулы для расчета оптической плотности светофильтров, используемых в защитных щитках, очках и накладках для различной длины волны лазерного излучения. Рассмотрены методы оптической голографии в их применении в офтальмологии.

В третьей главе «Методика расчетов параметров лазерного излучения» приведены соотношения энергетических и пространственных параметров лазерного пучка (Рисунок 3.);

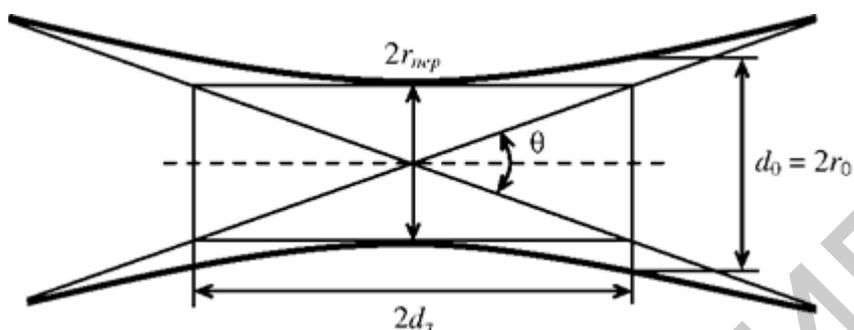


Рисунок 3. Основные пространственные параметры гауссова пучка

параметры лазерного пучка, преобразованного оптической системой. Опасные отражения могут возникать и от поверхностей последующих элементов оптической системы. Возможные преобразования пучков излучения при отражении от сферических поверхностей представлены на рисунке 4.

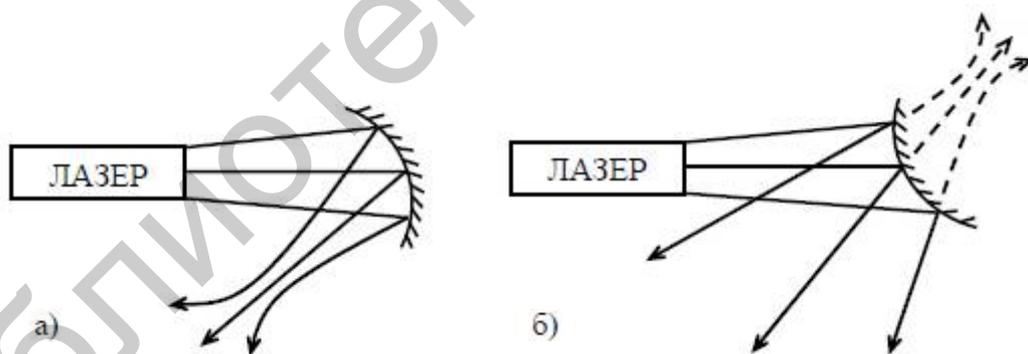


Рисунок 4. Отражение гауссова пучка лазерного излучения от вогнутой (а) и выпуклой (б) сферических зеркальных поверхностей

Расчёт предельно допустимого уровня лазерного излучения при воздействии на человеческий глаз и расчет границы лазерно-опасной зоны для жизнедеятельности человека сопровождаются в тексте диссертационной работы подробными данными СанПиН 2.2.4 –13–2–2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий», диапазонов длин волн, таблиц соотношений для определения расчетных параметров, предельных однократных суточных доз при облучении глаз лазерным излучением.

Для источника с равномерным распределением энергетической светимости уравнение, определяющее границу ЛОЗ, имеет вид:

$$R(\theta) = r \left[-\cos 2\theta + \sqrt{\cos^2 2\theta + \frac{(U^2 - 1) \cdot (U^2 \cos^2 \theta - \sin^2 \theta)}{U^2 - \sin^2 \theta}} \right]^{1/2} \quad (1)$$

где θ – угол между нормалью к поверхности источника и направлением на рассматриваемую точку пространства;

r – радиус пучка излучения, см;

U – безразмерный параметр, вычисляемый по формулам в зависимости от длины волны.

В четвертой главе «Расчет параметров и предельно допустимого уровня лазерного излучения на органы зрения» проводится математический расчет параметров лазерного излучения на примере установки LS-2136LP компании "LOTIS ТП" с подстановкой в формулы данных по конкретной лазерной установке, поправочных коэффициентов в зависимости от длительности импульсов и длины волны излучения.

Расчет границы лазерно-опасной зоны проводим по формуле (2):

$$R(\theta) = r \cdot \sqrt{U_p \cdot \cos \theta} = 0,05 \cdot \sqrt{3,7 \cdot 10^6 \cdot \cos \theta} = 9,6 \cdot 10^2 \sqrt{\cos \theta}$$

Максимальный размер границы ЛОЗ равен 9,6 м.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Было собрано воедино большое количество методического материала, позволяющего быстро и максимально точно проводить расчёты параметров воздействия лазерного излучения на органы зрения человека.

2. Были проведены расчёты допустимых и наблюдаемых параметров лазерного излучения на примере установки LS-2136LP компании "LOTIS ТП", определены границы лазерно-опасной зоны. В расчётах были использованы параметры, указанные в технической документации лазеров: длина волны излучения, расходимость излучения, диаметр пучка на выходе из лазера, мощность (при импульсном режиме работы), энергия в импульсе, частота следования и длительность импульсов.

3. Были сделаны выводы об опасности данной установки на основании требований СанПиН 2.2.4 –13–2–2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий».

4. На основании расчетов были сделаны выводы о возможности и способах применения средств защиты для персонала.

5. Данные расчеты в дальнейшем могут помочь в создании единого программного обеспечения, учитывающего параметры установок и дополнительных условий облучения, для быстрого расчета предельно допустимых уровней излучения, лазерно-опасной зоны и рекомендациями по применению средств защиты.

Таким образом, можно заключить, что поставленные цели исследования достигнуты, а задачи выполнены успешно.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

[1-А] Караганов, К.В. Управление лазерным оборудованием / К.В. Караганов // 51-я научная конференция аспирантов, магистрантов и студентов БГУИР: сб. докладов. – Мн.: БГУИР, – 2015. – С.152– 153.

Библиотека БГУИР

РЕЗЮМЕ

Караганов

Кирилл Васильевич

УПРАВЛЕНИЕ ЛАЗЕРНЫМ ОБОРУДОВАНИЕМ

Ключевые слова: лазерное излучение, безопасность, энергетическая экспозиция, доза излучения, биологический эффект светового облучения, средства защиты глаз и лица, функция Гаусса, лазерно-опасная зона, предельно допустимый уровень облучения.

Цель исследования: ознакомление с общими теоретическими вопросами безопасности и проработка мер безопасности при работе с лазерным оборудованием, а также проведение на этой основе практических расчетов по лазерно-опасной зоне, предельно допустимому уровню облучения.

Полученные результаты и их новизна:

1. В результате анализа научной литературы определены особенности и принцип действия лазерного излучения в современном научно-техническом прогрессе, обобщены свойства и основные характеристики лазерного излучения, проанализировано использование лазерного излучения в различных сферах науки, техники и медицины.

2. Проведен обзор особенностей взаимодействия лазерного излучения с биотканями, проанализированы основные законы и модели взаимодействия лазерного излучения и тканей глаза, глубина проникновения лазерного излучения в биоткани. Изучены аспекты возможной опасности, возникающей при работе с лазерным излучением.

3. Выявлены соотношения энергетических и пространственных параметров лазерного пучка. Рассмотрены принципы расчёта предельно допустимого уровня лазерного излучения при воздействии на человеческий глаз и расчета границы лазерно-опасной зоны для жизнедеятельности человека. На основании расчетов были сделаны выводы о возможности и способах применения средств защиты для персонала.

4. Проведен математический расчет параметров и предельно допустимых уровней лазерного излучения на органы зрения и лазерно-опасной зоны для жизнедеятельности человека на примере установки "LOTIS ТП". В результате чего были сделаны выводы о величине опасности данной установки

на основании требований СанПиН 2.2.4 –13–2–2006 «Лазерное излучение и гигиенические требования при эксплуатации лазерных изделий» .

Область применения: Проведенные расчеты будут являться основой для создания единого программного обеспечения, учитывающего параметры установок и дополнительных условий облучения, для быстрого расчета предельно допустимых уровней излучения, лазерно-опасной зоны и рекомендациями по применению средств защиты.

Библиотека БГУИР

РЭЗІЮМЭ

Караганаў

Кірыла Васільевіч

КІРАВАННЕ ЛАЗЕРНЫМ АБСТАЛЯВАННЕМ

Ключавыя словы: лазернае выпраменьванне, бяспека, энергетычная экспазіцыя, доза выпраменьвання, біялагічны эфект светлавога апраменьвання, сродкі абароны вачэй і твару, функцыя Гаўса, лазерна-небяспечная зона, прэслушна дапушчальны ўзровень апраменьвання.

Мэта даследавання: азнаямленне з агульнымі тэарэтычнымі пытаннямі бяспекі і прапрацоўка мер бяспекі пры працы з лазерным абсталяваннем, а таксама правядзенне на гэтай аснове практычных разлікаў па лазерна-небяспечнай зоне, гранічна дапушчальным узроўні апраменьвання.

Атрыманыя вынікі і іх навізна:

1. У выніку аналізу навуковай літаратуры вызначаны асаблівасці і прынцып дзеяння лазернага выпраменьвання ў сучасным навукова-тэхнічным прагрэсе, абагульнены ўласцівасці і асноўныя характарыстыкі лазернага излучання, прааналізавана выкарыстанне лазернага выпраменьвання ў розных сферах навукі, тэхнікі і медыцыны.

2. Праведзены агляд асаблівасцяў ўзаемадзеяння лазернага выпраменьвання з біотканямі, прааналізаваны асноўныя законы і мадэлі ўзаемадзеяння лазернага выпраменьвання і тканак вочы, глыбіня пранікнення лазернага выпраменьвання ў біоткани. Вывучаны аспекты магчымай небяспекі, якая ўзнікае пры працы з лазерным выпраменьваннем.

3. Выяўлены суадносін энергетычных і прасторавых параметраў лазернага пучка. Разгледжаны прынцыпы разліку гранічна дапушчальнага ўзроўню лазернага выпраменьвання пры ўздзеянні на чалавечае вока і разліку мяжы лазерна-небяспечнай зоны для жыццядзейнасці чалавека. На падставе разлікаў былі зроблены высновы аб магчымасці і спосабах прымянення сродкаў абароны для персаналу.

4. Праведзены матэматычны разлік параметраў і гранічна

дапушчальных узроўняў лазернага выпраменьвання на органы гледжання і лазерна-небяспечнай зоны для жыццядзейнасці чалавека на прыкладзе ўстаноўкі "LOTIS ТІІ". У выніку чаго былі зроблены высновы аб велічыні небяспекі дадзенай ўстаноўкі на падставе патрабаванняў СанПіН 2.2.4 -13-2-2006 «Лазернае выпраменьванне і гігіенічныя патрабаванні пры эксплуатацыі лазерных вырабаў».

Вобласць ужывання: Праведзеныя разлікі будуць з'яўляцца асновай для стварэння адзінага праграмнага забеспячэння, які ўлічвае параметры устаноўак і дадатковых умоў апраменьвання, для хуткага разліку гранічна дапушчальных узроўняў выпраменьвання, лазерна-небяспечнай зоны і рэкамендацыямі па ўжыванні сродкаў абароны.

Бібліятэка БГУМР

SUMMARY

Karaganov

Kirill Vasilyevich

THE CONTROL OF THE LASER EQUIPMENT

Keywords: laser radiation, safety, energy exposition, radiation dose, biological effect of light radiation, eye protection and person, Gauss's function, laser danger area, maximum permissible level of radiation.

Research aim: the acquaintance with general theoretical safety issues and study of security measures during the work with the laser equipment, and also carrying out on this basis of practical calculations for the laser danger area, maximum permissible level of radiation.

The results and novelty:

1. In an analysis result of the scientific literature features and the principle of action of the laser radiation in modern scientific and technical progress are determined, properties and the main characteristics of the laser radiation are generalized, use of the laser radiation in various spheres of the science, the equipment and medicine is analysed.

2. The overview of the features of interaction of the laser radiation with biofabrics is carried out, fundamental laws and models of interaction of the laser radiation and tissues of an eye, a penetration depth of the laser radiation in biofabric are analysed. The aspects of the possible danger arising during the work with laser radiation are studied.

3. The ratios of the energy and spatial parameters of a laser bunch are revealed. Calculation principles of maximum permissible level of the laser radiation in case of impact on a human eye are considered and calculation of border of the laser danger area for activity of the person. Based on the calculations conclusions were drawn on an opportunity and methods of application of the remedies for personnel.

4. The mathematical calculation of parameters and maximum permissible levels of the laser radiation on organs of vision and the laser danger area for activi-

ty of the person on the example of the LOTIS TII installation is carried out. Therefore conclusions on the size of danger of this installation based on requirements the СанПиН 2.2.4 –13–2–2006 "The laser radiation and hygienic requirements in case of the operation of laser products" were drawn.

Application area: The carried-out calculations will be a basis for creation of the single software considering parameters of installations and additional terms and conditions of radiation for the fast calculation of maximum permissible levels of the radiation, the laser danger area and recommendations about the application of remedies.

Библиотека БГУИР