Министерство образования и науки Российской Федерации

Набережночелнинский филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ»

Кафедра лазерных и аддитивных технологий

МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ

Технологическое оборудование лазерной обработки

Индекс по учебному плану: **Б1.В.13**
Направление подготовки: **15.03.05 Конструкторско-технологическое обеспечение машиностроительных производств**
Квалификация: **бакалавр**
Профиль подготовки: **Технологии, оборудование и автоматизация машиностроительных производств**
Вид(ы) профессиональной деятельности: **производственно-технологическая**

Набережные Челны
2017 г.

Содержание

Практическое занятие №1. Информация и определения. Длина волны, частотный спектр и лазерный луч. Оптическая система 4
Практическое занятие №2. Мощностные характеристики. Особенности и преимущества СО2-лазера. Резонаторы и особенности формирования волны СО2-лазера 5
Практическое занятие №3. СО2-лазеры повышенной мощности. Охлаждение СО2-лазера. Применение СО2-лазеров 7
Практическое занятие №4. Устройство и принцип работы волоконных технологических лазеров 9
Практическое занятие №5. Состав и строение волокна. Накачка. Конструкция и принцип работы 13
Практическое занятие №6. Достоинства и недостатки волоконных лазеров. Сферы применения. Промышленные волоконные лазеры 15
Практическое занятие №7. Структура лазерного технологического комплекса. 17
Практическое занятие №8. Автоматизация процесса лазерной резки. Технологическое оснащение лазерных комплексов для резки 19
Практическое занятие №9. Лазерное технологическое оборудование. Примеры использования лазерной резки в производстве 21
Учебно-методическое обеспечение дисциплины 23
Основная литература 23
Дополнительная литература 23
Методическая литература к выполнению практических работ 23
Информационное обеспечение дисциплины 23
Методические рекомендации по работе с литературными источниками 24
Методические рекомендации по подготовке к устному опросу 24

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №1

CO2 Лазер - углекислотный лазер, лазер с активной средой на углекислом газе: молекулярный лазер, активной средой которого являются молекулярные газы.

Основой принципа работы CO2 лазера - является передача энергии накачки при помощи молекул Азота N2 к молекулам газа CO2. Данный принцип основан на свойстве переходов между колебательными и вращательными уровнями молекулы CO2. Молекулы Азота N2, в свою очередь, под давлением в несколько десятков тысяч Па (Паскаль), возбуждаются электронами электрического разряда в газовой среде, смеси из газов CO2N2He.

Газовая смесь может иметь различные пропорции, в зависимости от специфики задач и применения CO2 лазера.

Накачка газовой смеси в CO2 лазерах может осуществляться различными типами разрядов:

1. Самостоятельным разрядом при помощи электродов, которые расположены непосредственно в емкости с газом, когда накачка осуществляется постоянным током (DC) .

2. Высокочастотным электромагнитным излучением (RF).

Накачка CO2 лазеров при помощи ВЧ электромагнитного излучения имеет ряд преимуществ:

- Отсутствует износ электродов, что обеспечивает более продолжительный срок службы CO2 лазеров, так как не требуется замена данных электродов
- Возбуждение среды происходит равномерно и однородно, что обуславливает более стабильные характеристики CO2 лазера в различных диапазонах мощности;
- Возможность установки уровня мощности ВЧ электромагнитного разряда, за счет изменения длительности импульса
- Импульсный режим позволяет регулировать как длительность импульса, так и частоту задержки импульсов, что позволяет осуществлять различные режимы работы для CO2 лазеров, расширяя возможности и применение CO2 лазерных установок.

Активная среда углекислотного лазера представляет собой газообразную смесь CO2, Азота (N2), Гелия (He). Используются и другие комбинации газов, обусловленные спецификой применения и/или определенными требованиями по характеристикам для CO2 лазеров: в смесь газов добавляют Водород (H2) или Ксенон (Xe). Пропорции газов в газовой смеси CO2 лазеров зависят от конкретных требований к характеристикам лазерного луча, однако концентрация CO2 и N2 в активной среде лазера стотсавляет обычно 5-20%.

Из всех существующих лазеров, CO2 лазеры длительного действия - наиболее мощны. КПД CO2 лазера может достигать 20% (отдельные образцы CO2 лазеров могут достигать КПД до 30%), что является самым высоким показателем эффективности среди лазеров на данный момент развития лазерной техники.

Другими словами: **CO2 Лазер** - это универсальный высокоэффективный инструмент, способный резать/раскраивать, сваривать, маркировать, обрабатывать большое количество различных материалов и поверхностей за минимальное время и с минимальными затратами.

Длина волны, частотный спектр и лазерный луч

Углекислотные CO2 лазеры излучают в инфракрасном диапазоне (ИК-диапазон). Длина волны составляет от 9,4 до 10,6 мкм.

Частотный спектр генерации CO2-лазера имеет достаточно сложный вид. Причиной этого является наличие тонкой структуры колебательных уровней, обусловленной существованием ещё одной степени свободы молекулы CO2 – вращения.

Луч CO2 лазера имеет Гауссову форму, распространение в пространстве и фокусировка которого, описывается законами Гауссовой оптики с качеством луча, близ-

ким к единице. За пределами резонатора можно генерировать донатову моду, для областей применения CO2 лазеров, требующих более крупных размеров фокуса луча. Данная мода имеет распределение интенсивности TEM 01* и К число К=0,45 или М2=2,2.

Оптическая система

Оптическая система CO2 Лазера состоит из следующих основных элементов:

- Отражающая оптика, выпоненяется, в основном, из Меди (Cu).

- Оптическая линза - выходное зеркало, обычно изготавливается из ZnSe, пропускает длину волны в диапазоне 9,4 - 10,6 мкм.

- Выходное окно из ваккумной камеры: часто изготавливается из алмаза, выращенного синтетическим способом. Алмаз имеет высокую степень прозрачности, высокую прочность и очень высокую теплопроводность, что обеспечивает максимальную надежность конструкции в силу не чувствительности к тепловой нагрузке.

- Пространственный фильтр - очищает луч CO2 лазера от боковых мод, осуществляет промежуточную фокусировку луча лазера.

Практическое занятие №1. Информация и определения. Длина волны, частотный спектр и лазерный луч. Оптическая система

Цель занятия: Изучение информации и определений. Понятие длины волны, частотного спектра и лазерного луча.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет.

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Что является основой работы CO2- лазера?
2. Для чего используется газовая смесь в CO2- лазерах?
3. Как производится накачка газовой смеси в CO2- лазерах?
4. Какие типы накачка газовой смеси используются в CO2 лазерах?
5. Что составляет активную среду углекислотного лазера?
6. Какой размер длины волны CO2- лазера?
7. Назвать частотный спектр генерации CO2-лазера.
8. Назвать форму луча CO2-лазера.
9. Описать оптическую систему CO2-лазера.
10. Назвать элементы оптической системы CO2-лазера.

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №2

Сейчас на рынке выпускаются CO2-лазеры с мощностью типично до 10 кВт, в том числе более 50 типов различных CO2-лазеров с ВЧ-накачкой в диапазоне мощностей от 3 Вт до 5 кВт. При этом газовые лазеры с ВЧ-возбуждением обладают целым рядом преимуществ по сравнению с лазерами, в которых для накачки рабочей среды применяется самостоятельный тлеющий разряд постоянного тока. В частности, их конструкция и технология изготовления проще, а надёжность, ресурс работы, удельные характеристики существенно выше, чем у лазеров с накачкой постоянным током. Это позволяет уменьшить габариты и массу технологических CO2-лазеров мощностью 1 кВт настолько, что становится возможным размещение такого лазера на подвижном манипуляторе промышленного робота.

Резонаторы и особенности формирования волны CO2-лазера
Резонатор является оптической системой, позволяющей сформировать стоячую электромагнитную волну и получить высокую интенсивность излучения, необходимую для эффективного протекания процессов вынужденного излучения возбуждённых частиц рабочего тела лазера, а следовательно, когерентного усиления генерируемой волны. Оптические резонаторы в квантовой электронике не только увеличивают время жизни кванта в системе и вероятность вынужденных переходов, но и так же, как резонансные контуры и волноводы определяют спектральные характеристики излучения.

В длинноволновом диапазоне классической электроники длина волны излучения существенно больше размеров контура и его спектральные характеристики определяются сосредоточенными параметрами электрической цепи. Длинные радиоволны при этом излучаются в пространство практически изотропно. При сокращении длины волны и переход в СВЧ-диапазону для формирования электромагнитной волны используются пустотелые объёмные резонаторы с размерами, сравнимыми с длиной волны. При этом появляется возможность формирования направленных (анизотропных) распределений излучения в пространстве с помощью внешних антенн.

В ИК и видимом диапазоне длина волны излучения много меньше размеров резонатора. В этом случае оптический резонатор определяет не только частоту, но и пространственные характеристики излучения.

Практическое занятие №2. Мощностные характеристики. Особенности и преимущества CO2-лазера. Резонаторы и особенности формирования волны CO2-лазера

Цель занятия: Изучение мощностных характеристик, особенностей и преимуществ CO2-лазера.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Рассчитать эффективность преобразования электрической энергии в энергию лазерного излучения.
2. Определить коэффициент усиления активной среды CO2-лазера.

3. Охарактеризовать процессы накачки лазерной смеси.
4. Какова рабочая температура лазерной смеси?
5. Назвать особенности конструкции и преимущества СО2-лазера.
6. Охарактеризовать конструкцию газовых лазеров с ВЧ-возбуждением.
7. Какие функции выполняет резонатор СО2-лазера?.
8. Какие особенности формирования волны СО2-лазера?

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №3

В лазерах повышенной мощности широкое распространение получили неустойчивые резонаторы со сферическими металлическими зеркалами. Наиболее часто в лазерной технике используется телескопический конфокальный неустойчивый резонатор, дающий на выходе параллельный пучок. Одно из его зеркал выпуклое, а другое вогнутое. Генерация возникает в приосевой зоне. Покидающее эту зону излучение усиливается при многократных проходах между зеркалами, смещаясь к периферии резонатора.

Относительная величина смещения положения луча на выпуклом зеркале за один проход называется коэффициентом увеличения резонатора . В отличие от устойчивого резонатора прозрачность неустойчивого резонатора определяется не пропусканием излучения выходным зеркалом, а геометрическими размерами системы. Из-за геометрического расширения излучения его интенсивность падает на одном проходе в M2 раз. Однако в стационарных условиях при малых внутрирезонансных потерях усиление излучения на одном проходе также составит M2.

Таким образом, весь неустойчивый резонатор заполнен излучением с практически равной интенсивностью, что в отличие от устойчивых резонаторов обеспечивает полное и равномерное использование всей активной среды. Если добавить к этому высокую лучевую стойкость металлических зеркал, то преимущество неустойчивых резонаторов для мощных лазерных систем становится очевидным.

CO2 лазеры требуют постоянного охлаждения активной среды, так как активная среда нагревается до очень высоких температур, которые могут разрушить конструкцию лазера, за очень короткое время (десятые доли секунды).

Для промышленных лазеров применяются два метода охлаждения активной среды CO2 лазеров:

- Конвекционный тип охлаждения активной среды лазера.
- Диффузный тип охлаждения активной среды лазера.

Конвекционный тип охлаждения активной среды лазера - основан на подачи газа через активную область с высокими скоростями прокачки потока.

Различают два типа подачи газа для прокачки:

- продольная прокачка
- поперечная прокачка

CO2 лазеры, в силу своей мощностной эффективности, наиболее часто используются для резки/раскроя различных сплавов металлов, в том тисле тугоплавких, маркировки или гравировки пластика и его производных, резины и пр. CO2 широко применяются для сварки различных металов. Лазерная CO2 сварка является эффективной для металлов с высокой теплопроводностью, например таких как алюминий и латунь.

Практическое занятие №3. CO2-лазеры повышенной мощности. Охлаждение CO2-лазера. Применение CO2-лазеров

Цель занятия: Изучение применения мощных CO2-лазеров.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Где используются CO2-лазеры повышенной мощности?
2. Определить функции телескопического конфокального неустойчивого резонатора.
3. Как определить коэффициентом увеличения резонатора?
4. Как происходит генерация в приосевой зоне?
5. Каков размер относительной величины смещения положения луча на выпуклом зеркале?
6. В чем заключается необходимость постоянного охлаждения активной среды CO2-лазера?
7. В каких случаях используется конвекционный тип охлаждения?
8. Назвать особенности применения CO2-лазеров для резки и сварки металлов.

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №4

Волоконный лазер — лазер, активная среда и, возможно, резонатор которого являются элементами оптического волокна. При полностью волоконной реализации такой лазер называется *цельноволоконным*, при комбинированном использовании волоконных и других элементов в конструкции лазера он называется *волоконно-дискретным* или *гибридным*. Волоконные лазеры применяются в промышленности для резки металлов и маркировки продукции, сварке и микрообработке металлов, линиях волоконно-оптической связи. Их основными преимуществами являются высокое оптическое качество излучения, небольшие габариты и возможность встраивания в волоконные линии.

Существует большое разнообразие конструкций волоконных лазеров, обусловленное спецификой их применения. Для их изготовления широко применяются как резонаторы типа Фабри — Перо, так и кольцевые резонаторы. Специальными методиками можно создать однополяризационные лазеры, лазеры сверхкоротких импульсов и другие. Во всех волоконных лазерах применяются специальные типы оптических волокон, в которые встроены один или несколько волноводов для осуществления оптической накачки.

В настоящее время известны модели волоконных технологических лазеров мощностью до 20 кВт. Эти устройства имеют невысокую стоимость, компактны, удобны для сопряжения с магистральным волокном при минимуме вносимых потерь. Сегодня эти устройства достигли уровня характеристик, в первую очередь, мощности, надежности, позволяющих с успехом использовать их для решения различных задач лазерной обработки материалов. Они представляют собой практически идеальные преобразователи световой энергии лазерных диодов накачки в лазерное излучение с рекордным КПД, по сравнению, например, с твердотельными лазерами.

Создание таких лазеров явилось результатом многолетнего развития лазерной техники. В последнее время волоконные лазеры активно вытесняют традиционные лазеры из таких областей применения лазерной техники, как, например, лазерная резка и сварка материалов, маркировка и обработка поверхностей, полиграфия и скоростная лазерная печать. Их используют в лазерных дальномерах и трехмерных локаторах, аппаратуре для телекоммуникаций, в медицинских установках и других сферах промышленных и военных комплексов.

Практическое занятие №4. Устройство и принцип работы волоконных технологических лазеров

Цель занятия: Изучение устройства и принципа работы волоконных технологических лазеров.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Описать конструкцию волоконных лазеров.
2. Чем вызвано разнообразие конструкций волоконных лазеров?
3. Описать устройство резонаторов типа Фабри-Перо.

4. Описать принцип работы волоконных технологических лазеров.
5. Описать функции кольцевых резонаторов.
6. Охарактеризовать лазерную резка и сварка материалов волоконными лазерами.
7. Назвать сферы применения волоконных технологических лазеров.

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №5

Совершенствование волоконно-оптической техники привело к созданию нового типа устройств: оптических усилителей и лазеров на так называемых активных волокнах, то есть волокнах, легированных редкоземельными элементами.

Первые волоконные лазеры были созданы на кварцевых волокнах, легированных ионами неодима. В настоящее время генерация получена в кварцевых волокнах, легированных неодимом, эрбием, иттербием, туллием, празеодимом. Однако наиболее распространены волоконные лазеры, легированные неодимом и эрбием.

Внутреннее волокно 1, заполненное активной средой (например, иттербий), имеет диаметр в 6-8 мкм и находится внутри кварцевого (центрального) волокна 2 диаметром 400-600 мкм. Внутренние стенки волокна покрыты светоотражающей поверхностью, поэтому движущийся поток квантов претерпевает многократное отражение.

Сталкиваясь между собой кванты, выбивают фотоны и ионы редкоземельных элементов, которые усиливают суммарный поток света. Все световые волны, многократно отражаясь, накладываются, тем самым, образуя стоячую волну. Так как сечение центрального волокна имеет малый диаметр, а само волокно имеет огромную длину, то для компактности волокно можно навить на какой либо объект. Главное преимущество волокна – это низкая потеря энергии излучения.

Длина волны излучения определяется типом легирующих ионов, а ширина спектра генерации зависит от материала, в который они введены. Используя различные редкоземельные элементы, в качестве добавок и подбирая состав волокна, можно получить большой набор генерируемых длин волн, в том числе 1,3 и 1,5 мкм, а также перспективный в будущем диапазон среднего ИК-излучения – 2-3 мкм. Для увеличения мощности излучения волоконных лазеров следует увеличивать концентрацию ионов легирующей примеси.

Введем понятие накачки. В разделе, посвященному строению и составу волокна, описывалось движения квантов, которые возникают при переходе частиц с верхнего энергетического уровня на нижний. В результате многочисленных отражений и столкновений частиц лазер как бы накачивается световым излучением. В различных видах лазеров накачка происходит по-разному. Например, в твердотельных лазерах с помощью световой лампы, а в газовых лазерах с помощью столкновений частиц различных газов. В волоконном же лазере накачка проводится диодами с одномодовым излучением.

Главная особенность этого лазера в том, что излучение здесь рождается в тонком, диаметром всего в 6-8 мкм, волокне 3 (сердцевине – например, активная среда иттербий), которое фактически находится внутри кварцевого волокна 2 диаметром 400-600 мкм.

Излучение лазерных диодов 8 накачки вводится в кварцевое волокно 2 и распространяется вдоль всего сложного составного волокна, отражаясь от светоотражающего покрытия 4, имеющего длину несколько десятков метров, которое можно навивать на какую-либо поверхность. Упрощенно говоря, это излучение оптически накачивает сердцевину, именно в ней происходит эффект усиления спонтанного излучения ионов редкоземельных элементов. Вблизи концов волокна на сердцевине размещают два так называемых дифракционных зеркала, одно из которых сплошное 1, а другое полупрозрачное. Полупрозрачное зеркало выпускает только часть полученного после многократного отражения светового излучения, в то время как сплошное зеркало не выпускает световой поток, отражая его. Тем самым часть излучения выходит в виде лазерного луча, а другая часть, испытывая переотражение от стенок волокна и двух зеркал, компенсирует ушедшее излучение. Система уравновешивается. Таким образом, создается резонатор волоконного лазера. Через полупрозрачное зеркало выходит идеальный одномодовый лазерный пучок с весьма равномерным распределением мощности, что по-

зволяет сфокусировать излучение в пятно малого размера с помощью фокусирующей линзы 7, и, наконец, через волокно выходит конечный сфокусированный лазерный луч 6. Схема накачки лазера, основанного на волокне с двойным покрытием, показана на рис.3.

Мощность волоконного лазера, применяемого для технологических целей, должна составлять от 100 Вт до 4…6кВт. Излучение такой мощности получают сочетанием многокаскадного усиления в волокнах с набором мощности излучения от нескольких лазеров с меньшей мощностью.

Принцип работы такого лазера заключается в следующем. Сначала накачивается задающий волоконный лазер 1 с помощью излучения светодиодов 7, пропущенного через фокусирующие системы светодиодов 8. Затем световое излучение передается по световому волокну 2 к изолятору. От изолятора излучение передается мощному волоконному лазеру первой ступени 4, накачивая его, а от лазера первой ступени соответственно к мощному волоконному лазеру второй ступени 5, который тоже накачивается. После фокусировки из лазера второй ступени выходит конечный лазерный луч 6.

С помощью такого лазера можно получить мощность излучения до 100Вт. При этом КПД лазера составляет до 23 %. В этом случае наблюдается весьма малое тепловыделение (около 8…10 Вт). Это дает возможность использовать воздушное охлаждение и исключить применение сложных систем водяного охлаждения, что присуще другим типам технологических лазеров.

Активная среда YAG-лазера представляет собой один или несколько стержней из алюмоиттриевого граната. Это главный недостаток такой конструкции, так как стержень имеет небольшую цилиндрическую форму и подвержен нагреву лампами/диодами либо с одной, либо с двух сторон, в зависимости от требуемой мощности резонатора. Внешний контур стержня охлаждается, но внутри он остается горячим, что вызывает постепенное изменение его формы в эллиптическую или в виде двойного эллипса, в случае наличия ламп или диодов с двух сторон от стержней. Как результат вышеизложенного процесса — небольшой ресурс работы резонатора, неисправность и дорогостоящий ремонт.

Такая конструкция обычно применима для лазерных комплексов бюджетного сегмента и ограничивается мощностью в 2 кВт.

В настоящий момент оптимальным решением вопроса перегрева твердотельной активной среды лазерного источника является применение диска (плоского элемента) или волоконного кабеля (длинного элемента).

Набор одномодовых излучений обеспечивает суммированное излучение, близкое к одномодовому. Особенностью волоконных лазеров является то, что они работают только в непрерывном режиме, так как волокно не может выдерживать гигантские импульсы излучения. При длине волны 1,06 мкм такое излучение весьма эффективно при обработке различных материалов и в совокупности с простотой и надежностью волоконного лазера делает всю систему наиболее целесообразной для технологического применения.

Лазеры на оптических волокнах, легированных ионами редкоземельных элементов, с оптической накачкой обладают рядом преимуществ:

– благодаря волоконной структуре волоконные лазеры имеют низкие пороги генерации;

– их удобно использовать в качестве источников излучения ВОСП из-за простоты сопряжения с волокном линии;

– эффективно использование направленных разветвителей для расщепления пучка, так как при этом исключаются дифракционные потери на апертурах объемных элементов.

Практическое занятие №5. Состав и строение волокна. Накачка. Конструкция и принцип работы

Цель занятия: Изучение состав и строение оптического волокна.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Описать особенности конструкции оптических усилителей лазеров на активных волокнах, легированных редкоземельными элементами.
2. Описать особенности конструкции кварцевых волокон, легированных неодимом, эрбием, иттербием, туллием, празеодимом.
3. Описать конструкцию сечения волокна.
4. В чем заключаются функции центрального и внутреннего волокна?
5. Какова длина волны излучения волоконных лазеров?
6. Как происходит увеличение мощности излучения волоконных лазеров?
7. Как осуществляется накачка волоконных лазеров?
8. Описать схему конструкции волоконного лазера.
9. По какой схеме осуществляется накачка лазера, основанного на волокне с двойным покрытием.

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №6

Волоконный лазер имеет ряд преимуществ перед другими видами лазеров. Разделим их на три группы: оптические, энергетические и технологические.

Оптические лазеры:

– Длина излучения волны у волоконного лазера l=1,09 мкм. Такая длина волны дает волоконному лазеру ряд преимуществ:

– Излучение с такой длиной волны будет прекрасно фокусироваться через стеклянные линзы, что позволяет сэкономить денежные средства при установке фокусирующей системы.

– Излучение с такой длиной волны может передаваться по волокну на большие расстояния. Поэтому сама лазерная установка может находиться в удобном для работы месте, а волокно от лазерной установки уже непосредственно протягивается на место сварки.

– Такое коротковолновое излучение очень интенсивно поглощается металлом:

– Малый размер выходной апертуры луча (300 мкм) позволяет сфокусировать конечный лазерный луч в очень маленькую точку.

– У волоконного лазера малая расходимость луча, следовательно, увеличивается фокусное расстояние.

Энергетические лазеры:

– У волоконного лазера высокий КПД источника (h=35%), в то время как у других лазеров КПД достаточно мал. Например, у газовых лазеров он составляет h=5%.

– Возможность создания излучателей высокой мощности до 100квт путем объединения излучений нескольких волоконных лазеров в одно.

– Малая теплоотдача, не требует интенсивного охлаждения, а это значит, что снижается суммарное потребление энергии и лазер становится компактнее и проще в обслуживании и ремонте.

Технологические лазеры:

– Для волоконных лазеров практически не требуется такое техническое обслуживание, как настройка, юстировка, чистка и др.

– Допускает размещение в обычных рабочих помещениях цехов без учета специальных требований.

– Компактность установок обусловлена тем, что лазер может занимать удобное для работы месторасположение, даже если оно находится на значительном расстоянии от места сварки и обработки деталей.

– Возможность передачи излучения по световоду.

– Срок работы до 100000 часов, так как большой нагрузки диоды и волокно не испытывают.

– Отсутствие настроечных операций на лазере.

– Стеклянная оптика (использование стеклянных фокусирующих линз) позволяет снизить затраты на фокусирующую систему.

– Высокая эффективность проплавления. [3]

НТО «ИРЭ-Полюс» (российское подразделение IPG) в 2003/2004 гг. предложило на рынок СНГ волоконные лазеры (ВЛ) с лучевой мощностью до 10 кВт и более, которые по своим технико-эксплуатационным показателям на порядок превзошли традиционно применявшиеся на рынке твердотельные и CO_2 – лазеры.

Волоконные лазеры – очень надёжны, практически нулевые эксплуатационные расходы и затраты на запчасти и малоресурсные элементы. Требует внимания только блок вывода излучения из лазера. КПД увеличен по сравнению с твердотельными и CO_2 -лазерами в 2-4 раза – до 20-30%. Длина волны около 1 мкм значительно повышает эффективность обработки сталей за счёт более высокого коэффициента поглощения.

Габариты и вес уменьшены в 10–30 раз (см.табл.10 и рис.19). Например, 100 Вт-й лазер можно ставить в процессорный блок компьютера (охлаждение воздушное). Луч по световоду может подаваться с очень низкими потерями на 10-100 м и более.

Поскольку лазер набирается из десятков-сотен волоконных активных элементов, то выход одного из них строя практически не влияет на работоспособность лазера в целом. Падение мощности на доли % компенсируется дополнительной работой других активных элементов.

По простоте и надёжности ВЛ близки к обычным электрическим приборам, типа стабилизатора напряжения, что существенно снижает затраты при эксплуатации на обслуживание, персонал, его обучение и повышение квалификации.

Надо отметить очень высокое качество излучения волоконных лазеров (близкое к теоретическому), что позволяет значительно повысить глубину сварки и резки на единицу лучевой мощности и без проблем резать и сваривать цветные сплавы, например, алюминиевые, что в ряде случаев весьма проблематично для традиционных лазеров.

Единственным и главным недостатком ВЛ сегодня является их высокая цена. Волоконные лазеры дороже твердотельных и CO_2-лазеров на 10-30%.

Практическое занятие №6. Достоинства и недостатки волоконных лазеров. Сферы применения. Промышленные волоконные лазеры

Цель занятия: Изучение сфер применения, достоинств и недостатков волоконных технологических лазеров.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Назвать достоинства и недостатки волоконных лазеров по сравнению с другими видами лазеров.

2. Назвать отличия в конструкции оптических, энергетических и технологических лазеров.

3. Назвать особенности конструкции промышленных волоконных лазеров.

4. Какие возможности существуют для создания излучателей высокой мощности до 100 кВт?

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №7

Современный этап развития различных технологических процессов характеризуется широким привлечением средств вычислительной техники и автоматики для создания высокопроизводительного автоматизированного оборудования. С этих позиций лазерная резка благодаря своим достоинствам является процессом, который может быть реализован на высоком уровне автоматизации и являться частью гибкого автоматизированного производства.

Экономически определено целесообразным применение лазерной резки в условиях мелко- и среднесерийного быстропереналаживаемого производства при обширной номенклатуре выпускаемых изделий. К ним предъявляются повышенные требования в отношении качества кромки и точности размеров, и при толщине разрезаемого листа не более 10 мм, т. е. в тех случаях, когда необходимо иметь большое количество штамповой оснастки различных типоразмеров.

Получение готовых деталей с помощью лазерной резки осуществляется на лазерных технологических комплексах, позволяющих в зависимости от назначения и состава входящих в него устройств обрабатывать изделия сложной плоской и даже объемной формы.

В общем случае комплекс для лазерной резки состоит из следующих частей:

излучатель ;

координатное устройство ;

система формирования и транспортировки излучения и газа ;

автоматизированная система управления параметрами установки и технологического процесса .

Излучатель предназначен для генерации лазерного излучения с необходимыми оптическими, энергетическими и пространственно-временными параметрами, обеспечивающими требуемые показатели качества и производительности процесса резки.

Для технологических целей в основном используются газовые и твердотельные лазеры, работающие в импульсно-периодическом и непрерывном режимах. Среди газовых лазеров наиболее широко применяются молекулярные лазеры на диоксиде углерода. Следует отметить также возможность применения аргоновых лазеров, генерирующих на длине волны 0,49 и 0,51 мкм, мощность излучения которых в настоящее время доведена до 200 Вт.

В состав излучателя входит активная среда 1, зеркала резонатора 2, элементы системы накачки 3, а при необходимости устройство модуляции излучения 4.

К качеству излучения при резке металлов предъявляются более высокие требования по сравнению с другими технологическими процессами. Поэтому при выборе типа лазера для резки необходимо учитывать весь комплекс причин, ухудшающих характеристики и стабильность излучения: турбулентность потока, неоднородность разряда, схему разряда, чувствительность элементов конструкции к термодеформациям и т. д.

Координатное устройство служит для осуществления относительного перемещения луча и детали в пространстве. В состав координатного устройства входят исполнительные механизмы, двигатели, привод.

С помощью системы формирования и транспортировки излучения и газа осуществляется передача пучка от излучателя к обрабатываемой детали 5, на поверхности которого фокусируется система 6 с помощью системы 7 стабилизации и создает необходимую плотность мощности. Кроме того, эта же система служит для формирования необходимых параметров газового потока, направляемого в зону обработки через сопло 8.

В состав системы формирования и транспортировки излучения и газа входят: поворотные зеркала 9; оптические трансформаторы (объективы) 10; устройство враще-

ния плоскости поляризации 11; оптический затвор 12; фокусирующая система 6; система подачи газа 13; котировочный лазер (канал визуализации) 14.

Автоматизации и управлению в лазерном технологическом комплексе подлежат два объекта: непосредственно лазер (стабилизация и регулирование его энергетических, оптических и пространственно-временных параметров) и технологический процесс резки материала.

Автоматизированная система управления служит для контроля и управления параметрами лазера, для передачи команд на исполнительные механизмы системы формирования и транспортировки излучения и газа и координатного устройства.

В состав автоматизированной системы управления входят: подсистемы датчиков 15 внутренних параметров лазера (давления, температуры, состава рабочей смеси и т. д.) и датчиков 16 параметров излучения (мощности, расходимости, стабильности оси диаграммы направленности и т. д.), зазора, подсистема управления адаптивной оптикой, затвором, координатным устройством.

Практическое занятие №7. Структура лазерного технологического комплекса. Схемы систем транспортировки излучения

Цель занятия: Изучение структуры лазерного технологического комплекса.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Охарактеризовать структуру лазерного технологического комплекса.
2. Назвать целесообразность применения лазерной резки в условиях мелко- и среднесерийного производства при обширной номенклатуре выпускаемых изделий.
3. Охарактеризовать и перечислить основные элементы структурной схемы автоматизированного лазерного технологического комплекса для лазерной резки.
4. Показать схемы систем транспортировки излучения.
5. Рассмотреть основные схемы передачи лазерного излучения в зону обработки.

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №8

В современных устройствах для лазерной резки параметры процесса, зависящие от свойств материала, конструкции деталей, энергии, затрачиваемой на разрушение, скорости и характеристик реза, обусловливают параметры лазерного излучения. Такие автоматизированные системы строятся по двухуровневому принципу. На нижнем уровне находятся управляющие устройства для стабилизации или измерения параметров лазера и программные устройства для перемещения луча лазера по заданному контуру детали. Связь между группами устройств осуществляет система автоматизации второго уровня. Современное развитие микроэлектроники позволяет использовать на обоих уровнях микропроцессорные устройства.

В реальных лазерных технологических комплексах параметры излучения лазера стабилизируются в требуемых пределах и могут изменяться беспрограммно в небольших интервалах. К таким характеристикам относятся:

– энергетические параметры (КПД, выходная энергия или мощность),
– угловая расходимость
– пространственное распределение излучения, режим работы и временные характеристики излучения.

При поддержании на постоянном уровне параметров излучения собственно управление процессом резки сводится к управлению технологией обработки.

Автоматическое управление перемещением луча лазера по плоскости резания может осуществляться с помощью систем непрерывного копирования чертежа обрабатываемой детали или на основе числового задания траектории движения луча. Первый вариант осуществляется в фотокопировальных системах, а второй — в виде систем числового программного управления (ЧПУ).

В первом случае системы основываются на преобразователях визуальной графической информации (чертежей, схем, графиков), предназначенных для кодирования графически заданных функций и выработки электрических сигналов (в непрерывной или цифровой форме), имеющих общий с преобразуемым графиком закон изменения в зависимости от изменения аргумента. Применять преобразователи графической информации можно в непосредственной связи с обрабатывающим узлом через временной интервал (т. е. данные можно хранить и использовать по мере надобности). Сигнал для преобразователя снимается с пера, следующего по линиям чертежа, или с фотодатчика.

Преобразователи графической информации строятся на основе методов следящего и развертывающего считывания. При следящем считывании совмещается линия чертежа с положением считывающего органа (растр-элемента) — электронного или светового луча, фоточувствительной головки, перекрестия визира. Для случая визира необходима обратная связь устройства через человека-оператора. В устройствах развертывающего типа применяется метод динамического компенсационного измерения.

При пересечении растр-элемента с линией графического изображения вырабатывается импульс-отметка, временное положение которого через масштабные импульсы переводится в значение графических координат. Выходные сигналы могут быть получены в аналоговой или цифровой форме. Управление преобразователем графиков может быть автономным или программным. В первом случае управление преобразованием идет от внутреннего электронного блока, во втором — по командам от универсальной вычислительной машины, к которой подключен преобразователь.

При контроле параметров технологического процесса требуемую информацию может нести:

– излучение, генерируемое лазером;
– излучение, проходящее через обрабатываемый материал;
– излучение, отраженное от обрабатываемого материала;

– собственное излучение обрабатываемого материала, возникающее в результате воздействия лазерного пучка;

– излучение плазменно-эрозионного факела, возникающего на поверхности материала при его облучении;

– поток газа, проходящий через канал реза.

Контроль энергетических и пространственных параметров излучения лазерных установок производится с помощью приборов измерения мощности излучения и расходимости пучка. При необходимости можно измерить диаметр лазерного пучка и визуализировать распределение интенсивности излучения по сечению пучка.

Управляемыми при лазерной обработке являются энергетические и пространственно-временные параметры излучения, а также параметры относительного перемещения лазерного пучка и обрабатываемого материала. К первым можно отнести плотность мощности лазерного излучения в зоне обработки, частоту следования импульсов, ко вторым — траекторию и скорость движения лазерного пучка и обрабатываемого материала. Изменение этих параметров в разомкнутых системах автоматического управления осуществляется по заданной программе обработки, а в замкнутых — по сигналам обратной связи с измерительных датчиков.

Примером осуществления управления технологическим процессом и обеспечения оптимального режима обработки может служить автоматизированная система управления, в которой применен принцип обратной связи параметров процесса резки (скорости) и качества реза.

К технологическому оснащению лазерных комплексов для резки следует отнести: системы передачи лазерного излучения в зону обработки; устройства установки и закрепления обрабатываемого материала; вентиляционные системы удаления продуктов лазерной обработки. Завер шающим этапом преобразования лазерного пучка с помощью оптических или оптико-механических систем является фокусировка.

Для подачи газа в зону обработки между линзой и обрабатываемым материалом расположено сопло в виде усеченного конуса. Газ, выходящий под давлением из сопла соосно лазерному пучку, кроме технологических функций, выполняет функцию защиты линзы от продуктов лазерной обработки.

Поверхность линзы фокусирующего устройства, обращенную к обрабатываемому материалу, защищают также с помощью прозрачных неподвижных и вращающихся экранов, вращающихся металлических дисков с окнами на пути прохождения лазерного пучка, экранирующих диафрагм, магнитных и электроразрядных устройств.

Продукты лазерной обработки (газ, частицы материала) удаляются из рабочей зоны вентиляционной системой. При этом может быть осуществлен отсос продуктов обработки как со всего рабочего поля стола установки, так и местный — из зоны воздействия лазерного излучения. Разряжение под рабочим столом, образующееся в результате работы вентиляционной системы, используется и для закрепления обрабатываемого материала к поверхности стола.

Практическое занятие №8. Автоматизация процесса лазерной резки. Технологическое оснащение лазерных комплексов для резки

Цель занятия: Изучение технологическое оснащение лазерных комплексов для резки

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.

2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Как осуществляется автоматизация процесса лазерной резки?
2. Как осуществляется связь между группами устройств?
3. Охарактеризовать систему автоматизации второго уровня.
4. Как производится автоматическое управление перемещением луча лазера по плоскости резания?
5. Назвать функции преобразователей графической информации на основе методов следящего и развертывающего считывания.
6. Как осуществляется контроль энергетических и пространственных параметров излучения лазерных установок?
7. Назвать состав технологического оснащения лазерных комплексов для резки.
8. Как осуществляется передача лазерного излучения в зону обработки?

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Краткие теоретические сведения к практическому занятию №9

В настоящее время металлообрабатывающие отрасли промышленности уже не устраивают специализированные лазерные комплексы для выполнения отдельных технологических операций (резка, сварка, термоупрочнение, прошивка), а тем более только лазерные излучатели, выпускаемые без соответствующего координатного устройства. Реально назрела необходимость перехода к выпуску и использованию лазерного оборудования с более высокой степенью интеграции технологических операций.

Лазерные обрабатывающие центры. Несмотря на то, что лазеры показали свою незаменимость при выполнении операций, требующих высокой точности и при обработке деталей сложной формы, их широкое внедрение в производство сдерживается высокой стоимостью лазерного способа обработки. Эффективность лазерной обработки существенно повышается при использовании лазерных обрабатывающих центров (ЛОЦ).

Эти центры предназначены в основном для операций сварки, прошивки, резки, термоупрочнения и маркировки в металлообрабатывающей промышленности.

В настоящее время подавляющее большинство ЛОЦ основано на ИАГ-лазерах. Характерной чертой ЛОЦ является использование устройств программного управления для автоматического регулирования выходных параметров лазерного излучения (энергии, частоты повторения и длительности импульсов излучения) в диапазоне, удовлетворяющем различным режимам обработки.

Управление источником питания позволяет регулировать длительность импульсов от десятков пикосекунд до 10...20 мс, энергию в импульсе от сотен микроджоулей до сотен джоулей, частоту повторения импульсов излучения от 1 до 200 Гц. Лазерные обрабатывающие центры , созданные на основе таких лазеров со средней выходной мощностью до 400 Вт, уже нашли применение в авиационной, кораблестроительной, атомной и электронной промышленности для резки, сварки и прошивки металлов.

В табл. 3.1 представлены параметры некоторых лучших зарубежных ЛОЦ.

ЛОЦ SS-550 обеспечивает точечную и шовную сварку разнородных металлов, прошивку отверстий с углом входа 15° и резку твердых материалов толщиной до 10 мм. Система снабжена пятью осевыми манипуляторами, управляется с помощью ЭВМ и заключена в закрытый корпус, что позволяет использовать ее в цеховых условиях с загрязненной атмосферой.

Модель LPC-48 с шестью степенями свободы позволяет осуществлять резку и сварку металла на поточных линиях обработки, прошивку отверстий в металле толщиной около 2 мм.

Лазерные роботы. Помимо устройств программного управления в ЛОЦ используется робототехника и волоконно-оптические кабели для передачи излучения.

Фирма «General Electric» сконструировала лазерный робот, в котором излучение ИАГ: Nd-лазера с выходной средней мощностью 400 Вт может передаваться на расстояние 22,5 м по оптическому кабелю для резки, сварки или прошивки отверстий в металлах. При этом один лазер может обслуживать несколько роботов, что обеспечивает обработку материалов одновременно в нескольких местах. Для передачи излучения в нем используется кварцевый оптический волновод диаметром 1 мм, потери в котором на расстоянии 300 м составляют 20%.

Практическое занятие №9. Лазерное технологическое оборудование. Примеры использования лазерной резки в производстве

Цель занятия: Анализ использования лазерного технологического оборудования резки в производстве.

Оборудование: Компьютеры, оснащенные необходимыми программами и подключенные к сети Интернет (14 шт.)

Порядок проведения занятия:

1. Защита домашнего задания.
2. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.
3. Ответить устно на вопросы преподавателя по теме занятия.

Самостоятельная работа студентов:

Задание 1. Изучить теоретический материал по теме занятий

Задание 2. Ответить на следующие вопросы

1. Охарактеризовать лазерное технологическое оборудование с высокой степенью интеграции технологических операций.

2. Назвать особенности конструкции лазерных обрабатывающих центров для операций сварки, прошивки, резки, термического упрочнения и маркировки в металлообрабатывающей промышленности.

3. Объяснить использование устройств программного управления для автоматического регулирования выходных параметров лазерного излучения.

4. Что означает понятие «лазерные роботы»?.

5. Как функционируют гибкие обрабатывающие системы с использованием лазеров?

Задание 3. Выполнение практического задания

1. Получить от преподавателя индивидуальное задание по теме занятия.
2. Произвести поиск необходимых источников в литературе и сети Интернет.
3. Оформить отчет по теме занятия в объеме (2-3 стр.).
4. Сформировать заключение по итогам выполненной практической работы.

Литература [1, 2, 3]

Учебно-методическое обеспечение дисциплины

Основная литература

1. Вейко, В.П. Введение в лазерные технологии. [Электронный ресурс] / В.П. Вейко, А.А. Петров. — Электрон. дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2009. — 143 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/40840

2. Лосев, В.Ф. Физические основы лазерной обработки материалов: учебное пособие. [Электронный ресурс] / В.Ф. Лосев, Е.Ю. Морозова, В.П. Ципилев. — Электрон. дан. — Томск : ТПУ, 2011. — 199 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/10277

3. Федоров Б.М. Технология обработки материалов концентрированными потоками энергии. Часть 2. «Технология и оборудование микроплазменной обработки». [Электронный ресурс] : учеб. пособие / Б.М. Федоров, А.И. Мисюров, Н.А. Смирнова. — Электрон. дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011. — 22 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/52236

Дополнительная литература

5. Менушенков, А.П. Физические основы лазерной технологии: учебное пособие для вузов. [Электронный ресурс] / А.П. Менушенков, В.Н. Неволин, В.Н. Петровский. — Электрон. дан. — М. : НИЯУ МИФИ, 2010. — 212 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/75742

6. Туманов, Ю.Н. Плазменные, высокочастотные, микроволновые и лазерные технологии в химико-металлургических процессах. [Электронный ресурс] — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2010. — 968 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/2711

7. Лазеры: применения и приложения [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.С. Борейшо [и др.]. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 520 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/87570

8. Богданов А.В. Волоконные технологические лазеры и их применение [Электронный ресурс] : учеб. пособие / А.В. Богданов, Ю.В. Голубенко. — Электрон. дан. — СПб. : Лань, 2016. — 208 с. — Режим доступа: http://e.lanbook.com/book/72971

Методическая литература к выполнению практических работ

https://bb.kai.ru:8443/webapps/blackboard/execute/content/blankPage?cmd=view&content_id=_156149_1&course_id=_11193_1

Информационное обеспечение дисциплины

Основное информационное обеспечение

Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения дисциплины:

1. Blackboard Learn - Электронные курсы КНИТУ-КАИ https://bb.kai.ru
2. ЭБС Издательства "ЛАНЬ" https://e.lanbook.com
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU https://elibrary.ru/defaultx.asp

4. Электронная библиотека КНИТУ-КАИ http://e-library.kai.ru

Дополнительное справочное обеспечение

1. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU http://elibrary.ru/
2. Национальная электронная библиотека НЭБ https://нэб.рф/

Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

- Microsoft Windows XP Pro
- Microsoft Office Standard 2007
- Microsoft Office Professional Plus 2010
- Microsoft Office Standard 2010
- Sumatra PDF
- 7-Zip
- Google Chrome
- Компас3D V13

Методические рекомендации по работе с литературными источниками

В процессе подготовки к практическим занятиям, студентам необходимо обратить особое внимание на самостоятельное изучение рекомендованной учебно-методической (а также научной и популярной) литературы. Самостоятельная работа с учебниками, учебными пособиями, научной, справочной и популярной литературой, материалами периодических изданий и Интернета, статистическими данными является наиболее эффективным методом получения знаний, позволяет значительно активизировать процесс овладения информацией, способствует более глубокому усвоению изучаемого материала, формирует у студентов свое отношение к конкретной проблеме. Более глубокому раскрытию вопросов способствует знакомство с дополнительной литературой, рекомендованной преподавателем по каждой теме семинарского или практического занятия, что позволяет студентам проявить свою индивидуальность в рамках выступления на данных занятиях, выявить широкий спектр мнений по изучаемой проблеме.

Методические рекомендации по подготовке к устному опросу

Самостоятельная работа студентов включает подготовку к устному опросу на практических занятиях. Для этого студент изучает лекции преподавателя, основную и дополнительную литературу, информацию из Интернет-ресурсов.

Тема и вопросы к практическим занятиям, вопросы для самопроверки содержатся в данном пособии и доводятся до студентов заранее. Эффективность подготовки студентов к устному опросу зависит от качества ознакомления с рекомендованной литературой. Для подготовки к устному опросу студенту необходимо ознакомиться с материалом, посвященным теме занятия, в учебнике или другой рекомендованной литературе, записях с лекционного занятия, обратить внимание на усвоение основных понятий дисциплины, выявить неясные вопросы и подобрать дополнительную литературу для их освещения, составить тезисы выступления по отдельным проблемным аспектам. В среднем, подготовка к устному опросу по одному занятию занимает от 2 до 8 часов в зависимости от сложности темы и особенностей организации студентом своей самостоятельной работы.