

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ  
ТОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ (НИ ТГУ)

Факультет инновационных технологий

УТВЕРЖДАЮ:

Декан

 С. В. Шидловский

« 29 » 08 2022 г.

Рабочая программа дисциплины

**Фотоника и лазерные технологии**

по направлению подготовки

**27.03.05 Инноватика**

Направленность (профиль) подготовки:

**Управление инновациями в наукоемких технологиях**

Форма обучения

**Очная**

Квалификация

**Бакалавр**

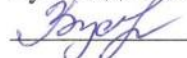
Год приема

**2022**

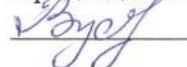
Код дисциплины в учебном плане: Б1.В.ДВ.01.01.04

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель ОПОП

 О.В. Вусович

Председатель УМК

 О.В. Вусович

Томск – 2022

## **1. Цель и планируемые результаты освоения дисциплины**

Целью освоения дисциплины является формирование следующих компетенций:

– ПК-5 – Способен находить и проектировать технико-технологическое решение на основе «лучших практик».

Результатами освоения дисциплины являются следующие индикаторы достижения компетенций:

ИПК-5.1 Знает и умеет анализировать технико-технологическое решение («лучшие практики»).

ИПК-5.2 Составляет план экспериментальных работ, проводит эксперименты и обрабатывает результаты.

ИПК-5.3 Проектирует и обосновывает/ доказывает технико-технологические решения по тематике исследований.

## **2. Задачи освоения дисциплины**

– Знать: методы и способы постановки и решения задач физических исследований в области фотоники, физики лазеров и лазерных технологий.

– Уметь: применять изученные модели и методы для нахождения решения простых задач в области фотоники, физики лазеров и лазерных технологий.

– Владеть: разделами физики, необходимыми для решения научно-инновационных задач, и применять результаты научных исследований в инновационной деятельности.

## **3. Место дисциплины в структуре образовательной программы**

Дисциплина относится к части образовательной программы, формируемой участниками образовательных отношений, предлагается обучающимся на выбор. Дисциплина входит в модуль Название модуля.

## **4. Семестр(ы) освоения и форма(ы) промежуточной аттестации по дисциплине**

Пятый семестр, зачет

Шестой семестр, экзамен

## **5. Входные требования для освоения дисциплины**

Для успешного освоения дисциплины требуются компетенции, сформированные в ходе освоения образовательных программ предшествующего уровня образования.

## **6. Язык реализации**

Русский

## **7. Объем дисциплины**

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 з.е., 216 часов, из которых:

-лекции: 56 ч.

-лабораторные: 56 ч.

в том числе практическая подготовка: 104 ч.

Объем самостоятельной работы студента определен учебным планом.

## **8. Содержание дисциплины, структурированное по темам**

### **I Лазерные технологии**

Тема 1. Определение квантовой электроники.

*Краткое содержание темы.* Индуцированные и спонтанные переходы, коэффициенты Эйнштейна. Когерентность индуцированного излучения. Соотношение неопределенностей «энергия – время», естественное время жизни, ширина спектра

спонтанного излучения. Лоренцева форма линии. Вероятность индуцированных переходов при монохроматическом излучении. Однородное и неоднородное уширения. Гауссова форма линии при доплеровском уширении.

#### Тема 2. Лазеры-усилители.

*Краткое содержание темы.* Поглощение и усиление. Активная среда. Сечение поглощения. Эффект насыщения. Плотность потока энергии насыщающего излучения. Импульсный режим, энергия насыщения. Усиление и генерация. Полоса пропускания усилителя бегущей волны. Шум квантового усилителя. Максимальная выходная мощность. Импульсный режим, максимальная выходная энергия, изменение формы импульса при нелинейном усилении.

#### Тема 3. Генерация.

*Краткое содержание темы.* Открытый резонатор, его добротность. Регенерация резонатора при усилении. Пропускной резонаторный усилитель. Отражательный усилитель. Условия самовозбуждения. Условия резонанса. Частота генерации. Максимальная выходная мощность.

#### Тема 4. Открытые резонаторы.

*Краткое содержание темы.* Резонаторы в электронике. Переход к коротким волнам. Падение добротности и сгущение резонансов замкнутых объемов. Открытые резонаторы, прореживание спектра. Число Френеля. Моды. Время жизни моды пассивного резонатора. Дифракционные потери. Метод Фокса и Ли. Интегральное уравнение открытого резонатора.

#### Тема 5. Гауссовы пучки.

*Краткое содержание темы.* Конфокальный резонатор. Распределение поля. Гауссовы пучки. Размер пятна. Расходимость излучения. Радиус кривизны волнового фронта. Преобразование гауссовых пучков линзой. Согласование мод резонаторов. Фокусирование гауссовых пучков. Продольный и поперечный размеры фокальной области.

#### Тема 6. Устойчивость резонаторов.

*Краткое содержание темы.* Устойчивость линзовых световодов. Световод с одинаковыми линзами. Световод с чередующимися линзами двух различных фокусных расстояний. Условие устойчивости, диаграмма устойчивости. Эквивалентность линзового световода и открытого резонатора. Типы устойчивых резонаторов. Селекция поперечных мод диафрагмой. Неустойчивые резонаторы.

#### Тема 6. Неустойчивые резонаторы.

*Краткое содержание темы.* Геометро-оптическое рассмотрение. Коэффициент увеличения, потери на излучение. Симметричный резонатор, телескопический резонатор. Эквивалентное число Френеля. Селекция продольных мод. Частотная селекция, пространственная селекция тонкими поглотителями. Дисперсионные резонаторы.

#### Тема 7. Синхронизация мод.

*Краткое содержание темы.* Генерация излучения в нескольких продольных модах. Нерегулярный характер спектра генерации. Затягивание мод. Синхронизация мод. Длительность и период следования импульсов при синхронизации мод. Активная и пассивная синхронизация. Самосинхронизация. Модуляция добротности. Провал Лэмба.

#### Тема 8. Газовые лазеры.

*Краткое содержание темы.* Особенности газообразной активной среды. Основные методы возбуждения. Электрический разряд, газодинамика, химическое возбуждение, фотодиссоциация, оптическая накачка. Резонансная передача энергии возбуждения при столкновениях. Гелий-неоновый лазер. Схема уровней. Передача энергии возбуждения. Конкуренция линий излучения на волнах 3,39 и 0,63 мкм. Параметры разряда, параметры лазера.

Тема 9. Ионные лазеры. Лазеры на парах металлов.

*Краткое содержание темы.* Аргоновый лазер. Схема уровней. Двухступенчатое возбуждение. Зависимость от плотности тока разряда. Условие инверсии. Эффект перекачки газа в разряде. Параметры лазера. Гелий-кадмиевый лазер. Пеннинговский механизм ионизации и возбуждения. Схема уровней. Катафорез. Параметры лазера. К. п. д. газоразрядных лазеров. Самоограниченные переходы. К. п. д., энергия, мощность лазеров на самоограниченных переходах. Медный лазер, схема уровней, параметры лазера.

Тема 10. CO<sub>2</sub> - лазеры.

*Краткое содержание темы.* Молекулярные лазеры. Требования к рабочему веществу мощных газовых лазеров с высоким КПД. Колебательные спектры молекул. Р-, Q-, R-ветви. Нормальные колебания многоатомных молекул. CO<sub>2</sub>-лазер, общие сведения. Молекула CO<sub>2</sub>. Механизм инверсии. Роль азота и гелия. Лазеры с продольной прокачкой. Отпаянные лазеры.

Тема 11. Лазеры на основе конденсированных сред.

*Краткое содержание темы.* Специфика оптической накачки активной среды лазера. Квантовые приборы с оптической накачкой, работающие по - трёхуровневой схеме. Рубиновый лазер. Эрбиевый волоконно-оптический квантовый усилитель. Квантовые приборы, работающие по - четырехуровневой схеме. Неодимовый лазер. Преобразование частоты излучения в нелинейной среде. Перестраиваемые лазеры на красителях. Параметрическая генерация света.

Тема 12. Полупроводниковые лазеры.

*Краткое содержание темы.* Принцип действия. Инжекционная накачка. ДГС - лазеры. РОС - и ВРПИ - лазеры.

Тема 13. Важнейшие применения лазеров.

*Краткое содержание темы.* Области применения лазеров. Оптическая голография. Квантовые эталоны и стандарты частоты в СВЧ и оптическом диапазонах.

Тема 14. Важнейшие применения лазеров.

*Краткое содержание темы.* Резонансное возбуждение частиц. Селективное возбуждение изотопов. Генерация импульсов света ультракороткой длительности.

## **II Фотоника**

Тема 15. Задачи фотоники.

*Краткое содержание темы.* Направления фотоники. Оптоинформатика. Оптические наноструктуры и их свойства. Фотонные кристаллы.

Тема 16. Источники излучения.

*Краткое содержание темы.* Полупроводниковые наноструктуры и наноструктуры. Источники фотонов. Материалы и структуры полупроводниковых

устройств. Квантово-размерные лазеры и лазеры с микрорезонаторами: Лазеры на квантовых ямах. Лазеры на квантовых точках. Полупроводниковые вертикально излучающие лазеры. Фотонно-кристаллические лазеры с микрорезонаторами.

Тема 17. Фотоприемники.

*Краткое содержание темы.* Полупроводниковые детекторы фотонов для оптических приемников. Солнечные фотоэлементы: (Солнечные элементы на основе металлоорганических перовскитов.) Приборы с зарядовой связью.

Тема 18. Модуляторы.

*Краткое содержание темы.* Электрооптические модуляторы света. Интегрально-оптические модуляторы света. Электропоглощающие модуляторы на основе эффекта Келдыша-Франца и квантоворазмерного эффекта Штарка. Магнитооптические модуляторы света. Акустооптические модуляторы света. Пространственные модуляторы света. Оптроны.

Тема 19. Оптика неоднородных сред.

*Краткое содержание темы.* Волоконный световод: характеристики, технология изготовления и их применение. Специальные волноводы: Фокон, градан, сельфок. Мутные среды. Интегральная оптика: Активные элементы интегральной оптики и технология интегральной оптики.

Тема 20. Волоконно-оптические системы связи.

*Краткое содержание темы.* Волоконно-оптические системы связи. Волноводные оптические усилители и лазеры: Волоконный усилитель легированные эрбием и волоконные ВКР-усилители. Нанополяризаторы.

Тема 21. Технологии наноплазмоники.

*Краткое содержание темы.* Плазмоника: плазмоны и плазмонный резонатор. Наноплазмоника: плазмонный нанолазер. Применения устройств наноплазмоники.

Тема 22. Технологии наноплазмоники.

*Краткое содержание темы.* Метаматериалы. «Правые» и «Левые» изотропные среды. Оптика материалов с отрицательным показателем преломления. Оптические плазмонные метаматериалы. Применение оптических метаматериалов для волнового обтекания предметов. Метаповерхности. Гибридные наноплазмонные антенны.

Тема 23. Оптическая запись, хранение и считывание информации.

*Краткое содержание темы.* Магнитные элементы памяти. Электрические элементы памяти. Оптические элементы памяти. Голографические элементы памяти. Запоминающие устройства на одноквантовых джозефсоновских элементах памяти. Сегнетоэлектрические энергонезависимые запоминающие устройства.

Тема 24. Оптические технологии в вычислительной технике.

*Краткое содержание темы.* Оптические логические устройства на основе оптической бистабильности. Аналоговые оптические вычисления. Аналоговые процессоры. Оптические процессоры нечеткой логики. Оптические нейронно-сетевые компьютеры.

Тема 25. Физические основы квантовой нанотехнологии.

*Краткое содержание темы.* Квантовая нанотехнология. Теоретические элементы для построения квантового компьютера. Получение запутанных квантовых состояний. Неравенства Белла.

Тема 26. Квантовые вычисления и операции.

*Краткое содержание темы.* Кубиты. Вычисление на квантовом компьютере. Однокубитовые вентили. Трехмерная визуализация кубита. Логические элементы, действующие на два кубита. Логические элементы, действующие на три кубита. Универсальные квантовые вентили.

Тема 27. Квантовые вычисления и операции.

*Краткое содержание темы.* Теорема о запрете клонирования. Квантовая телепортация состояний. Квантовая коммуникация. Квантовая криптология. Квантовые алгоритмы.

Тема 28. Квантовый компьютер.

*Краткое содержание темы.* Идеальный квантовый компьютер. Сравнение квантового компьютера с оптическим компьютером. Физические проблемы квантовых компьютеров. Общие требования для реализации квантового компьютера. Квантовый компьютер на основе спектрометра ядерного магнитного резонанса. Квантовые компьютеры на различной физической основе.

## **9. Текущий контроль по дисциплине**

В процессе изучения дисциплины предусмотрены несколько форм контроля. Оценка знаний, умений и навыков деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций по дисциплине, проводится в форме текущего контроля.

Текущий контроль по дисциплине проводится путем контроля посещаемости, проведения контрольных работ, тестов по лекционному материалу, и фиксируется в форме контрольной точки не менее одного раза в семестр.

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, консультации, самостоятельная работа студента и её контроль преподавателями с помощью заданий.

## **10. Порядок проведения и критерии оценивания промежуточной аттестации**

**Зачет** в пятом семестре проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность зачета 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Основные понятия физики лазеров и квантовой электроники. Историческая справка.
2. Развитие физики лазеров в Томском госуниверситете и в г. Томске.
3. Спонтанное и вынужденное излучение, поглощение.
4. Принцип работы лазера.
5. Схема устройства лазера. Схемы накачки. Трехуровневая и четырехуровневая схемы лазера.
6. Общая теория оптического квантового усилителя и генератора. Двух- и трехуровневые лазеры.
7. Общая теория оптического квантового усилителя и генератора. Четырехуровневый лазер.
8. Оптические резонаторы. Типы колебаний. Модовая структура.
9. Оптические резонаторы. Добротность резонатора. Открытый резонатор. Конфигурации зеркал.
10. Пространственные и временные характеристики лазерного излучения. Режимы работы лазера: свободный, модуляции добротности, синхронизации мод.

11. Когерентность лазерного излучения. Фокусировка.
12. Угол расходимости пучка. Коллимация лазерного пучка.
13. Поляризация. Угол Брюстера. Резонатор и ширина линии. Спектральный состав лазерного излучения.
14. Компоненты лазеров и вспомогательные устройства. Зеркала. Поляризаторы. Материалы для окон.
15. Модуляторы добротности. Нелинейные оптические элементы.
16. Классификация лазеров с учетом различных методов накачки.
17. Газовые лазеры. Особенности газообразной активной среды. Основные методы возбуждения (электрический разряд, газодинамика, химическое возбуждение, фотодиссоциация, оптическая накачка).
18. Гелий-неоновый лазер. Схема уровней. Передача энергии возбуждения. Параметры разряда, параметры лазера.
19. Лазер на парах меди. Механизм генерации и основные характеристики лазеров на самоограниченных переходах. Трехуровневая модель. Режим насыщенной мощности.
20. Лазеры на парах металлов. Способы введения паров металлов. Управление параметрами Cu-лазера путем воздействия на электронную компоненту плазмы.
21. Ионные лазеры. Аргоновый лазер. Схема уровней.
22. Ионные лазеры. Конструкция активных элементов.
23. Лазеры на ионах Ba, Ca, Sr
24. He-Cd-лазер. Параметры лазера. Пеннинговский механизм ионизации и возбуждения. Схема уровней. Катафорез.
25. Лазеры с оптической накачкой. Лазер на парах ртути с оптической накачкой.
26. CO<sub>2</sub>-лазер. Параметры лазера. Накачка в CO<sub>2</sub> – лазере. Вращательная структура.
27. CO<sub>2</sub>-лазеры с медленной и быстрой продольной прокачкой. Отпаянные лазеры. Волноводные лазеры.
28. CO<sub>2</sub>-лазеры с поперечной прокачкой. CO<sub>2</sub> - лазеры атмосферного давления с поперечным возбуждением. Газодинамический CO<sub>2</sub> – лазер.
29. Лазер на алюмоиттриевом гранате с неодимом. Физический принцип действия лазера на АИГ:Nd<sup>3+</sup> в режимах свободной генерации и модуляции добротности резонатора.
30. Излучатели твердотельных лазеров.
31. Волоконные лазеры.
32. Диодные лазеры.

Результаты зачета определяются оценками «зачтено», «незачтено».

«зачтено» - даны полные ответы на вопросы, студент продемонстрировал глубокое овладение лекционным материалом.

«незачтено» - в ответах допущены ошибки, ответ выстроен не логично, сумбурно.

**Экзамен в шестом семестре** проводится в устной форме по билетам. Билет содержит два теоретических вопроса. Продолжительность экзамена 1,5 часа.

Примерный перечень теоретических вопросов

1. Оптические системы лазерной обработки.
2. Поглощение излучения металлами и их оптические свойства.
3. Физическая модель лазерной обработки.

4. Лазерная обработка материалов: взаимосвязь между обработкой материалов и параметрами лазеров.
5. Технологические лазеры.
6. Лазерное излучение в обработке материалов.
7. Моделирование лазерной обработки.
8. Лазерная микрообработка.
9. Лазерные системы для обработки материалов.
10. Применение лазеров в обработке материалов.
11. Лазерная резка.
12. Лазерная сварка.
13. Преимущества лазерной обработки материалов по сравнению с другими способами.
14. Влияние степени черноты  $\epsilon$  различных металлов на параметры сварки и резки металлов.
15. Параметры лазерного излучения, используемого для резки различных марок и толщин металлов.

Результаты экзамена определяются оценками «отлично», «хорошо», «удовлетворительно», «неудовлетворительно».

Уровень освоения	оценка
Студент показал отличные знания об устройстве и принципе работы лазеров. Успешно выполнил лабораторные работы и практические задания по дисциплине.	отлично
При ответе допущены незначительные ошибки и/или неточности. Успешно выполнены лабораторные работы и практические задания по дисциплине.	хорошо
При ответе допущены грубые ошибки. Выполнены лабораторные работы, практические задания сданы.	удовлетворительно
Незнание значительной части программного материала, неумение даже с помощью преподавателя сформулировать правильные ответы на поставленные вопросы, невыполнение лабораторных и практических работ.	не удовлетворительно

### 11. Учебно-методическое обеспечение

- а) Электронный учебный курс по дисциплине в электронном университете «Moodle» - <https://moodle.tsu.ru/course/view.php?id=00000>
- б) Оценочные материалы текущего контроля и промежуточной аттестации по дисциплине.
- в) Методические указания по проведению лабораторных работ.
- г) Методические указания по организации самостоятельной работы студентов.

### 12. Перечень учебной литературы и ресурсов сети Интернет

- а) основная литература:
  1. Л.В. Тарасов, Четырнадцать лекций о лазерах / Издательство: ЛИБРОКОМ, 2011. – 174 с.
  2. О. Звелто, Принципы лазеров / Пер. под науч. Ред. Т.А. Шмаонова. 4-ое изд. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 720 с.
  3. Айхлер Ю., Айхлер Г.-И. Лазеры. Исполнение, управление, применение / Серия: МИР физики и техники // М.: Техносфера, 2008. — 442 с.
  4. Менушенков, А.П. Физические основы лазерной технологии: учебное пособие для вузов. Учебные пособия / А.П. Менушенков, В.Н. Неволин, В.Н. Петровский. - М. : НИЯУ МИФИ, 2010. - 212 с.



5. Вакс, Е.Д. Практика прецизионной лазерной обработки. / Миленький М.Н., Сапрыкин Л.Г. – М.: Техносфера, 2013. – 710 с.

б) дополнительная литература:

1. Н.В. Карлов. Лекции по квантовой электронике. М., Наука, 1988.
  2. А.Н. Солдатов, Е.Л. Латуш, Г.Д. Чеботарев, Н.А. Юдин, А.В. Васильева, Ю.П. Полуин, О.О. Пруцаков, Импульсно-периодические лазеры на парах стронция и кальция/под ред. А.Н. Солдатова, Е.Л. Латуша. – Томск: ТМЛ-Пресс, 2012. - 520 с.
  3. В.А. Малышев, Основы квантовой электроники и лазерной техники / Издательство: Высшая школа, 2005. - 543 с.
  4. В.П. Вейко, М.Н. Либенсон, Г.Т. Червяков, Е.Б. Яковлев, Взаимодействие лазерного излучения с веществом. Силовая оптика/Под ред. В.И. Конова. – М.: Физматлит. 2008. – 312 с.
  5. Борейшо, А.С. Лазеры: устройство и действие. [Электронный ресурс] : Учебные пособия / А.С. Борейшо, С.В. Ивакин. — Электрон.дан. — СПб. : Лань, 2016. — 304 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/72972> — Загл. с экрана.
  6. Земский, В.И. Физика и техника импульсных лазеров на красителях. [Электронный ресурс] : Монографии / В.И. Земский, Ю.Л. Колесников, И.К. Мешковский. — Электрон.дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2005. — 176 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/43763> — Загл. с экрана.
  7. Голубенко, Ю.В. Волоконные технологические лазеры. [Электронный ресурс] : Учебные пособия / Ю.В. Голубенко, А.В. Богданов, Ю.В. Иванов. — Электрон.дан. — М. : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010. — 50 с. — Режим доступа: <http://e.lanbook.com/book/52342> — Загл. с экрана.
- Шахно Е. А. Аналитические методы расчета лазерных микро– и нанотехнологий. Учебное пособие – СПб: СПбГУ ИТМО, 2009. – 77 с.
- Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. – М.: Машиностроение, 1989.
- Григорьянц А.Г., Сафонов А.Н. Лазерная техника и технология. Основы лазерного термоупрочнения сплавов, т. 6. – М.: Высшая школа, 1988.
- Серебряков, В.А. Лазерные технологии в медицине. — СПб. : НИУ ИТМО, 2009. — 266 с.

в) ресурсы сети Интернет:

1. Ресурсы Российской электронной библиотеки [www.elibrary.ru](http://www.elibrary.ru)
2. Вейко, В.П. Введение в лазерные технологии. [Электронный ресурс] / В.П. Вейко, А.А. Петров. — Электрон.дан. — СПб. : НИУ ИТМО, 2009. — 143 с.
3. Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU [Электронный ресурс]. – Электрон.дан. – М., 2000- . – URL: <http://elibrary.ru/defaultx.asp?>
4. OSA Publishing [Electronic resource] / The Optical Society of America (OSA). – Electronic data. – Washington, USA, 2016. – URL: <https://www.osapublishing.org/>
5. SpringerLink [Electronic resource] / Springer International Publishing AG, Part of
6. Springer Science+Business Media. – Electronic data. – Cham, Switzerland, [s. n.]. – URL: <http://link.springer.com/>

### 13. Перечень информационных технологий

- а) лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
- Microsoft Office Standart 2013 Russian: пакет программ. Включает приложения: MS Office Word, MS Office Excel, MS Office PowerPoint, MS Office On-eNote, MS Office Publisher, MS Outlook, MS Office Web Apps (Word Excel MS PowerPoint Outlook);
  - публично доступные облачные технологии (Google Docs, Яндекс диск и т.п.).

- программным обеспечением для обработки изображений CX31, CarlZeiss

б) информационные справочные системы:

- Электронный каталог Научной библиотеки ТГУ –  
<http://chamo.lib.tsu.ru/search/query?locale=ru&theme=system>
- Электронная библиотека (репозиторий) ТГУ –  
<http://vital.lib.tsu.ru/vital/access/manager/Index>
- ЭБС Лань – <http://e.lanbook.com/>
- ЭБС Консультант студента – <http://www.studentlibrary.ru/>
- Образовательная платформа Юрайт – <https://urait.ru/>
- ЭБС ZNANIUM.com – <https://znanium.com/>
- ЭБС IPRbooks – <http://www.iprbookshop.ru/>

#### **14. Материально-техническое обеспечение**

Аудитории для проведения занятий лекционного типа.

Аудитории для проведения занятий семинарского типа, индивидуальных и групповых консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации.

Помещения для самостоятельной работы, оснащенные компьютерной техникой и доступом к сети Интернет, в электронную информационно-образовательную среду и к информационным справочным системам.

Лаборатории, оборудованные:

- 2 лазерно-оптических стенда;
- микроскоп в комплекте с программным обеспечением для обработки изображений CX31, CarlZeiss
- лазерный комплекс с дискретной и непрерывной перестройкой длины волны (Модель «ЛИТТ-Дуе»), ООО «ЛИТТ» (сертификат соответствия);
- лазерный комплекс «Минимаркер 10 М»;
- лазерный комплекс «Speedy 100 R»;
- лазерный проектор GS-06W-Air;
- осциллограф Tektronix TDS 3014B;
- коммуникационный модуль TDS3GV;
- щуп токовый P6022 (60MHZ,250A, 5 FT);
- щуп высоковольтный P6015A (75МГц, 40КВ, 2,5м кабель);
- пакет для анализа осциллограмм WaveStar, Tektronix;
- спектрометр в области от 0,5 до 1,1 мкм;
- измеритель оптической мощности (термоголовка, дисплей), OPHIR Optronics;
- анализатор профиля пучка, OPHIR Optronics;
- анализатор спектра излучения, OPHIR Optronics;
- спектрометр FSD-8.

#### **15. Информация о разработчиках**

Юдин Николай Александрович, доктор технических наук, профессор каф. управления инновациями ТГУ;

Реймер Игорь Викторович, старший преподаватель каф. управления инновациями ТГУ;

Васильева Анна Викторовна, старший преподаватель каф. управления инновациями ТГУ