

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ИНК

  
В.Н. Бориков  
«27» 04 2016 г.

**БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Квантовая и оптическая электроника**

Направление ООП

11.03.04 Электроника и наноэлектроника

Номер кластера (для унифицированных дисциплин) \_\_\_\_\_

Профиль(и) подготовки (специализация, программа)

Промышленная электроника, Прикладная электронная инженерия

Квалификация (степень) бакалавр

Базовый учебный план приема 2016 г.

Курс 3 семестр 5

Количество кредитов 3

Код дисциплины ДИСЦ.В.М15

Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения
Лекции, ч	16
Практические занятия, ч	16
Лабораторные занятия, ч	16
Аудиторные занятия, ч	48
Самостоятельная работа, ч	60
ИТОГО, ч	108

Вид промежуточной аттестации экзамен

Обеспечивающее подразделение кафедра промышленной и  
медицинской электроники Института неразрушающего контроля

Заведующий кафедрой ТПС  В.Н. Бориков

Заведующий кафедрой ПМЭ  Ф.А. Губарев

Руководитель ООП  В.В. Гребенников

Преподаватель  Г.С. Евтушенко

2016 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Цели освоения дисциплины:

в области обучения – формирование специальных знаний, умений, навыков расчета и проектирования, а также компетенций в сфере современных высокоэффективных электронных систем;

в области воспитания – научить эффективно работать индивидуально и в команде, проявлять умения и навыки, необходимые для профессионального, личностного развития;

в области развития – подготовка студентов к дальнейшему освоению новых профессиональных знаний и умений, самообучению, непрерывному профессиональному самосовершенствованию.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина «Квантовая и оптическая электроника» относится к вариативной части междисциплинарного профессионального модуля дисциплин. Пререквизитами данной дисциплины являются модуль «Физика» и дисциплина «Вакуумная, плазменная и твердотельная электроника», которые преподаются в предыдущих семестрах.

## 3. Результаты освоения дисциплины (модуля)

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т.ч. в соответствии с ФГОС:

Таблица 1

Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении данной дисциплины

Результаты обучения (компетенции из ФГОС)	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р1 (ОК-6, ОК-7, ОПК-1 ОПК-2, ОПК-5)	З.1.2	фундаментальные законы природы и основные законы физики;	У.1.2	химические законы для решения практических задач;	В.1.2	Применять методы математического описания физических явлений и процессов, определяющих принципы работы различных технических устройств
Р6 ОПК-7, ПК-1, ПК-2)	-	-	-	-	В.6.1	использования новых технологий, обеспечивающих повышение эффективности проектов, технологических процессов,

						эксплуатации и обслуживания новой техники в области электроники и нанoeлектроники;
--	--	--	--	--	--	--

В результате освоения дисциплины «Квантовая и оптическая электроника» студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

**Планируемые результаты освоения дисциплины**

№ п/п	Результат
РД1	Применять знания основных характеристик, параметров, моделей, схем замещения базовых компонентов оптоэлектронных схем.
РД2	Выполнять простейшие расчеты отдельных узлов электронной аппаратуры.
РД3	Выполнять обработку и анализ данных, полученных при теоретических и экспериментальных исследованиях.

**4. Структура и содержание дисциплины**

4.1 Содержание разделов дисциплины:

**ВВЕДЕНИЕ**

Назначение дисциплины и ее место в общепрофессиональной подготовке дипломированного специалиста в области электроники. Предмет и содержание курса, его роль и место среди других дисциплин. Понятие о квантовой и оптической электронике. История развития квантовой электроники и оптоэлектроники. Основные функции и обобщенная схема оптико-электронных прибора.

Раздел 1. Источники излучения.

1.1. Спонтанные и индуцированные переходы, коэффициенты Эйнштейна, когерентность вынужденного излучения. Поглощение и усиление излучения, ширина линии излучения. Способы возбуждения излучения.

1.2. Некогерентные источники излучения.

Абсолютно черное тело. Газонаполненные лампы, в том числе, с парами металлов. Светоизлучающие диоды (СИДы).

1.3. Источники когерентного излучения - лазеры.

1.3.1. Основы физики и техники лазеров.

Активная среда. Условия создания инверсии стационарной и импульсной. Лазеры-усилители. Генерация излучения. Типы резонаторов. Модовая структура излучения, синхронизация мод.

1.3.2. Типы лазеров, принципы работы, преобразование лазерного излучения (6 часов).

Классификация лазеров по способам возбуждения активной среды, по режиму работы (импульсный, непрерывный), по характеру (агрегатному состоянию) активной среды.

Газовые лазеры.

Гелий-неоновый лазер. Схема рабочих уровней. Передача энергии возбуждения, конкуренция лазерных линий. Параметры газового разряда и выходные параметры лазера. Элементы технологии создания отпаянных активных элементов лазера. Аргоновый лазер, схема уровней, двухступенчатое возбуждение. Параметры сильноточного разряда и лазера. CO<sub>2</sub> и СО-лазеры. Механизм создания стационарной инверсии. Роль буферных газов гелия и азота. Импульсный режим работы CO<sub>2</sub>-лазера. Газодинамические CO<sub>2</sub>-лазеры. Азотный лазер. Эксимерные лазеры. Генерация в основное состояние. ХеСl-лазер, его параметры. Лазеры на парах металлов. Твердотельные и полупроводниковые лазеры.

Рубиновый лазер. Уровни энергии иона хрома в корунде. Оптическая накачка рабочих состояний. Неодимовый лазер. Уровни энергии и схема создания инверсии. Выходные параметры неодимового лазера. Диаграмма переходов в полупроводниках. GaAs-лазер, лазеры на двойной гетероструктуре. КПД полупроводниковых лазеров.

Преобразование лазерного излучения. Новые длины волн. Лазеры на красителях. Возможности продвижения в ИК и УФ-диапазоны спектра. Нелинейные кристаллы, генерация вторых гармоник и разностных частот. ВКР-преобразование в газах и парах. Модуляция лазерного излучения.

#### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Вывод условия инверсии
2. Условия подбора оптимальной накачки

#### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ №1. Основы лазерной безопасности. Гелий-неоновый лазер

ЛАБОРАТОРНАЯ №2. Измерение диаметра пучка расходимости излучения  
Раздел 2. Типы сред.

Жидкие, твердые, газообразные. Основные из них (наиболее значимые): атмосфера, вода, оптические волокна, биоткань. Прохождение излучение через вещество, процессы поглощения, рассеяния, нелинейные взаимодействия, возникающие при прохождении через оптическую среду лазерного пучка.

#### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Технологии создания оптических волокон
2. Оптоволоконные линии связи
3. Расчет потерь в линиях связи

#### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ №3. Передача данных по оптоволокну

Раздел 3. Приемники (датчики) оптического излучения.

ФЭУ, ФЭКи, фотодиоды (ФД), лавинные фотодиоды (ЛФД), фотосопротивления, ПЗС-линейки и матрицы). Спектральная чувствительность, быстродействие, шумы.

#### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Анализ быстродействия вакуумных и газонаполненных фотоэлементов

2. Быстродействие полупроводниковых приемников.
3. Выбор приемников для регистрации излучения конкретных типов лазеров.

Раздел 4. Схемы опико-электронных устройств и области их применения.

4.1. Физика и техника оптрона, как основного элемента (ОЭУ).

4.2. Оптические линии связи, Оптические запоминающие устройства. Связь через атмосферу. Волоконная оптика. Типы световодов. Ввод излучения в световод. Потери излучения в световоде. Дисперсия мод. Модуляция излучения. Волоконно-оптические линии связи.

4.3. ОЭУ в системах диагностики и контроля окружающей среды, медицинской оптоэлектроники.

Проникновение излучения в биоткань. Лазерная хирургия. Физические процессы в лазерной хирургии. Хирургические лазерные установки. Лазерная терапия (светотерапия). Механизмы взаимодействия низкоинтенсивного лазерного излучения (НЛИ) с биообъектом. Терапевтические установки на основе лазеров и светоизлучающих диодов. Лазеры в фотодинамической терапии (ФДТ). Лазерная диагностическая аппаратура.

#### ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

1. Решение задачи – распространение излучения на атмосферной трассе.
2. Изучение общей схемы ОЭУ.
3. Бытовая оптоэлектронная аппаратура

#### ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

ЛАБОРАТОРНАЯ №4. Фотоприемники теплового и фотонного действия

## **6. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **6.1 Виды и формы самостоятельной работы**

Самостоятельная работа студентов включает текущую СРС и творческую проблемно-ориентированную самостоятельную работу (ТСР).

Текущая СРС направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает:

– работа с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по индивидуально заданной проблеме дисциплины;

- выполнение домашних заданий, домашних контрольных работ;
- опережающая самостоятельная работа;
- изучение тем, вынесенных на самостоятельную проработку;
- подготовка к лабораторным работам, к практическим занятиям;
- подготовка к контрольным работам;
- подготовка к защите индивидуальных домашних заданий;
- подготовка к зачету.

Творческая самостоятельная работа включает:

- анализ индивидуального домашнего задания;
- поиск, анализ и презентация информации;
- выполнение расчетно-графической работы;
- формулирование выводов о проделанной работе.

### **6.3. Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- самоконтроль;
- контроль со стороны преподавателя.

Контроль самостоятельной работы студентов осуществляется посредством презентации результатов выполнения домашних контрольных и опережающих заданий, получения допуска к выполнению лабораторных работ, защиты индивидуальных домашних заданий и отчетов по выполненным лабораторным работам, подготовки ответов на контрольные вопросы к лабораторным работам. Наряду с контролем СРС со стороны преподавателя предполагается личный самоконтроль по выполнению СРС со стороны студентов.

### **6.4. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

При выполнении самостоятельной работы рекомендуется использовать:

- использование рекомендуемой литературы из раздела 9 программы;
- материалы, размещенные на персональном сайте преподавателя:  
<http://portal.tpu.ru>

## **7. Средства текущей и промежуточной оценки качества освоения дисциплины**

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролируемых мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Тестирование, контрольные работы	РД1, РД2
Защита лабораторных работ	РД2, РД3
Экзамен	РД1, РД2, РД3

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролируемых мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств):

**ПРИМЕРЫ ЭКЗАМЕНАЦИОННЫХ БИЛЕТОВ**  
*Экзаменационный билет № 4*

1. Классификация лазеров по физико-техническим параметрам.
2. Типы световодов. Ввод излучения в световод.
3. Приемники теплового излучения, их типы и параметры.
4. Рассчитать квантовый КПД гелий-неонового лазера (красная длина волны).

#### *Экзаменационный билет № 1*

1. Принцип действия гелий-неонового лазера. Упрощенная схема переходов.
2. Электронно-оптические преобразователи (ЭОПы) излучения, их назначение, принцип работы, основные параметры.
3. Электронный канал типового ОЭУ. Назначение и основные требования к нему.
4. Рассчитать длину волны излучения второй гармоники Cu-лазера (длина волны 510.6 нм).

#### *Экзаменационный билет № 5*

1. Принцип работы полупроводникового лазера. Наиболее известные из них.
2. Прохождение оптического излучения через биоткань, процессы поглощения, рассеяния, отражения и их зависимость от длины волны.
3. Оптрон, его назначение. Основные типы оптронов. Согласование источника и приемника излучения.
4. Рассчитать требуемую мощность лампы накачки твердотельного лазера при заданных параметрах:  $N_{0Cr} = 1 \cdot 10^{19} \text{ см}^{-3}$ ,  $t = 3 \cdot 10^{-3} \text{ с}$ , поглощение происходит в полосу поглощения с  $\nu_0 = 6 \cdot 10^{14} \text{ с}^{-1}$ , КПД лампы = 100%, Длина кристалла – 10 см, диаметр – 0.5 см.

### **Вопросы к государственному экзамену по дисциплине "Физические основы электроники"**

- I. По разделу "Источники излучения".
  1. Классификация лазеров по физико-техническим параметрам.
  2. Активная среда. Что это такое и как она формируется?  
Условия возникновения стационарной инверсии.
  3. Генерация излучения. Резонатор Фабри-Перо.
  4. Кпд лазера, чем определяется. Типичные значения кпд лазеров.
  5. Принцип действия гелий-неонового лазера. Упрощенная схема переходов.
  6. Твердотельные лазеры. Мощностные характеристики и кпд.  
Способы их накачки.
  7. Принцип работы полупроводникового лазера. Наиболее известные полупроводниковые лазеры.
  8. Энергетические, спектральные, пространственные характеристики полупроводниковых лазеров.
  9. Преобразование лазерного излучения в нелинейных кристаллах.  
Цель и возможности.
  10. Модуляция лазерного излучения. Назначение и типы модуляции.

11. Некогерентные источники света, их типы и основные параметры.
12. Светоизлучающие диоды (СИДы). Спектральный диапазон и ширина полосы излучения. Индикаторные СИДы и СИДы большой мощности излучения.

II. По разделу "Среда - (тракт передачи, линия связи)"

1. Основные функции и обобщенная схема опико-электронных устройств.
2. Физические основы передачи излучения по оптическим волокнам.
3. Типы световодов. Ввод излучения в световод.
4. Потери излучения в световоде. Дисперсия мод.
5. Прохождение оптического излучения через биоткань, процессы поглощения, рассеяния, отражения и их зависимость от длины волны.
6. Процессы ослабления излучения при прохождении через атмосферу.

III. По разделу "Приемники (датчики) излучения".

1. Основные требования, предъявляемые к приемникам оптического излучения.
2. Приемники теплового действия, их типы и параметры.
3. Фотоэлементы (ФЭ) и фотоэлектронные умножители (ФЭУ). Принцип действия. Спектральная чувствительность и быстродействие.
4. Фотодиоды, лавинные фотодиоды, их параметры.
5. ПЗС-линейки и матрицы. Принцип действия и характеристики.
6. Электронно-оптические преобразователи (ЭОПы) излучения, их назначение, принцип работы, основные параметры.

IV. По разделу "Применение оптоэлектронных устройств".

1. Основные функции и обобщенная схема опико-электронных устройств.
2. Оптическая схема опико-электронного устройства (ОЭУ).
3. Электронный канал типового ОЭУ. Назначение и основные требования к нему.
4. Согласование фотоприемников с электронными звеньями. Усиление и фильтрация сигналов в электронном тракте.
5. Основные требования к разработке ОЭУ.
6. Применение оптоэлектронных устройств в бытовой технике. Принципы работы лазерных принтеров, компакт-дисков.
7. Оптрон, его назначение. Основные типы оптронов. Согласование источника и приемника излучения.

V. Перечень дополнительных вопросов.

1. Обосновать к каким типам относятся :
  - а) гелий-неоновый лазер,
  - б) полупроводниковые лазеры.
2. Как формируется стационарная инверсия в:
  - а) гелий-неоновом,
  - б) полупроводниковом лазерах.
3. Как осуществить простейший режим модуляции излучения:
  - а) гелий-неонового лазера?
  - б) полупроводникового лазера и СИДа?
4. Основные предпосылки использования оптоэлектронных приборов



в электронной технике.

5. Применение световодной техники в медицине. Есть ли в этом насущная необходимость?
6. Волоконно-оптические линии связи, их преимущества и недостатки по сравнению с традиционными линиями связи.
7. Как осуществить простейшую лазерную связь через
  - а) атмосферу,
  - б) через моноволокно.
8. Основные отличительные особенности лазерного излучения.

VI. Перечень практических заданий.

1. Рассчитать квантовый КПД гелий-неонового лазера.
2. Рассчитать квантовый КПД лазера на парах меди.
3. Рассчитать требуемую мощность лампы накачки твердотельного лазера (при заданных параметрах).
4. Рассчитать мощность излучения, падающую на входной зрачок ОЭУ, при заданных значениях расходимости пучка и коэффициенте ослабления на атмосферной трассе, заданной длины.
5. Рассчитать минимальное значение фокусного расстояния оптической линзы пригодной для заведения излучения в волокно (при заданных значениях коэффициентов преломления и диаметра лазерного пучка).
  1. 6. Рассчитать длины волн излучения вторых гармоник Cu-лазера.

### **8. Рейтинг качества освоения дисциплины**

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с «Положением о проведении текущего оценивания и промежуточной аттестации в ТПУ», в действующей редакции.

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала (ответы на вопросы и др.) и результаты практической деятельности (решение задач, выполнение заданий, решение проблем и др.) производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

### **9. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

## ОСНОВНАЯ

1. Оптоэлектроника / О. Н. Ермаков [и др.]. — М.: Янус-К, 2010 Ч. 2: Оптроника. — 2011. — 612 с.: ил. — Библиогр.: с. 609.. — ISBN 978-5-8037-0506-2.
2. Игнатов, Александр Николаевич. Оптоэлектроника и нанофотоника: учеб. пособие / А. Н. Игнатов. — Москва: Лань, 2011. — 538 с.: ил.: 22. — Рекомендовано Сибирским региональным отделением учебно-методического объединения высших учебных заведений РФ по образованию в области радиотехники, электроники, биомедицинской техники и автоматизации для межвузовского использования в качестве учебного пособия для студентов, обучающихся по направлению подготовки «Электроника и наноэлектроника» и «Телекоммуникации». — Библиогр.: с. 526-530 (90 назв.). — ISBN 978-5-8114-1136-8: 799.92.
3. Квантовая и оптическая электроника [Электронный ресурс]: практикум / Г. С. Евтушенко, Ф. А. Губарев; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ). — 1 компьютерный файл (pdf; 1.1 МВ). — Томск: Изд-во ТПУ, 2010. — Заглавие с титульного экрана. — Электронная версия печатной публикации. — Доступ из корпоративной сети ТПУ. — Системные требования: Adobe Reader..

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ

1. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Изд."Наука", Новосибирск, 152 с.
2. Иванов И.Г., Латуш Е.Л., Сэм М.Ф. Ионные лазеры на парах металлов. Изд."Энергоиздат", Москва, 1990, 255 с.
3. Тарасенко В.Ф., Пойзнер Б.Н. Импульсные лазеры на плотных газах: Физика процессов и экспериментальная техника (Учебное пособие). Изд.ТГУ, Томск, 1992, 143с.
4. Газовые лазеры. Под ред. Мак-Даниеля И. и Нигена У. (перевод с английского). Изд."Мир", Москва, 1986, 550 с.
5. Андреев Ю.М., Буткевич Л.М., Воеводин В.П. и др. Элементная база оптико-электронных приборов. Под ред. Зуева В.Е., Кабанова М.В. Изд. МП "Раско", Томск, 1992, 276 с.
6. Анисимова И.Д., Викулин И.М., Зайтов Ф.А., Курмашов Щ.Д. Полупроводниковые фотоприемники: ультрафиолетовый, видимый и ближний инфракрасный диапазоны спектра. Изд. "Радио и связь", Москва, 1984, 216 с.
7. Калачева Т.С. Полупроводниковые лазеры и модули для ВОЛС Обзоры по электронной технике. Серия 11. Лазерная техника и оптоэлектроника, 1991, вып.6(1629), 28 с.
8. Квантовая электроника. Периодический научно-технический журнал. 1995, т.22, N 10. Спецвыпуск по оптической обработке информации.

9. Приезжев А.В., Тучин В.В., Шубочкин Л.П. Лазерная диагностика в биологии и медицине. Изд. "Наука", М., 1989, 238 с.
10. Лисицын В.Н., Мешалкин Ю.П. Физические основы применения лазеров в биологии и медицине (учебное пособие). Изд. НГУ, Новосибирск, 1993, 41 с.
11. Квантовая электроника. Маленькая энциклопедия. Отв. ред. М.Е. Жаботинский. Изд. "Советская энциклопедия", М., 1969, 432 с.
12. Солдатов А.Н., Соломонов В.И. Газоразрядные лазеры на самоограниченных переходах в парах металлов. Изд. "Наука", Новосибирск, 152 с.
13. Laser Focus World . Периодический журнал, 2000 – 2008 гг.
14. Глебов Б.А. Полупроводниковые приборы. М., Энергоатомиздат, 1990, 576 с.
15. Optoelectronics: An Introduction, J Wilson and J.F.B. Hawkes, 2nd edition, 1989.
16. С.Е. Little Metal Vapour Lasers: Physics, Engineering & Application. John Wiley & Sons Ltd. (Chichester, UK), 1998, 620 p. ISSN 0-471-97387-4.
17. Прикладная лазерная медицина. Учебное и справочное пособие под ред. Х.П. Берлиева, Г.Й. Мюллера . Русский перевод Изд. "Интерэксперт", М., 1997, 330 с.
18. Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Современные проблемы волоконно-оптических линий связи. Том 2 Источники излучения и передающие оптоэлектронные модули. Изд. НТЛ, Томск, 2001, 280 с.
19. Кемельбеков Б.Ж., Мышкин В.Ф., Хан В.А. Оптические кабели связи. Изд. НТЛ, Томск, 2001, 352 с.
20. Евтушенко Г.С., Шиянов Д.В., Губарев Ф.А. Лазеры на парах металлов с высокими частотами следования импульсов. Томск, Изд. ТПУ, 2010.-276 с.
21. Батенин В.М., Бохан П.А., Бучанов В.В., Евтушенко Г.С., Казарян М.А., Карпухин В.Т., Климовский И.И., Маликов М.М. Лазеры на самоограниченных переходах атомов металлов – 2, том 2. Под ред. Батенина В.М. Москва, Изд. «Физматлит», 2011.- 616 с.
22. Губарев Ф. А. , Евтушенко Г. С. Лазеры на парах галогенидов металлов с накачкой емкостным разрядом. - Германия : LAP LAMBERT Academic Publishing, 2012 - 180 с. (монография)

## **10. Материально-техническое обеспечение дисциплины**

Лаборатория электронных цепей и микроэлектроники (ауд. № 246, корпус 16-в ТПУ):

1. Лазер гелий-неоновый – 2 шт.
2. Лазер твердотельный – 3 шт.
3. Лазер на парах меди – 2 шт.

4. Оптоволокна – 10 шт.
5. Приемник излучения теплового действия – 2 шт.
6. Приемник излучения полупроводниковый – 2 шт.
7. Набор оптических элементов

Программа составлена на основе СУОС ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению подготовки 11.03.04 Электроника и наноэлектроника, профили: Промышленная электроника, Прикладная электронная инженерия

Программа одобрена на заседании  
кафедры промышленной и медицинской электроники  
Института неразрушающего контроля

(протокол № 03.16 от 05.02.2016г.)

Автор: Евтушенко Геннадий Сергеевич

Рецензент(ы) \_\_\_\_\_ Гребенников В.В.  
\_\_\_\_\_ Огородников Д.Н.