

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования «Кабардино-Балкарский государственный
университет им. Х.М. Бербекова»
(КБГУ)

Институт электроники, робототехники и искусственного интеллекта
Кафедра электроники и цифровых информационных технологий

УТВЕРЖДАЮ

Руководитель ОПОП

Антон Р.Ш. Тешев

« 12 » февраля 2025 г.

**ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ (ОЦЕНОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ)
ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

**Б1.В.06 «МЕТРОЛОГИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ
ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ»**

Специальность

11.05.01 Радиозлектронные системы и комплексы

Специализация

Радиозлектронные системы передачи информации

Квалификация (степень) выпускника

Инженер

Форма обучения

Очная

Нальчик 2025

1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю), соотнесенных с индикаторами достижения компетенций

Таблица 1

Код и формулировка компетенции	Индикаторы достижения	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУН)
ПК-3. Способен к проведению диагностики и проверки на работоспособность при эксплуатации составных частей радио-электронных систем и комплексов	ПК-3.1 Способен составлять алгоритм проведения диагностических операций, оценивать точность и достоверность результатов	Знать Способы составления алгоритмов, проведения диагностических операций, способы оценки точности и достоверности результатов.
	ПК-3.2 Способен диагностировать и оценивать техническое состояние радиоэлектронных устройств и составных частей радиоэлектронных систем и комплексов.	Уметь диагностировать и оценивать техническое состояние радиоэлектронных устройств и составных частей радиоэлектронных систем и комплексов.
	ПК-3.3 Способен использовать необходимые виды и формы эксплуатационной документации для представления результатов диагностики.	Владеть способами использования необходимых видов и форм эксплуатационной документации для представления результатов диагностики.

2 Шкала оценивания планируемых результатов обучения

2.1 Текущий контроль

Оценка результатов текущей успеваемости в рамках контрольных точек осуществляется посредством 70-балльной системы, при этом за добросовестное посещение занятий обучающийся может набрать до 10 баллов, за качественное прохождение оценочных мероприятий - до 60 баллов.

Таблица 2

Карта распределения рейтинговых баллов в рамках текущего контроля в А семестре

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Лабораторная работа №1 «Организация и планирование измерительного эксперимента».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. На основании априорных данных об объекте исследований - амплитуднофазовом оптоэлектронном датчике перемещений (ОЭДП) разрабатывается методика выполнения измерений	3	3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
2	Лабораторная работа №2 «Обработка и оценка результатов измерительного эксперимента».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. На основании экспериментальных данных устанавливается вид функциональных зависимостей амплитудно-фазового оптоэлектронного датчика перемещений, подбирается математическая модель и параметры аппроксимирующих функций	3	3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
3	Лабораторная работа №3 «Анализ погрешностей измерительной установки».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. На основании градуировочных данных рассчитывается составляющие основной погрешности: погрешность невоспроизводимост	4	4-3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено не верно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не

			и, вариации, градуирования и линейности.		выполнены или все задания выполнены неверно
4	Лабораторная работа №4 «Измерение энергетических характеристик лазерного излучения».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. Работа выполняется с использованием лабораторного фотометра общего назначения. Исследуется зависимость энергии импульсов излучения и импульсной мощности от амплитуды тока накачки полупроводникового квантового генератора.	4	4-3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
5	Лабораторная работа №5 «Определение светотехнических характеристик лампы накаливания».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. Изучаются фотометрические понятия и величины, изучается устройство стенда по исследованию характеристик ламп, снимаются светотехнические характеристики лампы накаливания и на их основе дается оценка экономичности ламп исследуемого типа и области их использования.	4	4-3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
6	Лабораторная работа №6 «Настройка, юстировка и градуировка оптоэлектронного датчика перемещений».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. Осуществляется настройка ОЭДП с помощью контрольно-измерительного пульта	4	4-3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не

					выполнены или все задания выполнены неверно
7	Лабораторная работа №7 «Дистанционное измерение температуры точечных нагретых светящихся тел яркостным пирометром».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. Ознакомиться с основными понятиями, количественными характеристиками и законами равновесного теплового излучения. Изучают методику измерения температуры точечных нагретых светящихся тел яркостным пирометром.	4	4-3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
8	Лабораторная работа №8 «Измерение погрешности опико-электронного преобразователя линейных перемещений».	экспериментальная	Каждая работа выполняется группой студентов в количестве 4 человек. Студенты изучают некоторые методы измерения погрешности ОЭПП: Сравнение результатов измерений величины перемещения, полученных контролируемым преобразователем, и эталонного интерферометрического датчика и другие.	4	4-3- все задания выполнены верно, выводы по работе обоснованы; 2 - все задания выполнены верно, выводы по работе некорректны; 1 – задания выполнены частично или одно из заданий выполнено неверно, выводы содержат ошибки. 0 – задания не выполнены или все задания выполнены неверно
9	Тесты 1	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	8	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов
10	Тесты 2	с применением ДТ	Студент проходит компьютерное тестирование в ЭИОС.	8	Количество баллов пропорционально количеству правильных ответов

1 1	Коллоквиум 1	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	7	7-6– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 5-4 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 3- ответы недостаточно полные; 2 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 1-ответы не на все вопросы, частичные. 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.
1 2	Коллоквиум 2	письменная	Студенты отвечают письменно на вопросы коллоквиума	7	7-6– ответы полные, точные, демонстрируют глубокое понимание темы, аргументация логична; 5-4 – ответы в основном правильные, но содержат незначительные ошибки; 3- ответы недостаточно полные; 2 – ответы частичные, содержат ошибки или требуют наводящих вопросов; 1-ответы не на все вопросы, частичные. 0 – ответы отсутствуют или полностью неверные.
	Итого:			60	

Карта распределения баллов в рамках промежуточной аттестации

№	Оценочное средство	Форма проведения	Порядок проведения	Максимальное количество баллов	Критерии оценивания
1	Билет для зачета	Устный опрос	Билет содержит 2 теоретических вопроса. На теоретические вопросы студент должен ответить	Теоретические вопросы – 30 баллов.	Критерии оценивания теоретических вопросов: 25 до 30 баллов: Глубокий уровень владения материалом, точное знание ключевых концепций,

			устно.		<p>способность анализировать и интерпретировать факты, грамотно строить высказывания, привести примеры, свободно оперировать терминологией.</p> <p>От 19 до 24 баллов: Базовое владение предметом, умение последовательно раскрыть основную мысль вопроса, грамотное применение терминов, наличие существенных элементов анализа и обобщений, но недостаточное развертывание или отдельные неточности.</p> <p>От 13 до 18 баллов: Частичное освоение материала, попытка объяснить основной смысл вопроса, использование некоторых базовых терминов, но отсутствие глубокого понимания сложных моментов, логические недостатки изложения, отсутствие выводов.</p> <p>От 7 до 12 баллов: Ошибочные представления, слабо выраженное владение основными понятиями, значительные затруднения в интерпретации вопросов, существенные фактологические ошибки, отсутствие обоснованных выводов и примеров.</p> <p>От 0 до 6 баллов: Полное непонимание темы, неспособность сформулировать адекватный ответ, грубые ошибки, несоответствие требованиям задания.</p>
--	--	--	--------	--	--

3. Перечень контрольных заданий и иных материалов, необходимых для оценки знаний, умений, навыков и опыта деятельности
Образец типичной лабораторной работы

Лабораторная работа № 4
Измерение энергетических характеристик лазерного излучения

Краткая теория.

По режиму работы существующие лазеры могут быть разделены на три группы:

1. Лазеры, работающие в непрерывном режиме;
2. Импульсные лазеры, излучающие достаточно короткие импульсы с малой частотой повторения (доли герц);
3. Импульсные лазеры, излучающие короткие импульсы, но могущие работать при достаточно высокой частоте повторения.

В соответствии с этим для оценки энергетических характеристик излучения лазеров различных типов удобно применять различные величины.

Для лазеров, работающих в непрерывном режиме, такой характеристикой является мощность излучения P . При проведении измерений приходится в этом случае иметь дело с величинами мощностей от 10^{-3} Вт (лазеры на смеси неона и гелия, полупроводниковые лазеры) до 10^{+5} Вт (лазеры на CO_2). В случае лазеров, работающих в режиме одиночных импульсов, используются следующие характеристики:

1. *Полная энергия импульса излучения* $w_u = \int_0^{\tau} P(t)dt$, где τ – полная длительность импульса излучения, $P(t)$ – мгновенная мощность излучения;

2. *Средняя мощность импульса излучения* $P_u = w_u/\tau$ и *пиковая мощность излучения* P_n , определяется максимумом величины $P(t)$.

Значение энергии импульсов излучения достигает 10^5 Дж (лазеры на твердом теле с усилителями). Средняя мощность в импульсе заключена в диапазоне от 10^3 до 10^{12} Вт.

Излучение лазеров, работающих в режиме повторяющихся импульсов, можно характеризовать аналогичными величинами и кроме того *средней мощностью излучения за период*

$$P = \frac{1}{T} \int_0^{\tau} P(t)dt.$$

Частоты повторения импульсов генераторов такого типа лежат в диапазоне от 1 до $\sim 10^9$ Гц. Средняя мощность излучения заключена в интервале от $\sim 10^{-2}$ до 10^6 Вт.

В ряде случаев приходится измерять энергетические характеристики спонтанного излучения лазерных материалов. В этом случае чувствительность аппаратуры должна быть значительно выше (для импульсного излучения $\sim 10^{-8}$ – 10^{-10} Дж или $\sim 10^{-3}$ – 10^{-5} Вт).

Во всех случаях измерение энергетических характеристик лазеров производят в определенном спектральном интервале. Исследуемый спектральный интервал выделяется фильтром или каким-либо спектральным прибором. В рассматриваемом случае это непринципиально, если известны потери излучения в селективном устройстве.

Основные трудности и ограничения при измерениях энергетических характеристик импульсных лазеров обусловлены малой длительностью импульсов излучения, достигающих до 10^{-12} с. Также возникают трудности, связанные с большим динамическим диапазоном измеряемых мощностей и энергий.

При измерении энергетических характеристик лазерного излучения используются различные принципы преобразования измеряемой величины в сигнал измерительной информации. Среди известных принципов преобразования оптического излучения в электрический сигнал наиболее широкое распространение получили тепловой и фотоэлектрический принципы. Реже применяется пондеромоторный принцип.

При измерениях с тепловыми приемниками излучение поглощается приемным элементом, где поглощенная энергия преобразуется в тепловую, которая тем или другим способом преобразуется в сигнал измерительной информации и измеряется. Для измерения тепловой энергии, выделившейся в приемном элементе, чаще других используются три эффекта: термоэлектрический эффект, эффект изменения сопротивления при изменении температуры и пирозлектрический эффект (изменение поляризации пироактивного кристалла при изменении температуры).

Одно из преимуществ измерения энергетических характеристик излучения лазеров с помощью тепловых приемников заключается в том, что тепловые приемники могут применяться практически в любой области спектра, для любых длин волн. Это обусловлено тем, что поглощающие поверхности могут быть сделаны черными для всей оптической области спектра. Однако для области спектра с длинами волн меньше 1 мкм чувствительность тепловых приемников значительно меньше, чем фотоэлектрических, поэтому для длин волн, короче 1 мкм, они используются относительно редко.

К недостаткам такого типа приемников относятся низкая чувствительность по сравнению с фотоэлектрическими приемниками и большая инерционность, что обусловлено малой скоростью процессов распространения и передачи тепла.

При измерениях с фотодиодами происходит непосредственное преобразование энергии излучения лазера в электрический ток. При освещении фотодиода происходит генерация электронно-дырочных пар. Неравновесные носители заряда разделяются электрическим полем р-п-перехода или внешним полем и протекает ток. Для фотодиода характерны два режима работы – фотодиодный и фотовольтаический. В первом случае к фотодиоду от источника питания подводится напряжение, смещающее р-п переход в обратном направлении и ток через структуру является функцией интенсивности света. Во втором случае р-п-переход сам используется в качестве источника ЭДС или тока. На рис.1. приведены соответствующие схемы включения фотодиодов.

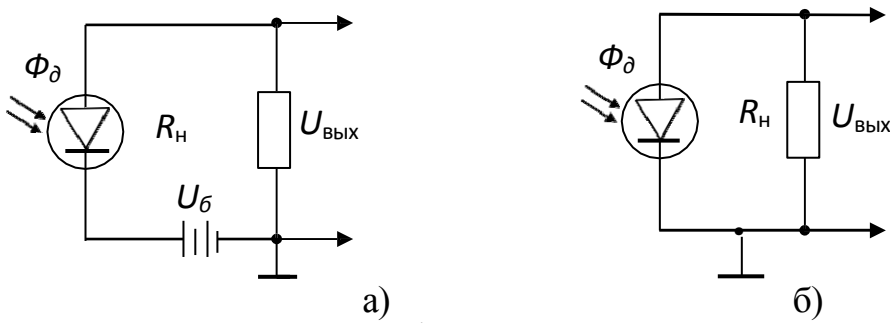


Рис.1. Схемы включения фотодиода:

а) фотодиодный режим; б) фотовольтаический режим.

В общем случае выражение для тока фотодиода имеет вид

$$I = I_{\phi} - I_0(e^{qU/LKT} - 1),$$

где I_{ϕ} – фототок, I_0 – ток насыщения, U – напряжение на диоде. На рис.2. приведена вольтамперная характеристика фотодиода. Рабочим участком вольтамперной характеристики фотодиода в фотодиодном режиме работы является участок насыщения (III) режим $\Phi = 0$ соответствует работе обычного диода. Четвертый квадрант является рабочим при работе фотодиода в фотовольтаическом режиме. Для кремния при комнатных температурах I_0 очень мал, что определяет $I_{\phi} \gg I_0$ и I

$$\approx I_{\phi} = r q K \Phi,$$

где r – квантовый выход внутреннего фотоэффекта; K – безразмерный коэффициент, характеризующий долю излучения, поглощаемого в базе; Φ – поток излучения, падающий на поверхность фотодиода. Данное выражение отвечает световой характеристике фотодиода, которая строго линейна в широком диапазоне освещенностей.

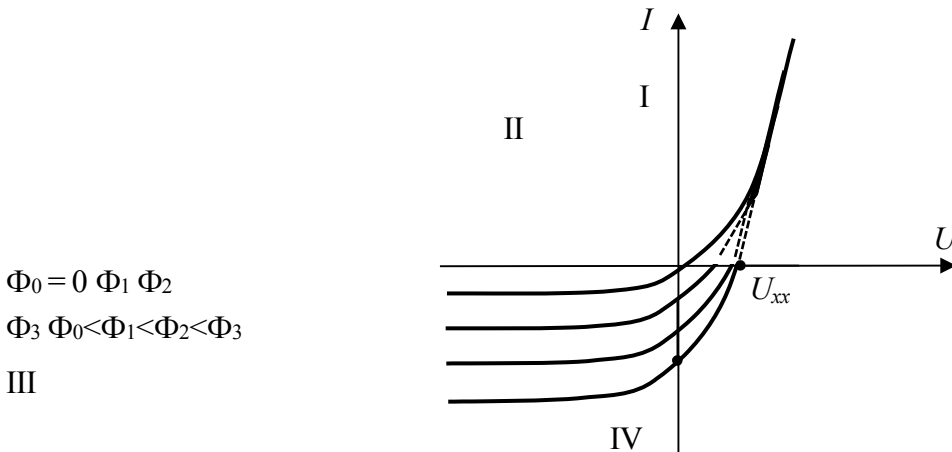


Рис.2. Вольтамперная характеристика фотодиода.

Длинноволновая граница чувствительности фотодиода определяется значением ширины запрещенной зоны используемого полупроводникового материала, а спад в коротковолновой области спектра объясняется тем, что коэффициент поглощения увеличивается и большая часть энергии излучения поглощается в приповерхностном слое базы и меньшая часть носителей доходит до р-п-перехода. Спектральные характеристики германиевого и кремниевого фотодиодов приведены на рис. 3.

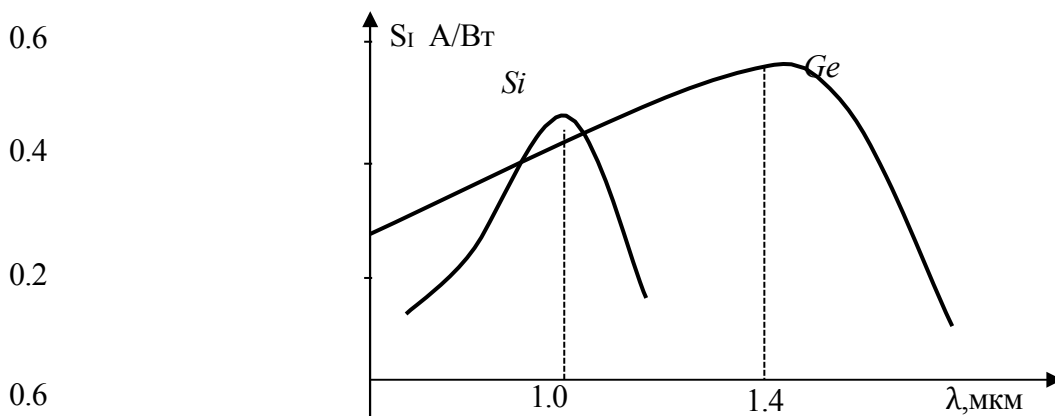


Рис. 3. Спектральные характеристики кремниевого и германиевого фотодиодов.

Как видно из рисунка, эти приемники излучения по сравнению с тепловыми являются селективными. Это обстоятельство приводит к необходимости вводить поправку на спектральную чувствительность приемника при проведении измерений в разных спектральных интервалах. Временные характеристики фотодиодов определяются процессами, связанными с разделением генерируемых под воздействием света, пар носителей и постоянной времени схемной релаксации, определяемой параметрами диода и схемы. Фотодиоды являются самыми быстродействующими приемниками излучения. Инерционность некоторых типов фотодиодов не превышает 10^{-11} .

Измерение энергии одиночных импульсов излучения.

Измерение энергии излучения одиночных импульсов требует некоторых специальных приемов. Рассмотрим некоторые из них.

1. *Измерение энергии одиночных импульсов излучения с помощью тепловых приемников.* Энергия излучения направляется на некоторый приемный элемент, который по своим характеристикам должен приближаться к модели абсолютно черного тела, т. е. поглощение падающей энергии должно происходить наиболее полным образом. Простейшим примером приемного элемента является поглощающий конус (рис. 4.). На всей наружной поверхности этого конуса расположено большое число (тысячи) элементарных термопар, образующих термобатарею 2.

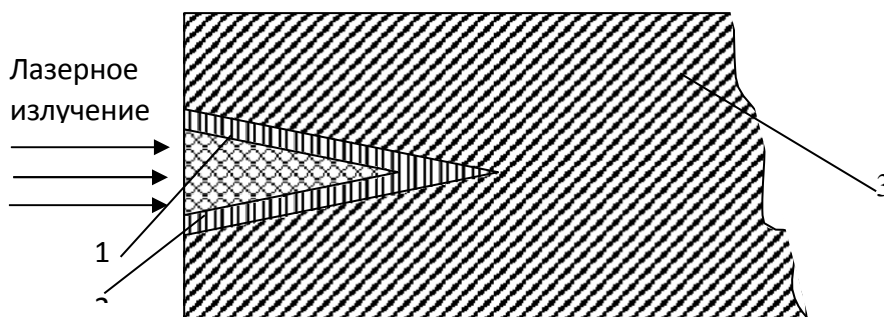


Рис. 4. Простейшая конструкция калориметрического преобразователя:
1— приемный элемент, 2— термобатарея, 3— оболочка.

Для уменьшения тепловых потерь приемный элемент помещается в вакуум, а в простейшем случае помещен в пенопласт. Для исключения влияния изменений температуры окружающей среды на результат измерений в общий

корпус помещают также второй аналогичный приемный элемент (компенсационный). При этом, термобатарейку компенсационного элемента соединяют последовательно и встречно с термобатареей приемного элемента. Изменение температуры такого приемника контролируется соответствующим регистрирующим устройством.

2. Измерение энергии одиночных импульсов излучения по разряду конденсатора за счет фототока вакуумного элемента.

3. Измерительная схема содержит фотоэлемент 1, конденсатор 2, высокоомный (электронный) вольтметр 3, переключатель 4 и источник питания 5. Напряжение на конденсаторе контролируется вольтметром. При регистрации фотоэлементом импульса излучения, напряжение на заряженном до этого от источника питания конденсаторе начнет уменьшаться за счет фототока фотоэлемента.

Полная энергия светового импульса равна $w_u = \int_0^{\tau} P(t) dt$.

С другой стороны, полное изменение заряда конденсатора равно

$$\Delta Q = c \Delta U = \int_0^t I_{\phi}(t) dt = r \int_0^{\tau_u} P(t) dt,$$

где r – коэффициент пропорциональности, определяющий эффективность преобразования энергии излучения в ток. Тогда из приведенных соотношений видно, что

$$w = \frac{c}{r} \Delta U$$

изменение напряжения на конденсаторе пропорционально полной энергии светового импульса, причем инерционность фотоэлемента в данном случае не играет роли, так как несущественно, за какое время фотоэлектроны достигнут анода, важно только, чтобы все фотоэлектроны его достигли. Необходимо

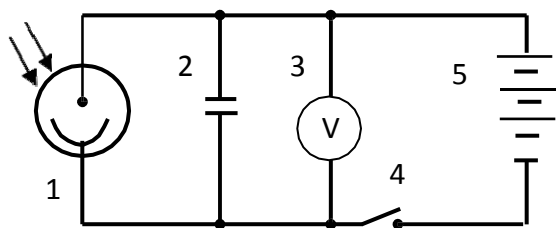


Рис. 5. Измерение энергии импульсов излучения по разряду конденсатора: 1- фотоэлемент, 2- конденсатор, 3- вольтметр, 4- выключатель, 5- источник питания.

обеспечить разряд конденсатора постоянным по величине током. Это требование выполняется, если работать при напряжениях от U_2 до U_1 соответствующих режиму насыщения для фотоэлемента (рис.6).

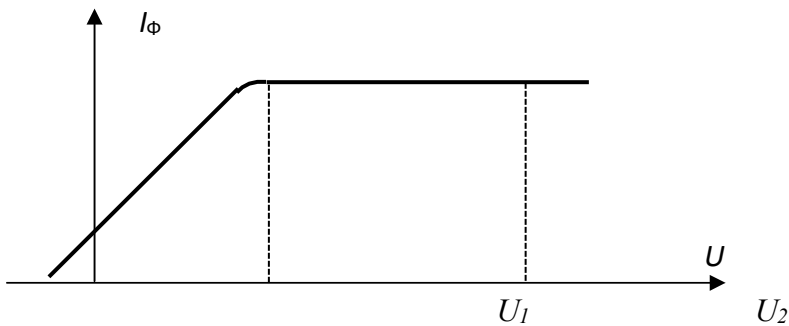


Рис. 6. Вольтамперная характеристика фотоэлемента

Качество измерений определяется минимальными токами утечки конденсатора, а также темновым током используемого фотоэлемента.

4. *Измерение энергии одиночных импульсов излучения по измерению площади кривой формы сигнала, зарегистрированного с помощью фотоприемника и осциллографа.* Для регистрации формы сигнала временное разрешение фотоприемника и осциллографа должно быть высоким. По осциллограмме, зарегистрированной формы сигнала определяется площадь S под кривой в относительных единицах (см^2). Далее измеряется максимальное значение амплитуды импульса A в относительных единицах (см) и определяется длительность эквивалентного по площади прямоугольного импульса:

$$\tau_{\text{экв}} = \frac{S}{A} \cdot \beta,$$

где β – длительность развертки осциллографа (нс/см). Теперь, зная максимальную мощность импульса излучения и длительность эквивалентного импульса, можно найти энергию $E = P\tau$, или наоборот. В противном случае необходима калибровка приемного тракта (фотоприемник-осциллограф) по мощности.

Описание лабораторной установки.

На рис.7 представлена функциональная схема лабораторной установки для исследования энергетических характеристик полупроводникового квантового генератора (ПКГ) с помощью лабораторного фотометра общего назначения (ЛФО).

Генератор импульсов тока накачки ПКГ 1 имеет расширенные функциональные возможности и допускает регулировку их длительности и амплитуды. Амплитуда импульсов тока накачки определяется величиной напряжения на выходе блока питания 5, а их длительность устанавливается с помощью регулятора, выведенного на торцевую панель ПКГ.

Запуск ПКГ осуществляется от внешнего генератора 6, который задает частоту повторения импульсов накачки равную 1кГц и обеспечивает сигнал для синхронизации развертки осциллографа 4.

На один из входов осциллографа подается сигнал с ПКГ 1, который используется для определения параметров импульсов тока накачки (их амплитуды и длительности). При определении тока, протекающего через лазерный диод чувствительность канала вертикального отклонения осциллографа соответствует 0,1 А/мВ.

На другой вход вертикального отклонения осциллографа подается импульс с канала регистрации мощности оптического блока 2 ЛФО.

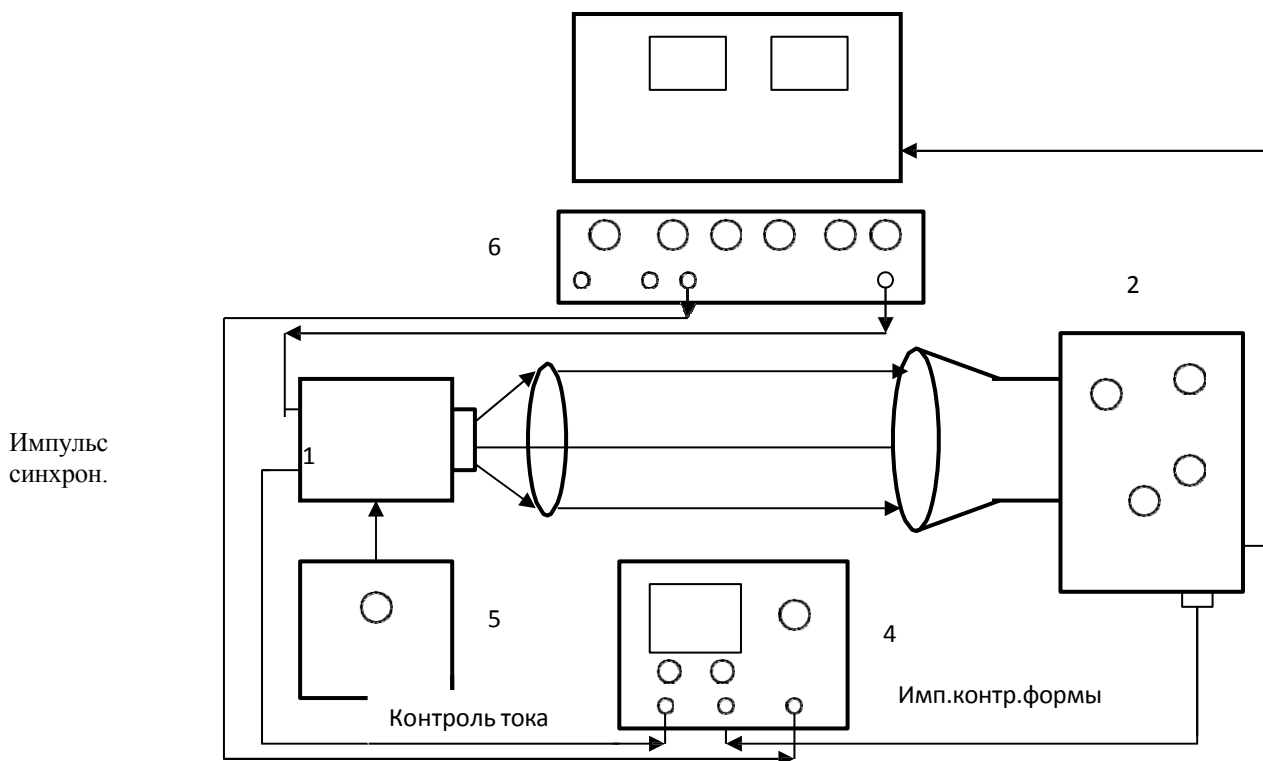


Рис.8. Функциональная схема лабораторной установки:

1-полупроводниковый квантовый генератор, 2-оптический блок ЛФО, 3-блок регистрации и питания ЛФО, 4-электронный осциллограф, 5-блок питания ПКГ, 6- генератор импульсов Г5-67.

Задание:

1. Ознакомиться с лабораторной установкой.
2. Ознакомиться с кратким техническим описанием и инструкцией по эксплуатации лабораторного фотометра общего назначения, изложенными в ПРИЛОЖЕНИИ. Изучить устройство и принцип действия фотометра, назначение органов управления, а также порядок работы: а) в режиме «Визирование»; б) при измерении энергии одиночных и редкоповторяющихся импульсов; в) при регистрации формы и максимальной мощности одиночных импульсов излучения лазера.

3. Перевести фотометр в режим «ВИЗИРОВАНИЕ» и осуществить его наведение на лазер с помощью встроенного в ЛФО визирного устройства и дополнительного зеркала.
4. Исследовать и построить зависимость энергии импульсов излучения и импульсной мощности от амплитуды тока накачки полупроводникового квантового генератора при длительностях импульсов $\tau = 50, 80$ и 120 нс. Частота повторения импульсов задается внешним генератором Г5-67 и равна 1 кГц.
5. Определить КПД лазера при длительности импульса излучения 80 нс, считая, что при максимальной амплитуде импульсов тока накачки, протекающем через лазерный диод, амплитуда напряжения на нем равна $7,5$ вольт.
6. Определить среднюю мощность излучения за период при длительности импульсов тока накачки $\tau = 80$ нс и частоте их повторения 1 кГц.

Лабораторный фотометр общего назначения (краткое описание)

Лабораторный фотометр общего назначения (ЛФО) предназначен для измерения следующих параметров излучения лазера в диапазоне наносекундных длительностей:

- энергии одиночных и редкоповторяющихся импульсов;
- средней энергии импульсов в серии;
- относительного значения среднего абсолютного отклонения энергии импульсов от средней энергии в серии.

Фотометр также содержит первичный фотоэлектрический преобразователь для регистрации мощности одиночных импульсов излучения лазеров и наблюдения их формы на экране широкополосного осциллографа. Рассмотрим принцип действия фотометра.

I. Краткие технические данные фотометра

Фотометр измеряет энергетические параметры одиночных и повторяющихся импульсов излучения лазеров длительностью $5 \cdot 10^{-10} - 10^{-6}$ с на уровне 0.5 максимального значения.

Длительность импульсной характеристики фотоэлектрического преобразователя канала мощности на уровне 0.1 максимального значения не более 0.1 нс. Максимальный рабочий импульсный ток преобразователя не менее 200 мА.

Пределы измерения энергии равны:

$10^{-4} - 10$ Дж на длине волны 0.69 мкм,

$10^{-3} - 10$ Дж на длинах волн 0.53 и 1.06 мкм.

Обеспечение пределов измерения энергии и регистрации максимальной мощности осуществляется введением множителей оптического блока ЛФО и дополнительного множителя энергии в канале измерения энергии, расширяющих пределы измерений в сторону высоких значений энергии и мощности.

II. Принцип действия фотометра

Общий принцип работы фотометра отражен в блок-схеме, приведенной на рис.1.

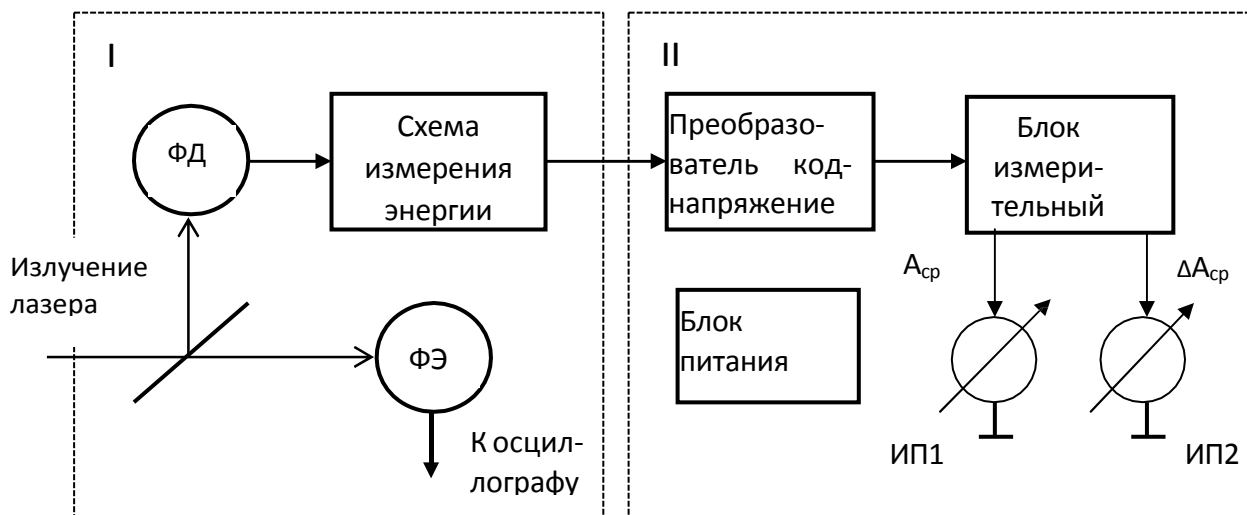


Рис.1. Блок-схема фотометра Л Ф О

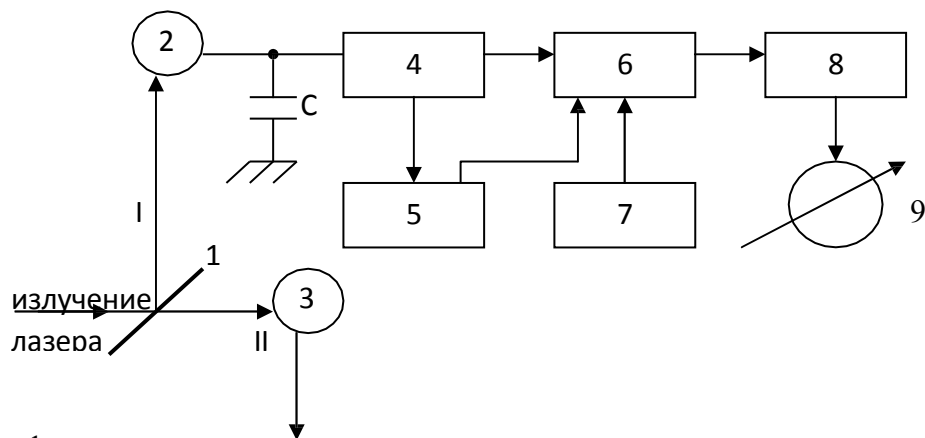
I-блок оптический, II- блок регистрации и питания

Излучение лазера, проходя через оптическую часть блока ЛФО, попадает на фотоприемники: фотодиод ФД-7К (канал измерения энергии) и фотоэлемент Ф-28 (канал регистрации мощности).

Фотодиод ФД-7К преобразует импульсы излучения в импульсы тока, пропорциональные энергии, которые далее преобразуются электрической схемой и результаты измерений регистрируются стрелочными приборами II- го блока ЛФО. Значения измеряемых величин получают как произведения отсчетов по стрелочным приборам на цену деления шкалы фотометра.

Фотоэлемент Ф-28 преобразует импульс излучения в импульс тока, пропорциональный мгновенному значению мощности импульса излучения. Импульс тока подается на вход внешнего быстродействующего осциллографа для последующей регистрации мощности импульса излучения и наблюдения его формы.

Упрощенная функциональная схема блока регистрации фотометра приведена на рис.2.



к осциллографу

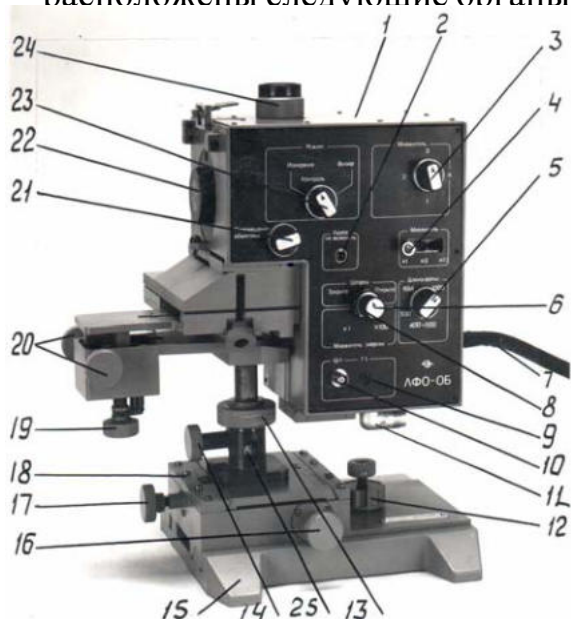
Рис. 2. Упрощенная функциональная схема блока регистрации фотометра: 1 – полупрозрачное зеркало; 2 – фотоприемник канал измерения энергии; 3 – фотоприемник канала регистрации мощности; 4 – блок преобразования амплитуда-длительность; 5 – формирователь импульса сброса; 6 – преобразователь длительность-код; 7 – генератор тактовой частоты; 8 – цифро-аналоговый преобразователь (ЦАП); 9 – стрелочный индикатор

Оптическая схема прибора выполнена так, что излучение лазера разветвляется на два канала: 1 – канал измерения энергии; 2 – канал регистрации мощности. При попадании импульса излучения лазера на фотоприемник (фотодиод) 2 канала измерения энергии, интегрирующая емкость C заряжается током фотодиода до амплитуды, пропорциональной энергии излучения. В блоке 4 разряд конденсатора происходит через схему, позволяющую получить спадающее напряжение, близкое к линейному. Это линейно-изменяющееся напряжение поступает на компаратор, на выходе которого формируется прямоугольный импульс, длительность которого пропорциональна энергии излучения лазера. Таким образом, блок 4 осуществляет преобразование амплитуды сигнала в длительность пропорциональную энергии импульса излучения и обеспечивает получение короткого импульса сброса, который формируется блоком 5 и используется для обнуления пересчетной схемы перед началом измерений. После блока 4 сигнал поступает в блок 6 преобразователя длительность-код. Длительность пришедшего сигнала, пропорциональная энергии импульса излучения, определяет интервал времени в течение которого на пересчетную схему этого блока поступают импульсы с генератора тактовой частоты 7. В результате на выходе счетчиков формируется код, зависящий от числа зафиксированных тактовых импульсов, т. е. от энергии импульса излучения лазера. Далее этот код поступает на ЦАП 8, на выходе которого включен стрелочный индикатор 9.

Таким образом, фотометр позволяет измерять энергию одиночных импульсов, причем стрелка индикаторного прибора будет показывать аналоговое значение измеренной величины до нажатия кнопки сброс или до прихода следующего импульса излучения лазера.

III. Обозначение и назначение органов управления

На корпусе оптического блока, внешний вид которого приведен на рис.2, расположены следующие органы управления:



- а) ручка РЕЖИМ (23) переключателя режимов работы;
- б) ручка ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТИВА (21), с помощью которой производится настройка фотометра в режиме «визирование» и при измерении энергетических параметров лазера;
- в) ручка МНОЖИТЕЛЬ (3) переключения стеклянных поглотителей;
- г) ручка МНОЖИТЕЛЬ (4) переключения сетчатых поглотителей;
- д) ручка ДЛИНА ВОЛНЫ (5) переключения избирательных поглотителей;
- е) ручка 8, вводящая и выводящая нейтральный поглотитель в канале измерения энергии;
- ж) ручка ШТОРКА (6), которой закрывается фотоэлемент Ф-28.

Разъем 11 предназначен для подключения осциллографа и наблюдения с его помощью формы импульсов излучения лазера.

Окуляр 24 визирного устройства применяется для наведения фотометра на лазер.

Для наведения фотометра на лазер предусмотрена возможность различных перемещений оптического блока.

Перемещение в горизонтальном направлении, перпендикулярном оптической оси фотометра осуществляется вращением ручки 16.

Вертикальное перемещение осуществляется вращением гайки 13. Фиксация нужного положения оптического блока фотометра при горизонтальном и вертикальном перемещениях осуществляется ручками 17 и 14 соответственно.

Одновременным вращением ручек 20 оптический блок повернуть вокруг вертикальной оси на $\pm 3.5^\circ$.

Вращением рукоятки 19 блок поворачивается на $\pm 3.5^\circ$ вокруг горизонтальной оси.

IV. Подготовка к работе

1. После заземления фотометра и соединения с помощью кабеля оптического блока с блоком регистрации, включить вилку сетевого шнура в сеть.

2. На блоке регистрации и питания нажмите кнопку СЕТЬ и прогрейте фотометр в течение 15 минут. При загорании на блоке индикаторной лампочки ПЕРЕПОЛНЕНИЕ нажмите кнопку СБРОС.

V. Порядок работы

Работа в режиме ВИЗИРОВАНИЕ

1. На оптическом блоке фотометра установите ручку РЕЖИМ в положение ВИЗИРОВАНИЕ, при этом на передней панели блока должна загореться сигнальная лампочка ЛАЗЕР НЕ ВКЛЮЧАТЬ.
2. Наведение на лазер, параметры которого необходимо измерить, можно осуществить с помощью встроенного визирного устройства либо с помощью газового лазера.

3. Для наведения на лазер с помощью встроенного визирного устройства необходимо:
4. Наблюдая в окуляр визира, подвижкой объектива добиться резкого изображения конструкции полупроводникового лазера (При этом визир работает как микроскоп).
5. Угловыми подвижками 19 и 20 оптического блока установите изображение конструкции полупроводникового лазера в центре сетки визирного устройства.
6. На корпусе генератора импульсов тока закройте посадочное место для объектива крышкой с зеркалом. Это зеркало будет выполнять роль выходного зеркала лазера (У полупроводникового лазера зеркала резонатора имеют очень маленькие размеры и зарегистрировать отражение от их поверхности на данной установке невозможно). Установите ручку ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТИВА в крайнее правое положение, что соответствует наведению на ∞ . (При этом визир фотометра работает как автоколлиматор). В плоскости сетки визирного устройства должен наблюдаться цветной (зеленый) крест, полученный от поверхности выходного зеркала лазера (в данном случае от установленного нами зеркала). сетки визирного устройства.
7. Угловыми подвижками оптического блока установите крест в центре сетки визирного устройства.
8. Снимите установленную крышку с зеркалом и вновь переведите визир фотометра в режим работы микроскопа. Проверьте центричность выставки фотометра относительно конструкции полупроводникового лазера. При нарушении центровки продольными подвижками оптического блока установите перекрестие сетки визирного устройства в центре конструкции полупроводникового лазера.
9. Повторите действие 4 и 5 до совмещения креста и центра конструкции полупроводникового лазера с перекрестием сетки окуляра. При этом достигается центричность фотометра относительно лазера и перпендикулярность плоскости конструкции полупроводникового лазера оптической оси фотометра.

VI. Измерение фотометром энергии одиночных и редкоповторяющихся импульсов

1. При выполнении лабораторной работы исследуются энергетические характеристики маломощного полупроводникового лазера поэтому ручку РЕЖИМ оптического блока ЛФО установите в положение КОНТРОЛЬ, ручку ШТОРКА – в положение ЗАКРЫТО. В положении КОНТРОЛЬ из оптического канала выводится матовое стекло, что позволяет повысить чувствительность оптического блока и дает возможность оценить энергетические параметры менее мощных импульсов излучения. Измерение энергии и регистрация мощности

импульсов излучения мощных лазеров осуществляется только в режиме ИЗМЕРЕНИЕ.

2. Все ручки ослабителей оптического сигнала перевести в положение минимального ослабления.

3. Ручку ДЛИНА ВОЛНЫ (5) установите в положение 0.4-1.1 мкм.

4. Установите фотообъектив Юпитер 3 на генератор импульсов тока накачки ПКГ.

5. Включение питания генератора Г5-67, блока питания ПКГ, а также установка параметров импульсов генератора Г5-67 и импульсов излучения ПКГ осуществляется преподавателем.

6. После установки необходимой длительности и амплитуды импульсов тока накачки ПКГ (метод определения параметров импульсов тока накачки приведен в разделе «описание лабораторной установки») ручкой ПЕРЕМЕЩЕНИЕ ОБЪЕКТИВА добиться максимального показания стрелочного прибора ИП1.

7. Значение измеряемой энергии определяется по формуле:

$$E = S \cdot N \cdot Q,$$

где N – отсчет по шкале прибора ИП1 (мкА),

$S = 0,3 \cdot 10^{-8}$ Дж/мкА - цена деления шкалы фотометра, $Q = 1$ - общая кратность введенных ослабителей.

VII. Регистрация формы и максимальной мощности одиночных импульсов излучения лазера

1. При выполнении лабораторной работы исследуются энергетические характеристики маломощного полупроводникового лазера поэтому ручку РЕ ЖИМ оптического блока ЛФО установите в положение КОНТРОЛЬ, ручку ШТОРКА – в положение ОТКРЫТО.

2. Повторить действия раздела VI пп 2 – 5.

3. Подключить к разъему 11 оптического блока высокочувствительный быстродействующий осциллограф С1-75, обеспечив согласование волнового сопротивления.

4. Произведите одновременное осциллографирование импульса излучения лазера и измерение его энергии прибором ИП1. Определите значение энергии зарегистрированного импульса E по методике, приведенной в разделе VI п.7.

5. По осциллограмме зарегистрированного импульса излучения определите площадь S под кривой в квадратных сантиметрах.

Определите максимальное значение амплитуды импульса в сантиметрах и определите абсолютное значение эквивалентной длительности импульса $\tau_{\text{ЭКВ}}$

по формуле:

$$\tau_{\text{ЭКВ}} = (S/A) \cdot \beta,$$

где β - длительность развертки осциллографа в нс/см.

6. Определите значение максимальной мощности P импульса излучения по формуле: $P = E / \tau_{\text{ЭКВ}}$,
где E – энергия зарегистрированного импульса в Дж.

Вопросы для коллоквиумов и контрольных работ (контролируемые компетенции ПК - 3)

1. Понятие измерения. Виды измерений. Система единиц физических величин.
2. Принципы и средства воспроизведения единиц физических величин.
3. Методы измерений.
4. Классификация средств измерений. Метрологические характеристики средств измерений.
5. Основные задачи метрологического обеспечения.
6. Основные этапы метрологического обеспечения.
7. Последовательность осуществления измерительного эксперимента.
8. Однократное и многократное измерения, их погрешности, оформление результатов измерений.
9. Систематическая погрешность. Методы уменьшения систематической погрешности.
10. Случайная погрешность. Законы распределения случайных погрешностей.
11. Основы стандартизации. Основные термины и определения.
12. Объекты стандартизации.
13. Основные функции стандартизации.
14. Цели стандартизации.
15. Принципы стандартизации.
16. Виды стандартов.
17. Методы стандартизации.
18. Основные направления стандартизации.
19. Порядок разработки национальных стандартов.
20. Категории нормативных документов по стандартизации.
21. Функции национального органа Российской Федерации по стандартизации (Росстандарта).
22. Порядок разработки национальных стандартов.
23. Международные стандарты ИСО серии 9000.
24. Порядок осуществления государственного метрологического надзора за обеспечением единства измерений.
25. Основные задачи метрологической службы предприятия.
26. Порядок осуществления аккредитации метрологической службы на право поверки и калибровки средств измерений.
27. Порядок осуществления государственного метрологического

- контроля и надзора.
28. Анализ состояния измерений в измерительных и испытательных лабораториях.
 29. Анализ состояния измерений на предприятиях.
 30. Порядок проведения испытаний.
 31. Стандарты и нормативные документы на основные виды испытаний.
 32. Сертификация средств измерений.
 33. Основные требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006.

Типовые тестовые задания по дисциплине
(контролируемые компетенции ПК-3)

I:

S: В сферу вопросов метрологии входят:

- + : средства измерений
- + : результаты измерений
- + : погрешности средств измерений
- : цена измерительного средства

I:

S: В практике не встречается понятие:

- : законодательная метрология
- : теоретическая метрология
- + : прикладная метрология
- : практическая метрология

I:

S: Первоначально в основу метрической системы мер были положены единицы следующей группы из 4-х физических величин:

- + : длины, площади, объема, массы
- : температуры, объема, скорости, массы
- : времени, напряжения, длины, объема
- : длины, площади, объема, ускорения

I:

S: Задачей измерений является:

- : определение объема физического объема
- : определение скорости движущегося тела
- : получение сведений о количественных отношениях величин
- + : получение сведений о размерах физических величин

I:

S: Какие из перечисленных способов обеспечивают единство измерения:

- + : применение узаконенных единиц измерения;

- : определение систематических и случайных погрешностей, их учет в результатах измерений;
- + : применение средств измерения, метрологические характеристики которых соответствуют установленным нормам
- : проведение измерений компетентными специалистами
- I:
- S: совокупность операций, выполняемых для определения количественного значения величины называется:
 - : величина
 - + : измерение
 - : поверка
 - : калибровка
- I:
- S: Калибровка – это:
 - : совокупность операций, выполняемых в целях подтверждения соответствия средств измерений метрологическим требованиям;
 - : совокупность основополагающих нормативных документов, предназначенных для обеспечения единства измерений с требуемой точностью;
 - + : совокупность операций, выполняемых в целях определения действительных значений метрологических средств измерений;
- I:
- S: Какие средства измерений представляют собой совокупность измерительных преобразователей и отсчетного устройства
 - : вещественные меры
 - + : измерительные приборы
 - : измерительные системы
 - : измерительные установки
- I:
- S: В чем состоит принципиальное отличие поверки от калибровки:
 - + : обязательный характер
 - : добровольный характер
 - : заявительный характер
 - : нет правильного ответа
- I:
- S: Совокупность основных и производственных систем, относящихся к некоторой системе величин и образованная в соответствии с принятыми принципами – это:
 - : метрическая система единиц
 - : система единиц СИ
 - + : система единиц физических величин
 - : системная единица
- I:
- S: Сопоставление какой-либо величины с однородной величиной, принятой за единицу называется:

-: сравнением физических величин

+: измерением

-: взвешиванием

-: калибровкой

I:

S: По общим приемам получения, результатов измерения делят на следующую группу:

+: прямые, косвенные, совместные, совокупные

-: прямые, косвенные, совместные, метрологические

-: статические, косвенные, совместные, совокупные

-: прямые, равноточные, совместные, совокупные

I:

S: Получение искомой величины решением системы уравнений из сочетаний величин, полученных прямыми измерениями, называется измерениями:

+: совокупными

-: совместными

-: косвенными

-: прямыми

I:

S: Средства измерений – это:

-: технические средства, используемые при измерениях

-: только измерительные установки

+: технические средства, используемые при измерениях и имеющие нормированные метрологические свойства

-: только измерительные установки и системы

I:

S: Метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия измеряемой величины и меры на прибор сводят к нулю, называется:

-: контактным

-: бесконтактным

+: нулевым

-: прямым

I:

S: Погрешность измерения, существенно большая, чем ожидаемая при данных условиях измерений-это:

-: недопустимая погрешность

-: случайная погрешность

+: грубая погрешность

-: динамическая погрешность

I:

S: Контроль и надзор за соблюдением обязательных требований стандартов проводят:

-: комиссии, назначенные прокуратурой

+: органы сертификации продукции

-: государственные инспекторы

-: правоохранительные органы

I:

S: Правовые основы государственного контроля и надзора за соблюдением обязательных требований стандартов определены:

-: Постановлением правительства РФ

+ : Законом РФ «О защите прав потребителей»

-: Законом РФ «О стандартизации»

-: Уголовно-процессуальным законом РФ

Оценочные материалы для промежуточной аттестации

Вопросы к зачету

(контролируемые компетенции ПК-3)

Список основных вопросов к зачету

1. Основные понятия и термины метрологии. Законодательная метрология. Закон РФ «Об обеспечении единства измерений». Теория единства измерений.
2. основополагающие документы в области метрологического обеспечения (МО).
3. Структура и организация метрологического обеспечения в России.
4. Структурные элементы метрологического обеспечения.
5. Средства измерений, их классификация. Выбор СИ. Сравнительные характеристики. Коэффициенты весомости.
6. Погрешности средств измерения. Нормируемые метрологические характеристики средств измерений.
7. Системы поверки и калибровки средств измерений.
8. Методы измерения. Статические и динамические измерения. Методики измерений. Выбор метода и числа измерений. Выполнение измерений.
9. Погрешности измерений. Классификация погрешностей и их описание.
10. Закономерности формирования результата измерений. Алгоритмы обработки многократных измерений.
11. Нормативная база метрологического обеспечения. Техническое регулирование на современном этапе.
12. Федеральный закон «О техническом регулировании».
13. Нормативные документы по обеспечению единства измерений.
14. Стандартизация в области измерений.
15. Принципы и методы стандартизации: классификация и систематизация, унификация, типизация, агрегатирование. Структура и структурирование. Синтез и анализ.
16. Оптимизация, критерии оптимальности. Определение оптимального

- уровня унификации и стандартизации.
17. Стандартизация в области конструкторской документации на СИ.
 18. Виды конструкторской документации: техническое задание, технические условия, техническое описание, формуляр, паспорт, инструкция по регулированию, программа и протокол испытаний.
 19. Правила составления текстовой документации.
 20. Обеспечение единства средств измерений. Система воспроизведения единиц и передачи их размеров рабочим средствам измерений.
 21. Поверочные схемы. Аттестация и поверка СИ (ГОСТ 8.002-71). Эталоны и образцовые меры, эталонные и образцовые СИ.
 22. Метрологическая экспертиза технической документации. Цели и задач метрологической экспертизы документации.
 23. Метрологическая экспертиза конструкторской документации. Разработка и аттестация методик. Особенности разработки и аттестации методик выполнения измерений (МВИ).
 24. Проведение внутреннего и внешнего контроля качества измерений в лабораториях. Процедуры контроля.
 25. Государственный метрологический надзор за обеспечением единства измерений.
 26. Структура и основные задачи метрологической службы предприятия. Структура метрологической службы предприятия.
 27. Аккредитация метрологической службы на право поверки и калибровки средств измерений.
 28. Сертификация средств измерений.
 29. Общие требования к компетентности испытательных и калибровочных лабораторий в соответствии с ГОСТ Р ИСО/МЭК 17025-2006.
 30. Требования к системам качества предприятий и участие метрологической службы при ее создании и функционировании.