

**МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ**

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Воронежский государственный технический университет»

Декан факультета РТЭ \_\_\_\_\_ Небольсин В.А.

«27» марта 2024 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

дисциплины

«Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений»

**Направление подготовки** 16.03.01 Техническая физика

**Профиль** Физическая электроника

**Квалификация выпускника** бакалавр

**Нормативный период обучения** 4 года

**Форма обучения** очная

**Год начала подготовки** 2024

Автор программы

Калгин А.В.

Заведующий кафедрой  
Твердотельной электроники

Небольсин В.А.

Руководитель ОПОП

Янченко Л.И.

Воронеж 2024

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

**1.1. Цели дисциплины:** формирование у будущих бакалавров знаний физики термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений и подготовка к решению основных задач профессиональной деятельности в области разработки, получения и применения материалов с заданными свойствами.

**1.2. Задачи освоения дисциплины:** свободно владеть терминологией, понятиями, основными законами и знаниями о явлениях физики термоэлектриков и пьезоэлектриков для решения теоретических и практических задач; ставить конкретные задачи научных исследований в области физики термоэлектриков и пьезоэлектриков и решать их с использованием современного экспериментального оборудования; иметь представление о проведении поиска технических прикладных задач для инновационного развития и применения основных результатов научных исследований в области физики термоэлектриков и пьезоэлектриков.

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОПОП

Дисциплина «Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений» относится к дисциплинам части, формируемой участниками образовательных отношений блока Б1.

## 3. ПЕРЕЧЕНЬ ПЛАНИРУЕМЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Процесс изучения дисциплины «Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений» направлен на формирование следующих компетенций:

ПК-2 - Способность выбирать и реализовывать на практике эффективную методику экспериментального исследования параметров и характеристик материалов, приборов, схем и устройств физической электроники различного функционального назначения

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-2        | знать физические процессы, протекающие в новых материалах электронной техники при конкретном их применении; основные свойства и характеристики наиболее часто используемых в науке и практике кристаллов с линейными и нелинейными электрическими и термоэлектрическими свойствами в связи с их строением и условием их применения; основные способы получения и технологию новых материалов в виде монокристаллов, пленок, керамик и композитов; структурные несовершенства и их влияние на свойства полярных материалов |
|             | уметь выявлять, описывать, анализировать и предсказывать структуру электрических кристаллов;                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |

|  |                                                                                                                                                                                       |
|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|  | выявлять факторы, влияющие на структуру; выбирать составы и способы получения материалов для обеспечения заданной структуры и свойств                                                 |
|  | владеть навыками исследования параметров термоэлектрических и пьезоэлектрических материалов; навыками расчета некоторых параметров термоэлектрических и пьезоэлектрических материалов |

#### 4. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины «Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений» составляет 5 з.е.

Распределение трудоемкости дисциплины по видам занятий  
**очная форма обучения**

| Виды учебной работы                             | Всего часов | Семестры |
|-------------------------------------------------|-------------|----------|
|                                                 |             | 8        |
| <b>Аудиторные занятия (всего)</b>               | 72          | 72       |
| В том числе:                                    |             |          |
| Лекции                                          | 36          | 36       |
| Практические занятия (ПЗ)                       | 24          | 24       |
| Лабораторные работы (ЛР)                        | 12          | 12       |
| <b>Самостоятельная работа</b>                   | 108         | 108      |
| <b>Курсовой проект</b>                          | +           | +        |
| Виды промежуточной аттестации - зачет с оценкой | +           | +        |
| Общая трудоемкость:                             |             |          |
| академические часы                              | 180         | 180      |
| зач.ед.                                         | 5           | 5        |

#### 5. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

**5.1 Содержание разделов дисциплины и распределение трудоемкости по видам занятий**

**очная форма обучения**

| № п/п | Наименование темы                            | Содержание раздела                                                                                                                                                                                                                                                        | Лекц | Прак зан. | Лаб. зан. | СРС | Всего, час |
|-------|----------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|-----------|-----------|-----|------------|
| 1     | Введение в физику термоэлектрических явлений | История открытия термоэлектрических явлений                                                                                                                                                                                                                               | 6    | 4         | 2         | 18  | 30         |
| 2     | Термоэлектрические материалы                 | Способы повышения термоэлектрической эффективности материалов. Фононное стекло-электронный кристалл. Разупорядоченные полупроводники. Интерметаллиды. Наноблочные оксиды. Наноразмерные термоэлектрические материалы. Основные требования к термоэлектрическим материалам | 6    | 4         | 2         | 18  | 30         |
| 3     | Применение термоэлектрических материалов     | Термоэлектрические холодильники, генераторы и нагреватели                                                                                                                                                                                                                 | 6    | 4         | 2         | 18  | 30         |

|       |                                                   |                                                                                                                       |    |    |    |     |     |
|-------|---------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|----|----|-----|-----|
| 4     | Введение в физику пьезоэлектрических явлений      | История открытия пьезоэлектрических явлений                                                                           | 6  | 4  | 2  | 18  | 30  |
| 5     | Физические свойства пьезоэлектрических кристаллов | Электрические, упругие и электромеханические свойства кристаллов. Методы определения пьезоэлектрических характеристик | 6  | 4  | 2  | 18  | 30  |
| 6     | Практическое применение пьезоэлектриков           | Пьезоэлектрические трансформаторы, двигатели, манометры и линии задержки                                              | 6  | 4  | 2  | 18  | 30  |
| Итого |                                                   |                                                                                                                       | 36 | 24 | 12 | 108 | 180 |

## 5.2 Перечень лабораторных работ

1. *Определение коэффициента термоэдс и фактора мощности для объемных образцов различных материалов.*
2. *Измерение теплопроводности термоэлектрических материалов калориметрическим методом.*
3. *Определение параметров эквивалентной схемы пьезоэлектрических кристаллов.*

## 6. ПРИМЕРНАЯ ТЕМАТИКА КУРСОВЫХ ПРОЕКТОВ (РАБОТ) И КОНТРОЛЬНЫХ РАБОТ

В соответствии с учебным планом освоение дисциплины предусматривает выполнение курсового проекта в 8 семестре для очной формы обучения.

Примерная тематика курсового проекта: «Расчет двухкаскадной термоэлектрической батареи с последовательным электрическим соединением каскадов».

Задачи, решаемые при выполнении курсового проекта:

- закрепление и углубление теоретических знаний, полученных студентами при освоении теоретического материала дисциплины «Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений» в форме аудиторных занятий: лекций и практик;
- приобретение опыта самостоятельной работы с научной, технической, справочной, патентной литературой, ГОСТами и т.д.;
- практическое применение знаний, полученных при изучении общепрофессиональных дисциплин, использование средств вычислительной техники и методов расчета.

Курсовой проект включает в себя графическую часть и расчетно-пояснительную записку.

## 7. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

**7.1. Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описание шкал оценивания**

### 7.1.1 Этап текущего контроля

Результаты текущего контроля знаний и межсессионной аттестации оцениваются по следующей системе:

«аттестован»;

«не аттестован».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Критерии оценивания                                      | Аттестован                                                    | Не аттестован                                                   |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------|
| ПК-2        | знать физические процессы, протекающие в новых материалах электронной техники при конкретном их применении; основные свойства и характеристики наиболее часто используемых в науке и практике кристаллов с линейными и нелинейными электрическими и термоэлектрическими свойствами в связи с их строением и условием их применения; основные способы получения и технологию новых материалов в виде монокристаллов, пленок, керамик и композитов; структурные несовершенства и их влияние на свойства полярных материалов | Тест                                                     | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | уметь выявлять, описывать, анализировать и предсказывать структуру электрических кристаллов; выявлять факторы, влияющие на структуру; выбирать составы и способы получения материалов для обеспечения заданной структуры и свойств                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Решение стандартных практических задач                   | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |
|             | владеть навыками исследования параметров термоэлектрических и пьезоэлектрических материалов; навыками расчета некоторых параметров термоэлектрических и пьезоэлектрических материалов                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Выполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах | Невыполнение работ в срок, предусмотренный в рабочих программах |

### 7.1.2 Этап промежуточного контроля знаний

Результаты промежуточного контроля знаний оцениваются в 8 семестре для очной формы обучения по четырехбалльной системе:

«отлично»;

«хорошо»;

«удовлетворительно»;  
«неудовлетворительно».

| Компетенция | Результаты обучения, характеризующие сформированность компетенции                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | Критерии оценивания                                      | Отлично                                                | Хорошо                                                                                | Удовл.                                                   | Неудовл.                             |
|-------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| ПК-2        | знать физические процессы, протекающие в новых материалах электронной техники при конкретном их применении; основные свойства и характеристики наиболее часто используемых в науке и практике кристаллов с линейными и нелинейными электрическими и термоэлектрическими свойствами в связи с их строением и условием их применения; основные способы получения и технологию новых материалов в виде монокристаллов, пленок, керамик и композитов; структурные несовершенства и их влияние на свойства полярных материалов | Тест                                                     | Выполнение теста на 90-100%                            | Выполнение теста на 80-90%                                                            | Выполнение теста на 70-80%                               | В тесте менее 70% правильных ответов |
|             | уметь выявлять, описывать, анализировать и предсказывать структуру электрических кристаллов; выявлять факторы, влияющие на структуру; выбирать составы и способы получения материалов для обеспечения заданной структуры и свойств                                                                                                                                                                                                                                                                                        | Решение стандартных практических задач                   | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |
|             | владеть навыками исследования параметров термоэлектрических и пьезоэлектрических материалов; навыками расчета некоторых параметров термоэлектрических и пьезоэлектрических                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | Решение прикладных задач в конкретной предметной области | Задачи решены в полном объеме и получены верные ответы | Продемонстрирован верный ход решения всех, но не получен верный ответ во всех задачах | Продемонстрирован верный ход решения в большинстве задач | Задачи не решены                     |

|  |            |  |  |  |  |  |
|--|------------|--|--|--|--|--|
|  | материалов |  |  |  |  |  |
|--|------------|--|--|--|--|--|

## 7.2 Примерный перечень оценочных средств ( типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности)

### 7.2.1 Примерный перечень заданий для подготовки к тестированию

|   | Вопрос                                                                        | Варианты ответа                                                                                                                                                 |
|---|-------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Какие имеются три этапа развития науки в истории термоэлектричества?          | 1) открытие термоэлектрических эффектов<br>2) теория Альтенкирха<br>3) работы А.Ф. Иоффе<br>4) разработка партизанского котелка                                 |
| 2 | Перечислить основные термоэлектрические эффекты.                              | 1) эффект Пельтье<br>2) эффект Зеебека<br>3) эффект Видемана-Франца<br>4) эффект Томсона                                                                        |
| 3 | При каких условиях возникает эффект Зеебека?                                  | 1) сильное электрическое поле<br>2) сильное магнитное поле<br>3) градиент температуры<br>4) контакт двух материалов                                             |
| 4 | Что можно определить по знаку термоэдс?                                       | 1) знак носителей заряда<br>2) концентрацию носителей заряда<br>3) подвижность носителей заряда<br>4) величину термоэдс                                         |
| 5 | Физические явления, приводящие к появлению термоэдс                           | 1) разность энергий носителей заряда<br>2) взаимная диффузия горячих и холодных носителей<br>3) градиент концентрации носителей<br>4) ток от внешнего источника |
| 6 | Физические процессы, обусловленные термоэлектрическими эффектами являются ... | 1) необратимыми<br>2) обратимыми<br>3) метастабильными<br>4) случайными                                                                                         |
| 7 | Теплопроводность и теплота Джоуля являются процессами ...                     | 1) обратимыми<br>2) метастабильными<br>3) необратимыми<br>4) неустойчивыми                                                                                      |
| 8 | Эффект Пельтье возникает в ...                                                | 1) контакте двух материалов<br>2) однородном материале<br>3) в замкнутой цепи<br>4) в полярных диэлектриках                                                     |

|    |                                                            |                                                                                                                                                               |
|----|------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 9  | Тепло Пельтье пропорционально силе тока ...                | 1) линейно<br>2) квадратично<br>3) не зависит от величины тока<br>4) экспоненциально                                                                          |
| 10 | Как зависит тепло Пельтье от направления тока?             | 1) линейно<br>2) изменяет знак<br>3) не зависит от направления тока<br>4) квадратично                                                                         |
| 11 | Зависит ли тепло Джоуля от направления тока?               | 1) зависит<br>2) не зависит<br>3) в разных материалах по-разному<br>4) во внешнем электрическом поле                                                          |
| 12 | Размерность коэффициента Пельтье                           | 1) Кл/м<br>2) Кл/м <sup>2</sup><br>3) Вольт<br>4) Дж / Кулон                                                                                                  |
| 13 | Величина коэффициента Пельтье для большинства пар металлов | 1) 10 – 100 В<br>2) 1,0 – 10 мкВ<br>3) 10 <sup>-2</sup> – 10 <sup>-3</sup> В<br>4) 1,0 - 10 В                                                                 |
| 14 | В каких случаях наблюдается эффект Томсона ...             | 1) в неоднородных проводниках<br>2) при наличии тока и градиента температуры<br>3) всегда при протекании тока<br>4) при наличии собственных колебаний образца |
| 15 | Зависит ли тепло Джоуля от сопротивления проводника?       | 1) в зависимости от материала<br>2) не зависит<br>3) зависит<br>4) в зависимости от характера фазового перехода                                               |
| 16 | Тепло Джоуля изменяется в зависимости от силы тока ...     | 1) линейно<br>2) квадратично<br>3) не зависит от величины тока<br>4) экспоненциально                                                                          |
| 17 | Выражение для теплоты Томсона имеет вид ...                | 1) $Q = \tau \Delta T it$<br>2) $Q = i^2 R t$<br>3) $Q = \Pi i t$<br>4) $dQ = dU + dA$                                                                        |

|    |                                                                              |                                                                                                         |
|----|------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 18 | Существует ли взаимосвязь между термоэлектрическими эффектами?               | 1) не существует<br>2) существует<br>3) в некоторых полярных кристаллах<br>4) в изотермических условиях |
| 19 | Коэффициент Пельтье связан с коэффициентом Зеебека следующим соотношением... | 1) $\Pi = T\alpha^2$<br>2) $\Pi = T^2\alpha$<br>3) $\Pi = T\alpha$<br>4) $\Pi = T^2\alpha^2$            |
| 20 | Коэффициент Томсона связан с коэффициентом термоэдс соотношением ...         | 1) $\tau = T (d\alpha/dT)$<br>2) $\tau = T\alpha$<br>3) $\tau = T\alpha^2$<br>4) $\tau = T^2\alpha$     |

### 7.2.2 Примерный перечень заданий для решения стандартных задач

|   | Вопрос                                                                                                              | Варианты ответа                                                                                                                                                                  |
|---|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | От каких параметров зависит эффективность термоэлектрического материала Z по Альтенкирху?                           | 1) термоэдс $\alpha$<br>2) электропроводность $\sigma$<br>3) теплопроводность $k$<br>4) коэффициент Пельтье $\Pi$                                                                |
| 2 | В каких материалах величина Z имеет большее значение?                                                               | 1) металлы<br>2) диэлектрики<br>3) полупроводники<br>4) во всех материалах Z имеет одинаковый порядок величины                                                                   |
| 3 | Чем характеризуется работа термоэлектрических устройств?                                                            | 1) холодильный коэффициент<br>2) КПД генераторной термобатареи<br>3) теплота Джоуля<br>4) отопительный коэффициент                                                               |
| 4 | Как изменяются характеристики термоэлемента при увеличении параметра Z материала?                                   | 1) улучшаются<br>2) ухудшаются<br>3) не изменяются<br>4) зависимость имеет сложный характер                                                                                      |
| 5 | Как изменяется значение Z, если термоэлектрический материал работает в области примесной проводимости обоих знаков? | 1) улучшается<br>2) ухудшается<br>3) не изменяется<br>4) зависимость имеет сложный характер                                                                                      |
| 6 | С какими фундаментальными свойствами полупроводникового материала связан параметр Z?                                | 1) приведенный уровень Ферми $E_F^*$<br>2) подвижность невырожденных носителей заряда $\mu_0$<br>3) эффективная масса носителей заряда $m^*$<br>4) ширина запрещенной зоны $E_g$ |

|    |                                                                                                                           |                                                                                                                                                                                                                        |
|----|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 7  | На чем обычно доминирует рассеяние носителей заряда в термоэлектрических материалах при температурах близких к комнатной? | 1) на акустических фононах<br>2) на оптических фононах<br>3) на ионах примеси<br>4) на незаряженных точечных дефектах                                                                                                  |
| 8  | Для увеличения параметра $Z$ необходимо                                                                                   | а) увеличивать проводимость и уменьшать теплопроводность<br>б) увеличивать проводимость и теплопроводность<br>в) уменьшать проводимость и теплопроводность<br>г) уменьшать проводимость и увеличивать теплопроводность |
| 9  | Для получения высокой добротности термоэлектрических материалов предпочтительны материалы                                 | а) с тяжелыми атомами<br>б) с легкими атомами<br>в) с чередованием легких и тяжелых атомов<br>г) атомный вес не влияет на величину $Z$                                                                                 |
| 10 | Для повышения добротности термоэлектрических материалов требуются материалы                                               | а) с сильными межатомными связями<br>б) со слабыми межатомными связями<br>в) характер связей не влияет на $Z$<br>г) смешанный тип межатомных связей                                                                    |
| 11 | Выражение для коэффициента Альтенкирха $Z$ имеет вид                                                                      | а) $Z = \alpha^2 \sigma / k$<br>б) $Z = \alpha \sigma^2 / k$<br>в) $Z = \alpha^2 / k \sigma$<br>г) $Z = \alpha^2 k / \sigma$                                                                                           |
| 12 | Зависит ли решёточная теплопроводность от концентрации носителей заряда?                                                  | а) зависит при температурах выше комнатной<br>б) зависит при низких температурах<br>в) не зависит<br>г) зависит, но роль концентрации носителей ничтожно мала                                                          |
| 13 | Как зависит электропроводность материала $\sigma$ от концентрации $n$ и подвижности носителей заряда $\mu$ ?              | а) $\sigma = en\mu$<br>б) $\sigma = en\mu^2$<br>в) $\sigma^2 = en\mu$<br>г) $\sigma = e\mu/n$                                                                                                                          |
| 14 | От каких параметров НЕ зависит оптимальная концентрация носителей заряда                                                  | а) от эффективной массы<br>б) температуры<br>в) механизма рассеяния носителей                                                                                                                                          |

|    |                                                                                                          |                                                                                                                                                                                                                                  |
|----|----------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|    | в термоэлектриках?                                                                                       | г) зависит от всех вышеперечисленных факторов                                                                                                                                                                                    |
| 15 | Какие параметры связывает между собой параметр рассеяния носителей заряда?                               | а) время релаксации носителей заряда с их энергией<br>б) время релаксации носителей заряда с эффективной массой<br>в) время релаксации носителей заряда с их концентрацией<br>г) время релаксации носителей заряда и температуру |
| 16 | Какую величину термоэлектрической эффективности $Z$ обычно имеют материалы вблизи комнатной температуры? | а) 0,7 - 1<br>б) 0,001 - 0,002<br>в) 0,01 - 0,1<br>г) 1,2 - 2,4                                                                                                                                                                  |
| 17 | Какой вид связи реализуется в квинтетах теллурида висмута $\text{Bi}_2\text{Te}_3$ ?                     | а) ковалентный и ионный<br>б) ионный<br>в) ионный и металлический<br>г) металлический                                                                                                                                            |
| 18 | Как изменяется термоэдс при увеличении концентрации носителей?                                           | а) увеличивается<br>б) уменьшается<br>в) остается неизменной<br>г) зависимость имеет не монотонный характер                                                                                                                      |
| 19 | Как изменяется электропроводность при увеличении концентрации носителей?                                 | а) увеличивается<br>б) уменьшается<br>в) остается неизменной<br>г) зависимость имеет сложный характер                                                                                                                            |
| 20 | Как изменяется фактор мощности при увеличении концентрации носителей?                                    | а) увеличивается<br>б) уменьшается<br>в) остается неизменным<br>г) проходит через максимум                                                                                                                                       |

### 7.2.3 Примерный перечень заданий для решения прикладных задач

|   | Вопрос                                                                     | Варианты ответа                                                                                                       |
|---|----------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 | Основные направления практического применения термоэлектрических эффектов. | 1) генераторы;<br>2) охлаждающие устройства;<br>3) устройства комбинированного типа;<br>4) нагревательные устройства. |
| 2 | Какие из устройств являются тепловыми насосами?                            | 1) генераторы;<br>2) нагревательные устройства;<br>3) накопители энергии;<br>4) охлаждающие устройства.               |

|    |                                                                                                                                                                 |                                                                                                                                                                                               |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 3  | За счет чего совершается работа в тепловых насосах?                                                                                                             | 1) убыли внутренней энергии;<br>2) убыли свободной энергии;<br>3) убыли термодинамического потенциала;<br>4) внешнего источника электрической энергии.                                        |
| 4  | Общий признак тепловых насосов.                                                                                                                                 | 1) перенос тепла с высокого на низкий тепловой уровень;<br>2) перенос тепла с низкого на более высокий тепловой уровень;<br>3) перенос тепла к резервуару;<br>4) выделение джоулевой теплоты. |
| 5  | Эффективность термоэлектрического охлаждения характеризуется...                                                                                                 | 1) холодильным коэффициентом;<br>2) холодопроизводительностью;<br>3) максимально достижимым снижением температуры $\Delta T$ ;<br>4) убылью внешней энергии.                                  |
| 6  | Эффективность термоэлектрического нагрева характеризуется...                                                                                                    | 1) коэффициентом полезного действия<br>2) температурой радиатора;<br>3) отопительным коэффициентом;<br>4) убылью внешней энергии.                                                             |
|    | Как определяется КПД термоэлектрического генератора, если $Q_1$ – тепло, подводимое при $T_1$ , а $Q_2$ – отводимое тепло?                                      | 1);<br>2) $\eta = \frac{Q_2}{Q_1}$ ;<br>3) $\eta = \frac{Q_1}{Q_2}$ ;<br>4) $\eta = \frac{Q_1}{Q_2 - Q_1}$ .                                                                                  |
| 8  | Какие величины КПД имеют реально действующие конструкции термогенераторов?                                                                                      | 1) 100 %;<br>2) 50-100 %;<br>3) 10-50 %;<br>4) 1-10 %.                                                                                                                                        |
| 9  | На основе какого эффекта работает термоэлектрический холодильник?                                                                                               | 1) эффект Ленца-Джоуля;<br>2) эффект Зеебека;<br>3) эффект Пельтье;<br>4) эффект Томсона.                                                                                                     |
| 10 | Что такое холодильный коэффициент, если осуществляется перенос тепла $Q_0$ от тела с температурой $T_0$ к резервуару, а $Q_1$ – тепло, передаваемое резервуару? | 1) $\varepsilon = \frac{Q_0}{T_0}$ ;<br>2) $\varepsilon = \frac{Q_0}{Q_1 - Q_0}$ ;<br>3) $\varepsilon = Q_0 T_0^2$ ;<br>4) $\varepsilon = \frac{Q_0 - Q_1}{Q_0}$ .                            |

|    |                                                                                                                              |                                                                                                                                                                                                                                                                              |
|----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 11 | Что такое холодопроизводительность?                                                                                          | 1) количество тепла $Q_0$ , переносимое от тела с пониженной температурой к радиатору;<br>2) количество тепла, переносимое от радиатора к телу с пониженной температурой;<br>3) количество тепла, теряемое в окружающую среду;<br>4) количество тепла, теряемое в контактах. |
| 12 | Что такое отопительный коэффициент $K$ , если осуществляется перенос тепла $Q_0$ от резервуара к телу с температурой $T_1$ ? | 1) $K = \frac{Q_1}{Q_1 - Q_0}$ ;<br>2) $K = i^2 R t$ ;<br>3) $K = \frac{Q_0}{Q_1 - Q_0}$ ;<br>4) $K = Q_0 T_0$ .                                                                                                                                                             |
| 13 | Как связан отопительный коэффициент с холодильным коэффициентом?                                                             | 1) $K = \varepsilon^2$ ;<br>2) $K = 1/\varepsilon$ ;<br>3) $K = 1 + \varepsilon$ ;<br>4) $K = 1 - \varepsilon$ .                                                                                                                                                             |
| 14 | Зависит ли эффективность термоэлектрических холодильных машин от их габаритов?                                               | 1) зависит;<br>2) не зависит;<br>3) при большой мощности;<br>4) при низких температурах.                                                                                                                                                                                     |
| 15 | Каких значений может достигать отопительный коэффициент $K$ при малой рабочей разности температур (10-20) К?                 | 1) 0,1 – 0,5;<br>2) 0,5 – 1,0;<br>3) 2 – 3;<br>4) 5 – 10.                                                                                                                                                                                                                    |
| 16 | Какие эффекты проявляются при работе термоэлемента в режиме холодильника?                                                    | 1) эффект Пельтье;<br>2) эффект Томсона;<br>3) эффект Джоуля;<br>4) теплопроводность.                                                                                                                                                                                        |
| 17 | Какие эффекты проявляются при работе термоэлемента в режиме нагревателя?                                                     | 1) эффект Пельтье;<br>2) эффект Зеебека;<br>3) эффект Джоуля;<br>4) теплопроводность.                                                                                                                                                                                        |
| 18 | От чего зависит максимально возможный ток через термоэлемент, при котором достигается $\Delta T_{max}$ ?                     | 1) от величины термоэдс;<br>2) от электросопротивления;<br>3) от геометрии ветвей;<br>4) от температуры контакта.                                                                                                                                                            |

|    |                                                                                 |                                                                                                                                                                                                         |
|----|---------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 19 | Максимальная разность температур в холодильнике ...                             | 1) $\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} Z T_x^2$ ;<br>2) $\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} \alpha T_x^2$ ;<br>3) $\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} K T_x^2$ ;<br>4) $\Delta T_{\max} = \frac{1}{2} (Z - K) T_x^2$ . |
| 20 | Какое напряжение дает термоэлектрический генератор, состоящий из $N$ элементов? | 1) $U = N\alpha$ ;<br>2) $U = \sum_N \alpha (T_r - T_x)$ ;<br>3) $U = N\alpha T_x$ ;<br>4) $U = I_{\max} Z T_x$ .                                                                                       |

#### 7.2.4 Примерный перечень вопросов для подготовки к зачету

Не предусмотрено учебным планом

#### 7.2.5 Примерный перечень заданий для подготовки к зачету с оценкой

1. История открытия термоэлектрических явлений.
2. Эффект Зеебека.
3. Эффект Пельтье.
4. Эффект Томсона.
5. Классические методы получения термоэлектрических материалов: метод вертикальной зонной плавки, метод Чохральского, метод Бриджмена, метод экструзии и метод кристаллизации в узких щелях.
6. Химические методы получения термоэлектрических материалов: гидротермальный метод, сольвотермальный метод и микроволновый метод.
7. Твердые и жидкие термоэлектрические материалы. Термоэлектрическая добротность.
8. Способы повышения термоэлектрической эффективности материалов.
9. Фононное стекло-электронный кристалл.
10. Разупорядоченные полупроводники.
11. Интерметаллиды.
12. Наноблочные оксиды.
13. Наноразмерные термоэлектрические материалы.
14. Основные требования к термоэлектрическим материалам.
15. Основные направления использования термоэлектрических эффектов: термоэлектрические генераторы, холодильники и нагреватели.
16. Основные направления использования термоэлектрических эффектов: термоэлектрические измерители температуры (термопары), термоэлектрические преобразователи для измерения электрических величин, микрокалориметры, термоэлектрические приемники излучения и тепломеры.
17. Прямой и обратный пьезоэлектрический эффекты.
18. Тензор механического напряжения.
19. Тензор деформации.
20. Упругая жесткость и упругая податливость.

21. Характеристики электрического состояния кристаллов.
22. Тензор диэлектрической проницаемости.
23. Граничные условия, при которых используется пьезоэлектрик. Уравнения прямого пьезоэлектрического эффекта при различных граничных условиях.
24. Физический смысл пьезомодулей.
25. Четыре типа прямого пьезоэлектрического эффекта в кристаллах:  $L$ ,  $T$ ,  $L_S$  и  $T_S$ -эффекты.
26. Уравнения обратного пьезоэлектрического эффекта при различных граничных условиях.
27. Коэффициент электромеханической связи.
28. Электромеханическая связь при прямом и обратном пьезоэффектах.
29. Методы определения пьезоэлектрических характеристик. Статические методы.
30. Методы определения пьезоэлектрических характеристик. Эквивалентная схема пьезоэлектрического резонатора. Динамический метод.
31. Методы определения пьезоэлектрических характеристик. Квазистатический метод.
32. Практические применения пьезоэлектриков: пьезоэлектрические трансформаторы, пьезоэлектрические двигатели, пьезоэлектрические манометры и пьезоэлектрические линии задержки на поверхностных акустических волнах.

#### **7.2.6. Методика выставления оценки при проведении промежуточной аттестации**

Зачет с оценкой проводится по тест-билетам, каждый из которых содержит 20 вопросов. Каждый правильный ответ на вопрос в тесте оценивается 1 баллом. Максимальное количество набранных баллов – 20.

1. Оценка «Неудовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал менее 6 баллов.

2. Оценка «Удовлетворительно» ставится в случае, если студент набрал от 6 до 10 баллов

3. Оценка «Хорошо» ставится в случае, если студент набрал от 11 до 15 баллов.

4. Оценка «Отлично» ставится, если студент набрал от 16 до 20 баллов.

#### **7.2.7 Паспорт оценочных материалов**

| № п/п | Контролируемые разделы (темы) дисциплины     | Код контролируемой компетенции | Наименование оценочного средства |
|-------|----------------------------------------------|--------------------------------|----------------------------------|
| 1     | Введение в физику термоэлектрических явлений | ПК-2                           | Тест                             |
| 2     | Термоэлектрические материалы                 | ПК-2                           | Тест                             |
| 3     | Применение термоэлектрических материалов     | ПК-2                           | Тест                             |

|   |                                                   |      |      |
|---|---------------------------------------------------|------|------|
| 4 | Введение в физику пьезоэлектрических явлений      | ПК-2 | Тест |
| 5 | Физические свойства пьезоэлектрических кристаллов | ПК-2 | Тест |
| 6 | Практическое применение пьезоэлектриков           | ПК-2 | Тест |

### **7.3. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Тестирование осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных тест-заданий на бумажном носителе. Время тестирования 30 мин. Затем осуществляется проверка теста экзаменатором и выставляется оценка согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение стандартных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Решение прикладных задач осуществляется, либо при помощи компьютерной системы тестирования, либо с использованием выданных задач на бумажном носителе. Время решения задач 30 мин. Затем осуществляется проверка решения задач экзаменатором и выставляется оценка, согласно методики выставления оценки при проведении промежуточной аттестации.

Защита курсовой работы, курсового проекта или отчета по всем видам практик осуществляется согласно требованиям, предъявляемым к работе, описанным в методических материалах. Примерное время защиты на одного студента составляет 20 мин.

## **8 УЧЕБНО МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **8.1 Перечень учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

1. Гриднев С.А. Термоэлектрические материалы: учеб. пособие / С.А. Гриднев. – Воронеж: ФГБОУ ВПО "Воронежский государственный технический университет", 2014. – 130 с.

2. Калгин А.В. Физика пьезоэлектрических кристаллов и магнитоэлектрических композитов: учеб. пособие / А.В. Калгин, С.А. Гриднев. – Воронеж: ФГБОУ ВО "Воронежский государственный технический университет", 2016. – 166 с.

3. Гриднев С.А. Расчет термоэлектрических устройств: учеб. пособие / С.А. Гриднев. Воронеж: ФГБОУ ВПО «Воронежский государственный технический университет», 2014. – 114 с.

4. Гриднев С.А. Методические указания к выполнению и оформлению лабораторных работ по дисциплине "Термоэлектрические материалы и устройства на их основе" для студентов направления 16.04.01 "Техническая физика" (магистерская программа "Прикладная физика твердого тела"), по

дисциплине "Термоэлектрические системы охлаждения" для студентов направления 16.04.01 "Техническая физика" (магистерская программа "Физика и техника низких температур") и по дисциплине "Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений" для студентов направления 16.03.01 "Техническая физика" (профиль "Физическая электроника") очной формы обучения. – Воронеж: ВГТУ, 2017. – 42 с. (электронная форма).

**8.2 Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень лицензионного программного обеспечения, ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет», современных профессиональных баз данных и информационных справочных систем:**

*Microsoft Word, Origin, Google Chrome.*

## **9 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ БАЗА, НЕОБХОДИМАЯ ДЛЯ ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОГО ПРОЦЕССА**

1. Специализированная лекционная аудитория (221/1), оснащенная оборудованием для лекционных демонстраций и проекционной аппаратурой.

2. Научно-учебная лаборатория физических свойств термоэлектриков (020/1) с научно-исследовательскими измерительными стендами, комплексами и оборудованием.

## **10. МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ДЛЯ ОБУЧАЮЩИХСЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)**

По дисциплине «Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений» читаются лекции, проводятся практические занятия и лабораторные работы, выполняется курсовой проект.

Основой изучения дисциплины являются лекции, на которых излагаются наиболее существенные и трудные вопросы, а также вопросы, не нашедшие отражения в учебной литературе.

Практические занятия направлены на приобретение практических навыков расчета задач из различных разделов дисциплины «Физика термоэлектрических и пьезоэлектрических явлений». Занятия проводятся путем решения конкретных задач в аудитории.

Лабораторные работы выполняются на лабораторном оборудовании в соответствии с методиками, приведенными в указаниях к выполнению работ.

Методика выполнения курсового проекта изложена в учебно-методическом пособии. Выполнять этапы курсового проекта должны своевременно и в установленные сроки.

Контроль усвоения материала дисциплины производится проверкой курсового проекта, защитой курсового проекта.

| Вид учебных занятий | Деятельность студента                                                                                                 |
|---------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Лекция              | Написание конспекта лекций: кратко, схематично, последовательно фиксировать основные положения, выводы, формулировки, |

|                                       |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|---------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                       | <p>обобщения; пометать важные мысли, выделять ключевые слова, термины. Проверка терминов, понятий с помощью энциклопедий, словарей, справочников с выписыванием толкований в тетрадь. Обозначение вопросов, терминов, материала, которые вызывают трудности, поиск ответов в рекомендуемой литературе. Если самостоятельно не удастся разобраться в материале, необходимо сформулировать вопрос и задать преподавателю на лекции или на практическом занятии.</p>                                                                                                                                       |
| Практическое занятие                  | <p>Конспектирование рекомендуемых источников. Работа с конспектом лекций, подготовка ответов к контрольным вопросам, просмотр рекомендуемой литературы. Прослушивание аудио- и видеозаписей по заданной теме, выполнение расчетно-графических заданий, решение задач по алгоритму.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |
| Лабораторная работа                   | <p>Лабораторные работы позволяют научиться применять теоретические знания, полученные на лекции при решении конкретных задач. Чтобы наиболее рационально и полно использовать все возможности лабораторных для подготовки к ним необходимо: следует разобрать лекцию по соответствующей теме, ознакомиться с соответствующим разделом учебника, проработать дополнительную литературу и источники, решить задачи и выполнить другие письменные задания.</p>                                                                                                                                             |
| Самостоятельная работа                | <p>Самостоятельная работа студентов способствует глубокому усвоению учебного материала и развитию навыков самообразования. Самостоятельная работа предполагает следующие составляющие:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- работа с текстами: учебниками, справочниками, дополнительной литературой, а также проработка конспектов лекций;</li> <li>- выполнение домашних заданий и расчетов;</li> <li>- работа над темами для самостоятельного изучения;</li> <li>- участие в работе студенческих научных конференций, олимпиад;</li> <li>- подготовка к промежуточной аттестации.</li> </ul> |
| Подготовка к промежуточной аттестации | <p>Готовиться к промежуточной аттестации следует систематически, в течение всего семестра. Интенсивная подготовка должна начаться не позднее, чем за месяц-полтора до промежуточной аттестации. Данные перед зачетом с оценкой три дня эффективнее всего использовать для повторения и систематизации материала.</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                    |

## ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ

| №<br>п/п | Перечень вносимых изменений | Дата внесения<br>изменений | Подпись<br>заведующего<br>кафедрой,<br>ответственной за<br>реализацию ОПОП |
|----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
|----------|-----------------------------|----------------------------|----------------------------------------------------------------------------|