

# Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе и  
образовательным новациям

С.И. Чуприс

2019 г.

Регистрационный № УД-4796уч.



Лабораторный спецпрактикум  
«Методы преобразования энергии»

**Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности:**

1-31 80 20 Прикладная физика

Профилизация: Функциональные наноматериалы

2019 г.

Учебная программа составлена на основе ОСВО 1-31 80 20-2019 и учебного плана № G31-024/уч. от 11.04.2019 г.

**СОСТАВИТЕЛИ:**

Василевич С.В. – доцент кафедры энергофизики Белорусского государственного университета, к.т.н., доцент;

Ларькин А.В. – старший преподаватель кафедры энергофизики Белорусского государственного университета;

Магонь Н.С. – младший научный сотрудник НИЛ энергоэффективных материалов и технологий кафедры энергофизики Белорусского государственного университета.

**РЕЦЕНЗЕНТЫ:**

Левин М.Л. – старший научный сотрудник ГНУ «Институт тепло- и массообмена имени А.В. Лыкова НАН Беларуси», канд. тех. наук, доцент.

Семенович О.В. – старший преподаватель кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета;

**РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:**

Кафедрой энергофизики  
(протокол № 12 от 23.05.2019);

Научно-методическим Советом БГУ  
(протокол № 5 от 28.06.2019)

Заведующий кафедрой энергофизики

 А.В. Мазаник

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа учебной дисциплины Лабораторный спецпрактикум «Методы преобразования энергии» разработана для специальности 1-31 80 20 Прикладная физика.

Согласно Государственной программе «Энергосбережение» на 2016 – 2020 годы, эффективное использование топливно-энергетических ресурсов является приоритетным в сфере энергетической деятельности в Республике Беларусь. Учебная дисциплина Лабораторный спецпрактикум «Методы преобразования энергии» включает в себя рассмотрение принципов, понимание которых необходимо специалистам-физикам.

### **Цели и задачи учебной дисциплины**

**Цель** учебной дисциплины: сформировать у обучающихся понимание физических основ современных подходов к получению электрической и тепловой энергии.

**Задачи** учебной дисциплины:

1. Раскрыть физические основы фотовольтаического преобразования энергии.
2. Раскрыть физические основы термоэлектрического преобразования энергии.
3. Ознакомить обучающихся со способами использования биомассы для получения энергии.
4. Сформировать у обучающихся навыки анализа термодинамических циклов, используемых в энергетике.

**Место учебной дисциплины** в системе подготовки магистра: учебная дисциплина относится к модулю «Физика низкоразмерных систем» компонента учреждения высшего образования.

**Связи** с другими учебными дисциплинами: материал дисциплины Лабораторный спецпрактикум «Методы преобразования энергии» основан на знаниях и представлениях, заложенных при изучении учебной дисциплины «Термодинамика», «Прикладные задачи в термодинамике и статистической физике», «Техническая термодинамика».

### **Требования к компетенциям**

Освоение учебной дисциплины Лабораторный спецпрактикум «Методы преобразования энергии» должно обеспечить формирование следующих компетенций:

- СК-7. Быть способным использовать при исследовании новых материалов и разработке высокоэффективных систем преобразования энергии на их основе знания квантовых размерных эффектов, механизмов переноса

заряда в низкоразмерных системах, электрических, оптических, магнитных свойств наноструктур.

В результате освоения учебной дисциплины студент должен:

**знать:**

- Физические основы современных подходов к получению электрической и тепловой энергии;
- Преимущества и недостатки различных способов получения электрической и тепловой энергии;

**уметь:**

- Определять основные рабочие параметры солнечных элементов;
- Определять основные рабочие параметры материалов для термоэлектрического преобразования энергии;
- Выполнять анализ термодинамических циклов;
- Определять основные параметры продуктов конверсии биомассы;

**владеть:**

- Современными приборными средствами для экспериментального определения параметров материалов и структур, используемых для получения энергии.

### **Структура учебной дисциплины**

Дисциплина изучается во втором семестре. Всего на изучение учебной дисциплины Лабораторный спецпрактикум «Методы преобразования энергии» отведено:

- для очной формы получения высшего образования – 120 часов, в том числе 48 аудиторных часов, из них: лабораторные работы – 48 часов.

Трудоемкость учебной дисциплины составляет 3 зачетные единицы.

Форма текущей аттестации –зачет.

## **СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА**

### **Раздел 1 Термодинамические циклы энергетических установок**

Тема 1.1 Термодинамический анализ цикла Карно. Круговые процессы. Цикл Карно.

Тема 1.2 Сравнительный термодинамический анализ циклов двигателей внутреннего сгорания. Циклы двигателей внутреннего сгорания. Цикл Отто. Цикл Дизеля.

Тема 1.3 Анализ циклов газотурбинных установок. Газотурбинные установки. Цикл Брайтона. Цикл газотурбинной установки с регенерацией.

Тема 1.4 Анализ циклов паротурбинных установок. Паротурбинные установки. Цикл Ренкина. Цикл Ренкина с перегревом пара. Цикл Ренкина с промежуточным перегревом пара.

### **Раздел 2 Фотовольтаическое преобразование энергии**

Тема 2.1 Определение параметров солнечных элементов из световых вольт-амперных характеристик.

Тема 2.2 Анализ спектров фототока солнечных элементов.

Тема 2.3 Емкостные методы исследования полупроводниковых материалов и структур.

Тема 2.4 Изучение фотостабильности солнечных элементов.

### **Раздел 3 Термоэлектрическое преобразование энергии**

Тема 3.1 Расчет термоэлектрической добротности по результатам определения коэффициента теплопроводности, коэффициента Зеебека и удельного сопротивления.

Тема 3.2 Исследование термоэлектрических материалов методом Хармана.

### **Раздел 4 Использование биомассы для получения энергии**

Тема 4.1 Изучение процесса пиролиза биомассы.

Тема 4.2 Изучение продуктов пиролиза биомассы.

# УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Дневная форма получения образования

| Номер раздела, темы | Название раздела, темы                                                                                                                         | Количество аудиторных часов |                         |                        |                         |      | Количество часов<br>УСР | Формы контроля<br>знаний |
|---------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------|-------------------------|--------------------------|
|                     |                                                                                                                                                | Лекции                      | Практические<br>занятия | Семинарские<br>занятия | Лабораторные<br>занятия | Иное |                         |                          |
| 1                   | 2                                                                                                                                              | 3                           | 4                       | 5                      | 6                       | 7    | 8                       | 10                       |
| <b>1</b>            | <b>Термодинамические циклы энергетических установок</b>                                                                                        |                             |                         |                        | <b>16</b>               |      |                         |                          |
| 1.1                 | Термодинамический анализ цикла Карно                                                                                                           |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 1.2                 | Сравнительный термодинамический анализ циклов двигателей внутреннего сгорания                                                                  |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 1.3                 | Анализ циклов газотурбинных установок                                                                                                          |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 1.4                 | Анализ циклов паротурбинных установок                                                                                                          |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| <b>2</b>            | <b>Фотовольтаическое преобразование энергии</b>                                                                                                |                             |                         |                        | <b>16</b>               |      |                         |                          |
| 2.1                 | Определение параметров солнечных элементов из световых вольт-амперных характеристик                                                            |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 2.2                 | Анализ спектров фототока солнечных элементов                                                                                                   |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 2.3                 | Емкостные методы исследования полупроводниковых материалов и структур                                                                          |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 2.4                 | Изучение фотостабильности солнечных элементов                                                                                                  |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| <b>3</b>            | <b>Термоэлектрическое преобразование энергии</b>                                                                                               |                             |                         |                        | <b>8</b>                |      |                         |                          |
| 3.1                 | Расчет термоэлектрической добротности по результатам определения коэффициента теплопроводности, коэффициента Зеебека и удельного сопротивления |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 3.2                 | Исследование термоэлектрических материалов методом Хармана                                                                                     |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| <b>4</b>            | <b>Использование биомассы для получения энергии</b>                                                                                            |                             |                         |                        | <b>8</b>                |      |                         |                          |
| 4.1                 | Изучение процесса пиролиза биомассы                                                                                                            |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| 4.2                 | Изучение продуктов пиролиза биомассы                                                                                                           |                             |                         |                        | 4                       |      |                         | Устный опрос             |
| Итого               |                                                                                                                                                |                             |                         |                        | <b>48</b>               |      |                         |                          |

## **ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ**

### **Перечень основной литературы**

1. Гременок В.Ф. Солнечные элементы на основе полупроводниковых материалов / В.Ф. Гременок, М.С. Тиванов, В.Б. Залесский. Мн: Издательский центр БГУ, 2007. – 222 с.
2. Русан В.И. Возобновляемая энергетика и энергоэффективность / В.И. Русан, Ю.С. Почанин, В.П. Нистюк. М.: Энергопрогресс, 2015. – 380 с.
3. Ганжа, В.Л. Основы эффективного использования энергоресурсов: теория и практика энергосбережения / В.Л. Ганжа. – Минск: Белорусская наука, 2007.
4. Кириллин, В.А. Техническая термодинамика: учебник для вузов / В.А. Кириллин, В.В. Сычев, А.Е. Шейндлин. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

### **Перечень дополнительной литературы**

5. Хутская Н.Г., Пальченко Г.И. Энергосберегающие технологии термохимической конверсии биомассы и лигнокарбонатных отходов: Учебно-методическое пособие. – Минск, 2015. – 53 с.
6. Александров, А.А. Термодинамические основы циклов теплоэнергетических установок: учебное пособие для вузов / А.А. Александров. – М.: Издательский дом МЭИ, 2016.

### **Перечень рекомендуемых средств диагностики и методика формирования итоговой оценки**

Формой текущей аттестации по дисциплине Лабораторный спецпрактикум «Методы преобразования энергии» учебным планом предусмотрен зачет.

При допуске студента к зачету используется оценка за текущую успеваемость, дающая возможность проследить и оценить динамику процесса достижения целей обучения. Оценка за текущую успеваемость формируется по результатам защиты выполненных лабораторных работ.

При оценке текущей успеваемости 4 балла и более студенты допускаются к зачету. При оценке ниже 4 баллов решением кафедры студенты не допускаются к зачету, и им назначается срок выполнения и защиты реферативных работ.

## **Описание инновационных подходов и методов к преподаванию учебной дисциплины**

При организации образовательного процесса используются:

– **метод учебной дискуссии**, который предполагает участие студентов в целенаправленном обмене мнениями, идеями для предъявления и/или согласования существующих позиций по определенной проблеме. Использование метода обеспечивает появление нового уровня понимания изучаемой темы, применение знаний (теорий, концепций) при решении проблем, определение способов их решения.

### **Методические рекомендации по организации самостоятельной работы обучающихся**

Для эффективной самостоятельной работы студентов по учебной дисциплине рекомендуется использовать размещенные в электронной библиотеке учебно-программные материалы, рекомендуемую основную и дополнительную литературу, а также иные, находящиеся в открытом доступе, источники информации.

Также рекомендуется применение заданий различных уровней сложности: задания базового уровня сложности предполагают использование знаний из ограниченной предметной области, задания более высокого уровня сложности требуют от студентов комплексного анализа проблемы с привлечением знаний из смежных областей.

Для текущего контроля качества усвоения знаний по дисциплине рекомендуется использовать подготовленные отчеты по лабораторным работам.

### **Рекомендуемые разделы для проведения устных опросов**

1. Факторы, влияющие на эффективность фотовольтаического преобразования.
2. Термодинамический анализ цикла Карно.
3. Сравнительный термодинамический анализ циклов двигателей внутреннего сгорания.
4. Анализ циклов газотурбинных установок.
5. Анализ циклов паротурбинных установок.
6. Критерии выбора материалов для термоэлектрического преобразования энергии.

### **Примеры заданий для устных опросов**

1. Проанализируйте зависимость эффективности фотоэлектрического преобразования от температуры.

2. Как графически определить работу, совершаемую в ходе цикла Карно в данных термодинамических координатах? В чем отличия данного метода в  $pV$ - и  $Ts$ - диаграммах?

3. Что такое степень повышения давления в компрессоре? Как зависит термический КПД простой ГТУ от степени повышения давления?

4. Поставьте в соответствие каждому из участков цикла Ренкина с перегревом пара элемент тепловой схемы энергетической установки, работающей по данному циклу.

5. Проанализируйте зависимость термоэлектрической добротности полупроводникового материала от уровня его легирования.

### **Примерный перечень вопросов к зачету**

1. Физические основы фотовольтаического преобразования энергии.
2. Материалы для фотовольтаического преобразования энергии.
3. Термодинамический анализ цикла Карно.
4. Сравнительный термодинамический анализ циклов двигателей внутреннего сгорания.
5. Анализ циклов газотурбинных установок.
6. Анализ циклов паротурбинных установок.
7. Физические основы термоэлектрического преобразования энергии.
8. Современные технологии использования биомассы для получения энергии.
9. Методы исследования продуктов пиролиза биомассы.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

| Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование | Название кафедры             | Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине | Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола) |
|---------------------------------------------------------------|------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Ядерные технологии в материаловедении                         | Кафедра физики твердого тела | нет                                                                                                           | Оставить без изменений<br>23.05.2019,<br>протокол №12                                             |

**ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ ПО  
ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ**

на \_\_\_\_ / \_\_\_\_ учебный год

| №<br>п/п | Дополнения и изменения | Основание |
|----------|------------------------|-----------|
|          |                        |           |

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры  
\_\_\_\_\_ (протокол № \_\_\_\_ от \_\_\_\_\_ 201\_ г.)

Заведующий кафедрой

\_\_\_\_\_

УТВЕРЖДАЮ  
Декан факультета

\_\_\_\_\_