

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Уральский энергетический институт
Кафедра атомных станций и возобновляемых источников энергии

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по науке

_____ В.В. Кружаев

« ___ » _____ 2019 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**МЕТОДЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО АНАЛИЗА
УСТАНОВОК И КОМПЛЕКСОВ НА ОСНОВЕ НИВИЭ**

Перечень сведений об образовательной программе	Учетные данные
Направленности (профили) программы Энергетические установки на основе возобновляемых источников энергии	Код ОП 14.06.01
Направление подготовки Ядерная, тепловая и возобновляемая энергетика и сопутствующие технологии	Код направления и уровня образования 14.06.01
Уровень образования – подготовка кадров высшей квалификации	
ФГОС ВО	Реквизиты приказа Министерства образования и науки РФ об утверждении ФГОС ВО: Приказ Министерства образования и науки РФ № 879 от 30.07.2014 г. (с изменениями и дополнениями от 30.04.2015)

Екатеринбург, 2019

Рабочая программа дисциплины составлена авторами:

№ п/п	ФИО	Ученая степень, ученое звание	Должность	Кафедра	Подпись
1	Щеклеин Сергей Евгеньевич	Д-р техн. наук, профессор	зав. кафедрой	Атомные станции и возобновляемые источники энергии	
2	Велькин Владимир Иванович	Доктор технических наук, доцент	доцент	Атомные станции и возобновляемые источники энергии	
3	Немихин Юрий Евгеньевич		старший преподаватель	Атомные станции и возобновляемые источники энергии	

Рекомендовано учебно-методическим советом Уральского энергетического института

Председатель учебно-методического совета

Е.В. Черепанова

Согласовано:

Начальник ОПНПК

Е.А. Бутрина

1. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСЦИПЛИНЫ «Методы эксергетического анализа эффективности установок и комплексов на основе НиВИЭ»

1.1. Аннотация содержания дисциплины

Дисциплина «Методы эксергетического анализа эффективности установок и комплексов на основе НиВИЭ» относится к вариативной части образовательной программы (дисциплинам по выбору) и широко использует многие разделы современной теплофизики, особенно расчетные коды и численные методы анализа процессов тепломассопереноса. В процессе освоения дисциплины изучаются теоретические положения о процессах тепломассопереноса и термодинамики.

Цель изучения дисциплины – формирование представлений о методах анализа эффективности работы теплоэнергетических установок, основанных не только на законе сохранения энергии, но и на втором законе термодинамики. Такой подход позволяет учесть качество энергии и представляет интерес в связи с многочисленными приложениями к задачам энергетики. Рассматривается понятие «эксергия» для неподвижной термодинамической системы и потоков вещества и массы. Особенное внимание обращается на влияние необратимости реальных процессов на энергетическую эффективность установок. В число задач также входит введение в проблему учета качества энергии; овладение методами оценки эффективности энергетического оборудования.

1.2. Язык реализации дисциплины – русский.

1.3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

Результатом обучения в рамках дисциплины является формирование у аспиранта следующих компетенций:

– универсальные компетенции (УК):

- способность к критическому анализу и оценке современных научных достижений, генерированию новых идей при решении исследовательских и практических задач, в том числе в междисциплинарных областях (УК-1);
- способность проектировать и осуществлять комплексные исследования, в том числе междисциплинарные, на основе целостного системного научного мировоззрения с использованием знаний в области истории и философии науки (УК-2);
- готовность участвовать в работе российских и международных исследовательских коллективов по решению научных и научно-образовательных задач (УК-3);
- готовность использовать современные методы и технологии научной коммуникации на государственном и иностранном языках (УК-4);
- способность следовать этическим нормам в профессиональной деятельности (УК-5);
- способность планировать и решать задачи собственного профессионального и личностного развития (УК-6).

– общепрофессиональные компетенции (ОПК):

- владение научно обоснованной методологией теоретических и экспериментальных исследований в области профессиональной деятельности (ОПК-1);
- способность к разработке и использованию современных методов научного исследования и их применению в самостоятельной научно-исследовательской деятельности (ОПК-3);
- готовность к организации работы исследовательского коллектива в профессиональной деятельности (ОПК-4).

– профессиональные компетенции (ПК):

- способность разрабатывать и применять физические и математические модели объектов при разработке и внедрении ядерно-физических и возобновляемых технологий (ПК-1);
- умение проводить работу по обоснованию безопасности при проектировании и эксплуатации энергетических установок (ПК-2);

□ умение разрабатывать технические задания и технико-экономические обоснования на создание наукоемких изделий, а также использовать показатели качества согласно существующим национальной и международной нормативным базам (ПК-3);

- знание программного обеспечения в области разработки технологических процессов с целью обеспечения высокого качества установок на стадиях проектирования, конструирования, производства, сооружения, монтажа и эксплуатации (ПК-4);
- способность осуществлять сбор, обработку, анализ и систематизацию информации по теме исследования, выбор методов и средств решения задач исследования (ПК-5);
- способностью использовать знания теоретических и экспериментальных методов научных исследований, принципов организации научно-исследовательской деятельности (ПК-6);
- готовность использовать современные достижения науки и передовых технологий в науч-но-исследовательских работах (ПК-7);
- способность интерпретировать результаты с целью составления практических рекомендаций по перспективному использованию данных научных исследований (ПК-8);
- способность и готовность к разработке и реализации образовательных программ в области нетрадиционной и возобновляемой энергетики в образовательных организациях высшего образования, дополнительного профессионального образования, профессиональных образовательных организациях (ПК- 9).

В результате освоения дисциплины аспирант должен:

Знать:

- основные физические свойства веществ;
- законы сохранения и превращения энергии применительно к системам передачи и трансформации теплоты;
- основы технической термодинамики;
- законы и основные физико-математических модели переноса энергии и массы применительно к энергетическим, теплотехническим и теплоэнергетическим установкам и системам.

Уметь:

- составлять балансы энергии для теплоэнергетических установок и определять их эксергетическую эффективность;
- рассчитывать передаваемые тепловые потоки;
- использовать методы термодинамики необратимых процессов для анализа эксергетических потерь;
- рассчитывать температурные и концентрационные поля в потоках технологических жидкостей и газов, в элементах конструкций теплотехнологических установок;
- самостоятельно анализировать научные публикации.

Владеть (демонстрировать навыки и опыт деятельности):

- методами анализа эксергетических потерь;
- основами расчета процессов тепломассопереноса в элементах теплотехнического и теплотехнологического оборудования.особенности теплообмена активных зон ядерных реакторов.

1.4. Объем дисциплины

Очная форма обучения:

№ п/п	Виды учебной работы	Объем дисциплины		Распределение объема дисциплины по семестрам (час.)
		Всего часов	В т.ч. контактная работа (час.)*	5
1.	Аудиторные занятия	4	4	4
2.	Лекции	4	4	4
3.	Практические занятия			
4.	Лабораторные работы			
5.	Самостоятельная работа студентов, включая все виды текущей аттестации	100	0,6	100
6.	Промежуточная аттестация	4	0,25	3 (4)
7.	Общий объем по учебному плану, час.	108	4,85	108
8.	Общий объем по учебному плану, з.е.	3		3

2. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Код раздела	Раздел дисциплины	Содержание
P1	Понятие эксергии	Эксергия неподвижной термодинамической системы, потока вещества, потока теплоты. Метод тепловых балансов для анализа термодинамических систем и его недостатки. Эксергетический метод анализа. Графическая интерпретация эксергии на плоскости $h-s$. Эксергия теплоты и ее определение с помощью цикла Карно. Энтропийный метод анализа. Его отличие от эксергетического метода анализа. Оценка среднетермодинамической температуры теплового потока.
P2	Баланс эксергии и эксергетический КПД	Уравнение баланса эксергии для теплоэнергетических установок с потоками вещества и энергии различного качества. Выражение для эксергетического КПД и его анализ. Метод приращений эксергий. Его применение к схемам АЭС. Методика оценки эксергетического КПД элементарного теплового процесса и сложной термодинамической системы. Связь общего эксергетического КПД системы с КПД ее элементов. Эксергетический КПД реальной термодинамической системы с отводом теплового потока в окружающую среду и дросселированием потоков. Эксергетический КПД регенеративного теплообменника, контактного теплообменника, адиабатического самоиспарителя, выпарного аппарата.
P3	Эксергетические потери в необратимых процессах	Уравнение Гюи-Стодола для эксергетических потерь в процессах теплопроводности, диффузии и химических реакций. Методика оценки эксергетических потерь от внешней и внутренней необратимости. Второй закон термодинамики на диаграмме эксергетических потоков. Расчет термодинамической системы с регенеративным контуром. Определение связи эксергетических потерь с расходом топлива. Применение критерия энергетической эффективности проф. В.М.Антуфьева, академика М. В. Кирпичева.

4. ОРГАНИЗАЦИЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ, САМОСТОЯТЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

4.1. Лабораторные работы

Не предусмотрено.

4.2. Практические занятия

Не предусмотрено.

4.3. Примерная тематика самостоятельной работы

4.3.1. Примерный перечень тем домашних работ

Не предусмотрено.

4.3.2. Примерный перечень тем графических работ

Не предусмотрено.

4.3.3. Примерный перечень тем рефератов (эссе, творческих работ)

Не предусмотрено.

4.3.4. Примерная тематика индивидуальных или групповых проектов

Не предусмотрено.

4.3.5. Примерный перечень тем расчетных работ (программных продуктов)

Не предусмотрено.

4.3.6. Примерный перечень тем расчетно-графических работ

Не предусмотрено.

4.3.7. Примерный перечень тем курсовых проектов (курсовых работ)

Не предусмотрено.

4.3.8. Примерная тематика контрольных работ

Не предусмотрено.

4.3.9. Примерная тематика коллоквиумов

Не предусмотрено.

5. СООТНОШЕНИЕ РАЗДЕЛОВ, ТЕМ ДИСЦИПЛИНЫ И ПРИМЕНЯЕМЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБУЧЕНИЯ

Код раздела дисциплины	Активные методы обучения						Дистанционные образовательные технологии и электронное обучение					
	Проектная работа	Кейс-анализ	Деловые игры	Проблемное обучение	Командная работа	Другие (указать, какие)	Сетевые учебные курсы	Виртуальные практикумы/тренажеры	Вебинары и видеоконференции	Асинхронные web-конференции/семинары	Совместная работа и разработка контента	Другие (указать, какие)
P1		*										
P2		*		*								
P3		*		*								

6. ПРОЦЕДУРЫ КОНТРОЛЯ И ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Балльно-рейтинговая система не используется.

7. ПРОЦЕДУРЫ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ В РАМКАХ НЕЗАВИСИМОГО ТЕСТОВОГО КОНТРОЛЯ

Не используются.

8. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕЙ И ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

8.1. Критерии оценивания результатов контрольно-оценочных мероприятий текущей и промежуточной аттестации по дисциплине

Применяются утвержденные на кафедре критерии оценивания достижений аспирантов по каждому контрольно-оценочному мероприятию. Система критериев оценивания опирается на три уровня освоения компонентов компетенций: пороговый, повышенный, высокий.

Компоненты компетенций	Признаки уровня освоения компонентов компетенций		
	пороговый	повышенный	высокий
Знания	Аспирант демонстрирует знание-знакомство, знание-копию: узнает объекты, явления и понятия, находит в них различия, проявляет знание источников получения информации, может осуществлять самостоятельно репродуктивные действия над знаниями путем самостоятельного воспроизведения и применения информации.	Аспирант демонстрирует аналитические знания: уверенно воспроизводит и понимает полученные знания, относит их к той или иной классификационной группе, самостоятельно систематизирует их, устанавливает взаимосвязи между ними, продуктивно применяет в знакомых ситуациях.	Аспирант может самостоятельно извлекать новые знания из окружающего мира, творчески их использовать для принятия решений в новых и нестандартных ситуациях.
Умения	Аспирант умеет корректно выполнять предписанные действия по инструкции, алгоритму в известной ситуации, самостоятельно выполняет действия по решению типовых задач, требующих выбора из числа известных методов, в предсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия (приемы, операции) по решению нестандартных задач, требующих выбора на основе комбинации известных методов, в непредсказуемо изменяющейся ситуации	Аспирант умеет самостоятельно выполнять действия, связанные с решением исследовательских задач, демонстрирует творческое использование умений (технологий)
Личностные качества	Аспирант имеет низкую мотивацию учебной деятельности, проявляет безразличное, безответственное отношение к учебе, порученному делу	Аспирант имеет выраженную мотивацию учебной деятельности, демонстрирует позитивное отношение к обучению и будущей трудовой деятельности, проявляет активность.	Аспирант имеет развитую мотивацию учебной и трудовой деятельности, проявляет настойчивость и увлеченность, трудолюбие, самостоятельность, творческий подход.

8.2. Критерии оценивания результатов промежуточной аттестации при использовании независимого тестового контроля

Не используются.

8.3. Оценочные средства для проведения текущей и промежуточной аттестации

8.3.1. Примерные задания для проведения мини-контрольных в рамках учебных занятий *не предусмотрено*

8.3.2. Примерные контрольные задачи в рамках учебных занятий *не предусмотрено*

8.3.3. Примерные контрольные кейсы *не предусмотрено*

8.3.4. Перечень примерных вопросов для зачета

1. На каком законе основан метод тепловых балансов?
2. Недостатки метода тепловых балансов для анализа термодинамических систем.
3. Эксергетический метод анализа. В чем отличие этого метода от метода тепловых балансов?
4. Определение энергии системы. Физический смысл энергии.
5. Эксергетические потери. Эксергетические потери от внешней и внутренней необратимости.
6. Эксергия теплоты и ее определение с помощью цикла Карно.
7. Эксергия потока вещества.
8. Графическая интерпретация определения эксергии на плоскости $h-s$.
9. Энтропийный метод анализа. Его отличие от эксергетического метода.
10. Выражение для расчета эксергетических потерь.
11. Относительный коэффициент эксергетических потерь
12. Метод приращений эксергий. Его отличие от классического эксергетического и энтропийного методов.
13. Общие потери эксергии. Потери эксергии от внешней необратимости. Закон Гюи-Стодолы (потери эксергии от внутренней необратимости тепловых процессов).
14. Определение эксергии теплового потока. Математическое выражение для эксергии теплового потока.
15. Определение и математическое выражение среднетермодинамической температуры теплового потока.
16. Математическое выражение для величины приращения эксергии.
17. Эксергетические потери – абсолютная величина оценки термодинамического совершенства системы.
18. Эксергетический КПД как относительная характеристика термодинамического совершенства системы.
19. Вычисление эксергетического КПД элементарного теплового процесса и сложной термодинамической системы.
20. Математическое выражение связи общего эксергетического КПД системы с КПД ее элементов.
21. Связь эксергетического КПД реальной термодинамической системы с КПД адиабатной системы с отводом теплового потока в окружающую среду и дросселированием потоков.
22. Упрощенный метод определения эксергетического КПД сложной термодинамической системы.
23. Определение эксергетического КПД рекуперативного теплообменника.
24. Определение эксергетического КПД контактного теплообменника.
25. Определение эксергетического КПД адиабатического самоиспарителя.
26. Определение эксергетического КПД выпарного аппарата.
27. Методические основы построения эксергетических диаграмм.
28. Относительная величина затраченной эксергии.
29. Относительная величина приобретенной эксергии.
30. Как выражается второй закон термодинамики на диаграмме эксергетических потоков?
31. Алгоритм построения эксергетических диаграмм.
32. Какую информацию можно получить из эксергетической диаграммы потоков?
33. Какова цель эксергетического анализа?
34. Расчет термодинамической системы с регенеративным контуром.

35. Определение связи эксергетических потерь с расходом топлива в энергетическом реакторе в условиях ограниченной информации по энергетическому источнику и преобразования энергоносителя от источника до анализируемого процесса.
36. Критерий энергетической эффективности академика М.В. Кирпичева. Математическое выражение.
37. Критерий энергетической эффективности проф. В.М. Антуфьева. Вывод критерия энергетической эффективности.
38. Эксергетический коэффициент теплопередачи как универсальная характеристика оценки энергоэффективности процессов. Вывод критерия энергетической эффективности.
39. Показать связь эксергетического коэффициента теплопередачи с критериями М.В. Кирпичева и В.М. Антуфьева.

8.3.5. Перечень примерных вопросов для экзамена

Не предусмотрено.

8.3.6. Ресурсы АПИМ УрФУ, СКУД УрФУ для проведения тестового контроля в рамках текущей и промежуточной аттестации

Не используются.

8.3.7. Ресурсы ФЭПО для проведения независимого тестового контроля

Не используются.

8.3.8. Интернет-тренажеры

Не используются.

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

9.1.Рекомендуемая литература

9.1.1.Основная литература

1. Бродянский, Виктор Михайлович. Эксергетический метод и его приложения / В. М. Бродянский, В. Фратшер, К. Михалек .— Москва : Энергоатомиздат, 1988 .— 286 с. – 3 экз. в библиотеке.
2. Бродянский, Виктор Михайлович. Эксергетический метод термодинамического анализа / В. М. Бродянский .— Москва : Энергия, 1973 .— 296 с. – 3 экз. в библиотеке.
3. Эксергетические расчеты технических систем / [В. М. Бродянский и др.] ; под ред. А. А. До-линского, В. М. Бродянского ; АН УССР, Ин-т техн. теплофизики .— Киев : Наукова думка, 1991 .— 359 с. – 6 экз. в библиотеке
4. Техническая термодинамика. В 2 ч. Ч. 1: учебное пособие / А.В. Островская, Е.М. Толмачёв, В.С. Белоусов, С.А. Нейская. Екатеринбург : УГТУ–УПИ, 2010. 155 с. – 44 экземпляра в учеб-ном фонде.
- 5.Техническая термодинамика: учебное пособие. В 2 ч. Ч.2 / А.В.Островская, Е.М.Толмачев, В.С.Белоусов, С.А.Нейская. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 106 с. – 60 экземпляров в учебном фонде.

9.1.2.Дополнительная литература

1. Бродянский, Виктор Михайлович. Вечный двигатель - прежде и теперь / В. М. Бродянский .— Москва : ФИЗМАТЛИТ, 2001 .— 264 с. <URL:http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=48215>. – 1 экз. в библиотеке
2. Гленсдорф, П. Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций / П. Гленсдорф, И. Пригожин ; пер. с англ. Н. В. Вдовиченко, В. А. Онищука под ред. Ю. А. Чизмаджева ; предисл. Г. Г. Малинецкого .— Изд. 2-е .— Москва : Едиториал УРСС, 2003 .— 280 с. – 1 экз. в библиотеке.
3. Термодинамика, энергетическая эффективность и экология / В. С. Белоусов, Г. П. Ясников, А. В. Островская [и др.] ; под ред. Г. П. Ясникова ; Свердловгосэнергонадзор, Урал. гос. техн. ун-т .— Екатеринбург : Полиграфист, 1999 .— 204 с. – 2 экз. в библиотеке.

4. Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С. Эксергетический анализ технологических схем производства целлюлозы и бумаги // Промышленная энергетика. 2009. №11. – доступ через elibrary
5. Казаков В.Г., Луканин П.В., Смирнова О.С. Построение эксергетических диаграмм по методу приращений эксергетических потоков // Промышленная энергетика. 2010. №11. – доступ через elibrary
6. Меркер, Эдуард Эдгардович. Энергосбережение в промышленности и эксергетический анализ технологических процессов : учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по направлению "Металлургия" / Э. Э. Меркер, Г. А. Карпенко, И. М. Тынников .— Старый Оскол : ТНТ, 2012 .— 316 с. – 1 экз. в библиотеке
7. Нейская, Светлана Анатольевна. Эксергетический анализ необратимых потерь в тепловыделяющих элементах и теплообменном оборудовании АЭС : Дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: 01. 04. 14 / С.А. Нейская; Урал. гос. техн. ун-т - УПИ .— Екатеринбург : Б. и., 2002 .— 134 с. – 1 экз. в библиотеке.

9.2.Методические разработки

Не используются.

9.3.Программное обеспечение

Не используется.

9.4. Базы данных, информационно-справочные и поисковые системы

- Зональная научная библиотека <http://lib.urfu.ru>
- ScienceDirect: <http://www.sciencedirect.com>;
- Web of Science: <http://apps.webofknowledge.com>;
- Scopus: <http://www.scopus.com>;
- Reaxys: <http://reaxys.com>

9.5. Электронные образовательные ресурсы

1. Портал информационно-образовательных ресурсов УрФУ. Режим доступа: study.urfu.ru
2. Электронный каталог зональной научной библиотеки УрФУ. Режим доступа: lib.urfu.ru

10. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Сведения об оснащённости дисциплины специализированным и лабораторным оборудованием

Лекции читаются в аудитории, оснащенной мультимедийным проектором. Для самостоятельной работы могут использоваться:

1. Учебный стенд «Тепловой насос»
2. Учебный стенд теплообменник системы охлаждения.
3. Учебный стенд «Циркуляции теплоносителя в энергетическом оборудовании»
4. Программный комплекс «Эксергетическая эффективность энергетической установки»