

**Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
Казанский научный центр Российской академии наук**

Утверждаю
Председатель КазНЦ РАН

_____ О.Г.Синяшин
_____ 2016г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
Теплообмен в энергетическом оборудовании

основная образовательная программа подготовки аспиранта
по направлению 03.06.01 Физика и астрономия

Профиль программы Теплофизика и теоретическая теплотехника

Уровень высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в
аспирантуре

Квалификация: Исследователь. Преподаватель-исследователь

Казань 2016

Рабочая программа составлена на основании федеральных государственных образовательных стандартов к основной образовательной программе высшего образования подготовки научно-педагогических кадров в аспирантуре по направлению 03.06.01 Физика и астрономия.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА РАССМОТРЕНА И ОДОБРЕНА на заседании Ученого совета КазНЦ РАН Протокол № __ от _____ 2016 г.

Разработчик

Р.Ф. Камалов

1. Цель изучения дисциплины

Целью изучения дисциплины является получение устойчивых знаний:

- по устройству и работе рекуперативных теплообменных аппаратов: кожухотрубчатые, пластинчатые, пластинчато-ребристые;
- по схемам течения теплоносителей в рекуперативных теплообменных аппаратах;
- по методам интенсификации теплообмена в теплообменных аппаратах;
- по критериям эффективности теплообмена в теплообменных аппаратах;
- по теплообмену и гидродинамике в прямых каналах;
- по теплообменным поверхностям с дискретной шероховатостью;
- по тепловому и гидродинамическому расчету кожухотрубчатого теплообменного аппарата;
- по тепловому и гидродинамическому расчету пластинчатого теплообменного аппарата;
- по применению пористых тел в качестве интенсификаторов теплообмена в энергетическом оборудовании и теплогидродинамическим характеристикам пористых структур;
- по устройству и работе пластинчатого теплообменного аппарата с пористыми вставками;
- по тепловому и гидродинамическому расчету пластинчатого теплообменного аппарата с пористыми вставками и теплоэнергетической эффективности такого аппарата;
- по устройству и работе регенеративных воздухоподогревателей;
- по тепловому и гидродинамическому расчету регенеративных воздухоподогревателей.

Для достижения поставленной цели и приобретения практических навыков обучающийся должен уметь решать **следующие задачи**:

- изучить устройство, принцип действия и технические характеристики теплообменных аппаратов;
- ознакомиться и приобрести практические навыки выполнения технических расчетов теплообменных аппаратов;
- ознакомиться с достижениями современной науки и техники в области проектирования теплообменных аппаратов и интенсификации теплообмена;
- приобрести практические навыки определения экономической и теплоэнергетической эффективности теплообменных аппаратов и интенсифицированных поверхностей теплообмена;
- приобрести практические навыки в выборе основного и вспомогательного оборудования энергетических установок с использованием справочной литературы, отраслевых каталогов и современных информационных технологий.

2. Место учебной дисциплины в структуре профессиональной подготовке

2.1. Дисциплины «Теплообмен в энергетическом оборудовании» относится к вариативной части и является дисциплиной по выбору аспирантов при освоении ООП ВО по направлению подготовки 03.06.01- Физика и астрономия, направленность 01.14.04 – теплофизика и теоретическая теплотехника.

В результате изучения дисциплины обучающийся должен освоить следующие компетенции и демонстрировать следующие результаты:

2.2 Для успешного освоения данной дисциплины, аспирант должен владеть знанием и умением решения задач по следующим дисциплинам:

- математика (алгебра, геометрия, тригонометрия, дифференциальные и интегральные вычисления);
- физика (механика, термодинамика);
- основы теплотехники;
- основы гидродинамики;
- основы тепло- и массообмена;
- основы машиностроительного черчения.

3. Требования к результатам освоения учебной дисциплины

Учебная дисциплина обеспечивает формирование части компетенций ПК-1

способность к самостоятельному проведению научно-исследовательской работы и получению научных результатов, удовлетворяющих установленным требованиям к содержанию диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук по направленности «Теплофизика и теоретическая теплотехника»

Перечень компонентов	Виды учебной работы	Средства оценки
В результате освоения компетенции обучающийся должен • ЗНАТЬ: фундаментальные основы теплофизики и теоретической теплотехники, а также специальных дисциплин. • УМЕТЬ: составлять план работы по заданной теме, анализировать получаемые результаты, составлять	Лекции. Самостоятельная работа обучающихся по изучению теоретического материала	Устный опрос для текущего и промежуточного контроля

отчёты о научно-исследовательской работе. ВЛАДЕТЬ: владеть фундаментальными разделами физики, необходимыми для решения научно-исследовательских задач в области теплофизики и теоретической теплотехники.		
--	--	--

4. Структура учебной дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 зачетные единицы (72 часа).

	Наименование дисциплины	Объем учебной работы,ч							Вид итогового контроля
		Всего	Всего аудиторн.	Из аудиторных				Самост. работа	
				Лекц.	Лаб.	Практ.	КСР		
	Теплообмен в энергетическом оборудовании	180		36				144	Зачет

4.1. Содержание дисциплины

Раздел 1. Основные положения о теплообмене в энергетическом оборудовании – 24 ч.

Раздел 2. Теплообмен при вынужденном и свободном течении жидкости – 24 ч.

Раздел 3. Рекуперативные теплообменные аппараты: кожухотрубчатые, пластинчатые, пластинчато-ребристые. Особенности гидродинамики и теплообмена – 24 ч.

Раздел 4. Тепловой и гидродинамический расчет кожухотрубчатого теплообменника – 24 ч.

Раздел 5. Тепловой и гидродинамический расчет пластинчатого теплообменника – 16 ч.

Раздел 6. Регенеративные теплообменные аппараты. Тепловой и гидродинамический расчет – 16 ч.

Раздел 7. Воздухоподогреватели и калориферы. Тепловой и гидродинамический расчет – 16 ч.

Раздел 8. Методы интенсификации теплообмена. Критерии эффективности теплообменной поверхности и всего аппарата – 16 ч.

Раздел 9. Теплотехнические измерения: общие сведения об измерениях и погрешностях, измерения температуры и давления – 20 ч.

№ п/п	Наименование разделов и тем	Всего, час.	В том числе			Форма контроля
			лекции	семина ры	самостояте льная работа	
1	Основные положения о теплообмене в энергетическом оборудовании.	24	4	0	20	
2	Теплообмен при вынужденном и свободном течении жидкости.	24	4	0	20	Устный опрос, решение задач
3	Рекуперативные теплообменные аппараты: кожухотрубчатые, пластинчатые, пластинчато-ребристые. Особенности гидродинамики и теплообмена.	24	4	0	20	опрос
4	Тепловой и гидродинамический расчет кожухотрубчатого теплообменника.	24	4	0	20	Устный опрос, решение задач
5	Тепловой и гидродинамический расчет пластинчатого теплообменника.	16	4	0	12	опрос
6	Регенеративные теплообменные аппараты. Тепловой и гидродинамический расчет.	16	4	0	12	Устный опрос, решение задач
7	Воздухоподогреватели и калориферы. Тепловой и гидродинамический расчет.	16	4	0	12	опрос
8	Методы интенсификации теплообмена. Критерии эффективности теплообменной поверхности и всего аппарата.	16	4	0	12	Устный опрос, решение задач
9	Теплотехнические измерения: общие сведения об измерениях и погрешностях, измерения температуры и давления.	20	4	0	16	Устный опрос, решение задач
Всего		180	36	0	144	

Раздел 1. Основные положения о теплообмене в энергетическом оборудовании

Основные понятия и определения. Коэффициенты теплоотдачи, теплопередачи, гидравлического сопротивления. Осредненные значения коэффициентов. Общие сведения об энергетическом оборудовании и их характеристики. Области применения энергетического оборудования.

Раздел 2. Теплообмен при вынужденном и свободном течении жидкости

Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб. Теплоотдача при свободном движении жидкости.

Раздел 3. Рекуперативные теплообменные аппараты: кожухотрубчатые, пластинчатые, пластинчато-ребристые. Особенности гидродинамики и теплообмена

Назначение рекуперативных теплообменных аппаратов и их классификация. Характеристики рекуперативных теплообменных аппаратов. Применение в энергетике и промышленности. Схемы течения теплоносителей.

Раздел 4. Тепловой и гидродинамический расчет кожухотрубчатого теплообменника

Характеристики кожухотрубчатого теплообменника. Порядок теплового и гидродинамического расчета. Определение основных геометрических характеристик кожухотрубчатого теплообменника.

Раздел 5. Тепловой и гидродинамический расчет пластинчатого теплообменника

Характеристики пластинчатого теплообменника. Порядок теплового и гидродинамического расчета. Определение основных геометрических характеристик пластинчатого теплообменника.

Раздел 6. Регенеративные теплообменные аппараты. Тепловой и гидродинамический расчет

Назначение регенеративных теплообменных аппаратов и их классификация. Характеристики регенеративных теплообменных аппаратов. Порядок теплового и гидродинамического расчета.

Раздел 7. Воздухоподогреватели и калориферы. Тепловой и гидродинамический расчет

Назначение воздухоподогревателей и калориферов и их классификация. Характеристики воздухоподогревателей и калориферов. Регенеративные и рекуперативные воздухоподогреватели. Порядок теплового и гидродинамического расчета.

Раздел 8. Методы интенсификации теплообмена. Критерии эффективности теплообменной поверхности и всего аппарата

Значение интенсификации теплообмена. Классификация методов интенсификации теплообмена в теплоэнергетическом теплообменном оборудовании. Физическая модель течения жидкости в интенсифицированном канале. Критерии оптимальности теплообменного оборудования. Сравнительная характеристика эффективности и оптимальные параметры элементов дискретной шероховатости.

Раздел 9. Теплотехнические измерения: общие сведения об измерениях и погрешностях, измерения температуры и давления

Общие сведения об измерениях и погрешностях. Измерение температуры: термометры, термоэлектрические преобразователи, термопреобразователи сопротивления. Измерение давления: манометры, дифманометры, методика измерения давления.

4.2 Самостоятельная работа аспиранта (144 часа)

№	Раздел дисциплины (количество часов самостоятельной работы)	Задания по самостоятельной работе аспирантов	Рекомендуемая литература	Форма контроля самост. работы
1	Основные положения о теплообмене в энергетическом оборудовании (20 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[1, 14, 16]	Собеседование
2	Теплообмен при вынужденном и свободном течении жидкости (20 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[1, 2, 14, 16, 18]	Собеседование
3	Рекуперативные теплообменные аппараты: кожухотрубчатые, пластинчатые, пластинчато-ребристые. Особенности гидродинамики и теплообмена. (20 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[3 – 5, 15 – 18]	Собеседование
4	Тепловой и гидродинамический расчет кожухотрубчатого теплообменника. (20 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[3 – 5, 15 – 18]	Собеседование
5	Тепловой и гидродинамический расчет пластинчатого теплообменника. (12 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[3 – 5, 15 – 18]	Собеседование
6	Регенеративные теплообменные аппараты. Тепловой и гидродинамический расчет. (12 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[3 – 5, 15 – 18]	Собеседование
7	Воздухоподогреватели и калориферы. Тепловой и гидродинамический расчет. (12 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[3 – 5, 15 – 18]	Собеседование
8	Методы интенсификации	Проработать	[6 – 9, 19 – 26]	Собеседование

	теплообмена. Критерии эффективности теплообменной поверхности и всего аппарата. (12 часов)	лекцию, рекоменд. литературу		
9	Теплотехнические измерения: общие сведения об измерениях и погрешностях, измерения температуры и давления. (16 часов)	Проработать лекцию, рекоменд. литературу	[10 – 13]	Собеседование

5. Образовательные технологии

В процессе обучения предусматриваются следующие образовательных технологии:

1. Сопровождение лекций показом видеоматериала.
2. Использование современных информационных компьютерных технологий.

6. Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы аспирантов.

Виды самостоятельной работы: в домашних условиях, в читальном зале библиотеки, на компьютерах с доступом к базам данных и ресурсам Интернет, в лабораториях с доступом к лабораторному оборудованию и приборам. Самостоятельная работа подкрепляется учебно-методическим и информационным обеспечением, включающим учебники, учебно-методические пособия, конспекты лекций, учебное и научное программное обеспечение, ресурсы Интернет.

7. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации по итогам освоения дисциплины

Цель контроля - получение информации о результатах обучения и степени их соответствия результатам обучения.

7.1. Текущий контроль

Текущий контроль успеваемости, т.е. проверка усвоения учебного материала, регулярно осуществляемая на протяжении семестра. Текущий контроль знаний учащихся организован как устный групповой опрос (УГО). Текущая самостоятельная работа аспиранта направлена на углубление и закрепление знаний, и развитие практических умений аспиранта.

7.2. Промежуточная аттестация

Промежуточная аттестация осуществляется в конце семестра в форме зачета.

Перечень контрольных мероприятий и вопросы

Перечень вопросов к зачету:

1. Основные понятия и определения о теплообмене.
2. Коэффициенты теплоотдачи, теплопередачи, гидравлического сопротивления. Осредненные значения коэффициентов.
3. Общие сведения об энергетическом оборудовании и их характеристики.
4. Области применения энергетического оборудования.
5. Теплоотдача при вынужденном продольном омывании плоской поверхности.
6. Теплоотдача при вынужденном течении жидкости в трубах.
7. Теплоотдача при вынужденном поперечном омывании труб и пучков труб.
8. Теплоотдача при свободном движении жидкости.
9. Назначение рекуперативных теплообменных аппаратов и их классификация.
10. Характеристики рекуперативных теплообменных аппаратов.
11. Применение рекуперативных теплообменных аппаратов в энергетике и промышленности.
12. Схемы течения теплоносителей в рекуперативных теплообменных аппаратах.
13. Характеристики кожухотрубчатого теплообменника.
14. Порядок теплового и гидродинамического расчета кожухотрубчатого теплообменника.
15. Определение основных геометрических характеристик кожухотрубчатого теплообменника.
16. Характеристики пластинчатого теплообменника.
17. Порядок теплового и гидродинамического расчета пластинчатого теплообменника.
18. Определение основных геометрических характеристик пластинчатого теплообменника.
19. Назначение регенеративных теплообменных аппаратов и их классификация.
20. Характеристики регенеративных теплообменных аппаратов.
21. Порядок теплового и гидродинамического расчета регенеративных теплообменных аппаратов.
22. Назначение воздухоподогревателей и калориферов и их классификация.
23. Характеристики воздухоподогревателей и калориферов.
24. Регенеративные и рекуперативные воздухоподогреватели.
25. Порядок теплового и гидродинамического расчета воздухоподогревателей и калориферов.
26. Значение интенсификации теплообмена.
27. Классификация методов интенсификации теплообмена в теплоэнергетическом теплообменном оборудовании.
28. Физическая модель течения жидкости в интенсифицированном канале.
29. Критерии оптимальности теплообменного оборудования.
30. Сравнительная характеристика эффективности и оптимальные параметры элементов дискретной шероховатости.
31. Общие сведения об измерениях и погрешностях.

32. Измерение температуры: термометры, термоэлектрические преобразователи, термопреобразователи сопротивления.
33. Измерение давления: манометры, дифманометры, методика измерения давления.

8. Учебно-методическое и информационное обеспечение учебной дисциплины

Учебная, учебно-методическая и иные библиотечно-информационные ресурсы обеспечивают учебный процесс и гарантируют возможность качественного освоения аспирантом образовательной программы. Казанский научный центр РАН располагает библиотекой, включающей научно-техническую литературу по термодинамике, физике, математике и другим разделам теплофизики, научные журналы и труды конференций.

Основная литература

1. *Исаченко В.П.* Теплопередача / В.П. Исаченко, В.А. Осипова, А.С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
2. *Идельчик Е.И.* Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Е.И. Идельчик. Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
3. Теплообменные аппараты ТЭС: справочник в 2 кн. Кн. 1 / Под общ. ред. Ю.Г. Назмеева, В.Н. Шлянникова – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 491 с.
4. Теплообменные аппараты ТЭС: справочник в 2 кн. Кн. 2 / Под общ. ред. Ю.Г. Назмеева, В.Н. Шлянникова – М.: Издательский дом МЭИ, 2010. – 435 с.
5. *Стерман Л.С.* Тепловые и электрические станции. Учеб. для студентов вузов, обучающихся по направлению подготовки «Теплоэнергетика» / Л.С. Стерман. – М.: Изд-во МЭИ, 2008. – 464 с.
6. *Калинин Э.К.* Эффективные поверхности теплообмена / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, И.З. Копп и др. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 408 с.
7. *Гортышов Ю.Ф.* Теплогидравлический расчет и проектирование оборудования с интенсифицированным теплообменом / Ю.Ф. Гортышов, В.В. Олимпиев, Б.Е. Байгалиев. – Казань: КГТУ им. А.Н. Туполева, 2004. – 432 с.
8. *Назмеев Ю.Г.* Теплообмен при ламинарном течении жидкости в дискретно-шероховатых каналах / Ю.Г. Назмеев. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 376 с.
9. *Колафати Д.Д.* Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена / Д.Д. Колафати, В.В. Полямов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
10. *Новицкий П.В.* Оценка погрешностей результатов измерений / П.В. Новицкий, И.А. Зограф. – Л.: Энергоатомиздат, 1985. – 248 с.

11. *Преображенский В.П.* Теплотехнические измерения и приборы / В.П. Преображенский. – М.: Энергия, 1978. – 704 с.
12. *Линеверг Ф.* Измерение температур в технике / Ф. Линеверг. – М.: Металлургия, 1980. – 544 с.
13. Теоретические основы теплотехники. Теплотехнический эксперимент: справочник в 4 кн. Кн. 1 / Под общ. ред. А.В. Клименко, В.М. Зорина. – М.: Изд-во МЭИ, 2001. – 564 с.

Дополнительная литература

14. *Быстрицкий Г.Ф.* Основы энергетики: Учебник для вузов / Г.Ф. Быстрицкий. – М.: ИНФРА-М, 2005. – 278 с.
15. *Назмеев Ю.Г.* Теплообменные аппараты ТЭС / Ю.Г. Назмеев, В.М. Лавыгин. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 288 с.
16. *Арсеньев Г.В.* Энергетические установки: Учеб. для вузов / Г.В. Арсеньев. – М.: Высш. шк., 1991. – 336 с.
17. Рихтер Л.А. Вспомогательное оборудование ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 215 с.
18. Елизаров Д.П. Теплоэнергетические установки электростанций. – М.: Энергоиздат, 1982. – 264 с.
19. *Гортышов Ю.Ф.* Теплообменные аппараты с интенсифицированным теплообменом / Ю.Ф. Гортышов, В.В. Олимпиев. – Казань: КГТУ им. А.Н.Туполева, 1999. – 175 с.
20. *Калинин Э.К.* Интенсификация теплообмена в каналах / Э.К. Калинин, Г.А. Дрейцер, С.А. Ярхо. – М.: Машиностроение, 1990. – 206 с.
21. *Гортышов Ю.Ф.* Теплогидравлическая эффективность перспективных способов интенсификации теплоотдачи в каналах теплообменного оборудования. Интенсификация теплообмена / Ю.Ф. Гортышов, И.А. Попов, В.В. Олимпиев и др.; под общ. ред. Ю.Ф. Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2009. – 531 с.
22. *Коваленко Л.М.* Теплообменники с интенсификацией теплоотдачи / Л.М. Коваленко, А.Ф. Глушков. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 240 с.
23. *Мигай В.К.* Повышение эффективности современных теплообменников / В.К. Мигай. – Л.: Энергоатомиздат, 1980. – 143 с.
24. *Мигай В.К.* Моделирование теплообменного энергетического оборудования / В.К. Мигай. – Л.: Энергоатомиздат, 1987. – 264 с.
25. *Колафати Д.Д.* Оптимизация теплообменников по эффективности теплообмена / Д.Д. Колафати, В.В. Полямов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 152 с.
26. *Попов И.А.* Гидродинамика и теплообмен внешних и внутренних свободноконвективных вертикальных течений с интенсификацией. Интенсификация теплообмена / И.А. Попов; под общ. ред. Ю.Ф. Гортышова. – Казань: Центр инновационных технологий, 2007. – 326 с.

9. Материально- техническое обеспечение

Казанский научный центр РАН располагает материально-технической базой, соответствующей санитарно-техническим нормам и обеспечивающей проведение всех видов теоретической и практической подготовки, предусмотренных учебным планом аспиранта, а также эффективное выполнение диссертационной работы.

№ п/п	Наименование дисциплины	Наименование оборудования
1.	Аналитические методы в теории теплопроводности	1. Научно-исследовательские установки лаборатории ТФИ
		2. Персональные компьютеры.