Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ
Проректор по учебной работе

_____ А.Л.Толстик

« 06 » 06 2017 г.

Регистрационный № УД-4474/уч.

Лаборатория специализации

ТЕПЛОВЫЕ СХЕМЫ И РЕЖИМЫ РАБОТЫ ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Учебная программа учреждения высшего образования по учебной дисциплине для специальности 1-31 04 06 Ядерные физика и технологии

Минск 2017

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии» (ОСВО 1-31 04 06-2013), введенном с 1 сентября 2013 г., и учебного плана специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии», утвержденном 30 мая 2013 г., регистрационный номер УП G31-142/уч.

СОСТАВИТЕЛИ:
А.В. Ларькин, старший преподаватель кафедры энергофизики Белорусского государственного университета;
О.В. Семенович, старший преподаватель кафедры ядерной физики Белорусского государственного университета.

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной физики физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол № 12 от 28 мая 2017 г.);

Советом физического факультета
(протокол № 11 от 8 июня 2017 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа дисциплины «Тепловые схемы и режимы ядерных энергетических установок» разработана для специализации 1-31 04 06 03 «Физика ядерных реакторов и атомных энергетических установок» специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии» первой ступени высшего образования. Она предназначена для более глубокого изучения студентами основ теплофизических процессов, протекающих в ядерных реакторах (ЯР) и реакторных установках (РУ) при переходных и аварийных режимах работы. Настоящая программа является оригинальной и разработана с учетом соответствующих требований образовательного стандарта специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии» (ОСВО 1-31 04 06-2013).

Программа состоит из двух разделов:

– термодинамические циклы и тепловые схемы с ядерными энергетическими установками;

– термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок.

Цель учебной дисциплины – получение студентами углубленной информации о сущности и особенностях процессов гидродинамики и теплообмена в реакторной установке (РУ) при переходных и аварийных режимах работы; термодинамических циклах и тепловых схемах с ядерными энергетическими установками (ЯЭУ).

Задачи учебной дисциплины:

– сформировать соответствующие современному уровню знания понятия, положения и концепции о термогидродинамических процессах, протекающих в РУ с реакторами с водой под давлением при переходных и аварийных режимах работы;

– сформировать понятия о методах исследования и натурного моделирования названных явлений у студентов – будущих инженеров-физиков, специализирующегося в области ядерной энергетики;

– сформировать соответствующие современному уровню знания понятия, положения и концепции о термодинамических циклах и тепловых схемах ЯЭУ.

Учебный материал дисциплины основан на базовых знаниях и представлениях, заложенных в дисциплинах «Тепломассоперенос в ядерно-энергетических установках», «Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок», «Тепловые схемы и режимы работы ядерных энергетических установок», «Техническая термодинамика ядерных энергетических установок

Перед преподавателем данной дисциплины ставятся следующие задачи:

– ознакомить обучающихся с современными методами исследования и моделирования процессов тепломассопереноса в

реакторных установках с водоохлаждаемыми реакторами при переходных и аварийных режимах работы;

– ознакомить обучающихся с современными методами исследования и моделирования тепловых схем ЯЭУ;

– способствовать развитию научного мировоззрения обучающихся.

Из множества эффективных педагогических методик и технологий, которые способствуют вовлечению обучающихся в поиск и управление знаниями, приобретению опыта самостоятельного решения разнообразных задач, следует выделить:

– технологии научно-исследовательской деятельности;

– проблемно-ориентированный междисциплинарный подход;

– интенсивное обучение.

В результате усвоения дисциплины обучающийся должен

знать:

– методы математического моделирования и аналитического рассмотрения термодинамических циклов и тепловых схем с ЯЭУ;

– характер протекания и специфику процессов гидродинамики и теплообмена в РУ в целом и в их отдельных элементах (в первую очередь – ЯР) при переходных и аварийных режимах;

– основы методов натурного моделирования термогидродинамических процессов в РУ и их отдельных элементах при названных режимах.

уметь:

– проводить анализ термодинамических циклов и тепловых схем ЯЭУ с последующими выводами об оптимальных режимах работы.

– анализировать методики натурных экспериментов по исследованию процессов гидродинамики и теплообмена в РУ при переходных и аварийных режимах;

– анализировать сценарии развития нестационарных термогидродинамических процессов в РУ при нештатных режимах работы;

владеть:

– основными методами натурного моделирования процессов гидродинамики и тепломассообмена в оборудовании водоохлаждаемого ядерного реактора и РУ в целом при переходных и аварийных режимах работы.

В результате изучения учебной дисциплины «Тепловые схемы и режимы ядерных энергетических установок» у обучающегося должны быть сформированы следующие ***компетенции***:

– уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;

– владеть системным и сравнительным анализом;

– владеть исследовательскими навыками;

– уметь работать самостоятельно;

– иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;

– применять знания теоретических и экспериментальных основ ядерной физики и ядерных технологий, ядерно-физических методов исследования, методов измерения физических величин, методов автоматизации эксперимента, методов планирования, организации и ведения научно-производственной, научно-педагогической, производственно-технической, опытно-конструкторской работы в области ядерно-физических технологий и атомной энергетики;

– применять полученные знания фундаментальных положений физики, экспериментальных, теоретических и компьютерных методов исследования, планирования, организации и ведения научно-технической работы;

– пользоваться глобальными информационными ресурсами;

– осуществлять поиск, систематизацию и анализ информации по перспективным направлениям развития отрасли, инновационным технологиям, проектам и решениям.

Форма получения высшего образования − очная, дневная.

Общее количество часов – 120, количество аудиторных часов – 78 (все − лабораторные работы).

Занятия проводятся на 4-м курсе в 8-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – зачет в 8-м семестре.

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

Раздел «Термодинамические циклы и тепловые схемы с ядерными энергетическими установками»

1. Сравнительный термодинамический анализ циклов Отто и Дизеля

Цель работы – проведение термодинамического анализа идеализированного цикла Отто и цикла Дизеля, в том числе для исследования и сравнения их термических КПД.

В ходе выполнения работы студент проводит математическое моделирование, осваивает методику анализа и интерпретации полученных результатов.

2. Анализ цикла простой газотурбинной установки

Цель работы – проведение термодинамического анализа цикла простой газотурбинной установки (ГТУ), в том числе для определения внутреннего КПД необратимого цикла и исследования положения максимума удельной работы ГТУ.

В ходе выполнения работы студент проводит математическое моделирование, осваивает методику анализа и интерпретации полученных результатов.

3. Анализ цикла газотурбинной установки с регенерацией

Цель работы – проведение термодинамического анализа цикла газотурбинной установки (ГТУ) с регенерацией, в том числе для определения внутреннего КПД цикла и исследования степени регенерации ГТУ.

В ходе выполнения работы студент проводит математическое моделирование, осваивает методику анализа и интерпретации полученных результатов.

4. Анализ цикла газотурбинной установки с многоступенчатым сжатием и расширением рабочего тела

Цель работы – проведение термодинамического анализа цикла газотурбинной установки (ГТУ) с многоступенчатым сжатием и расширением рабочего тела, в том числе для определения внутреннего КПД цикла и исследования зависимости максимальной удельной работы ГТУ от числа ступеней турбины и компрессора.

В ходе выполнения работы студент проводит математическое моделирование, осваивает методику анализа и интерпретации полученных результатов.

5. Анализ цикла Ренкина с учетом потерь от необратимости

Цель работы – проведение термодинамического анализа, а также анализа эффективности с помощью эксергетического метода реального цикла Ренкина с потерями, обусловленными необратимостью реальных процессов, в том числе для исследования величин необратимых потерь в элементах теплосиловой паротурбинной установки.

В ходе выполнения работы студент проводит математическое моделирование, осваивает методику анализа и интерпретации полученных результатов.

6. Анализ цикла с промежуточным перегревом пара

Цель работы – проведение термодинамического анализа цикла с промежуточным перегревом пара, в том числе для исследования увеличения термического КПД цикла по сравнению с реальным циклом Ренкина в случае применения перегрева пара.

В ходе выполнения работы студент проводит математическое моделирование, осваивает методику анализа и интерпретации полученных результатов.

7. Анализ регенеративного цикла в паротурбинных теплосиловых установках

Цель работы – проведение термодинамического анализа регенеративного цикла в паротурбинных теплосиловых установках, в том числе для определения термического КПД регенеративного цикла при любом числе ступеней подогрева.

В ходе выполнения работы студент проводит математическое моделирование, осваивает методику анализа и интерпретации полученных ре

Раздел «Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок»

1. Исследование коэффициента гидравлического сопротивления дистанционирующих решеток ТВС реакторов ВВЭР

Целью работы является ознакомление с методами экспериментального определения местного гидравлического сопротивления поясов дистанционирующих решеток.

В ходе время выполнения работы и обработки результатов студент должен изучить принципиальную схему аэродинамического стенда; освоить методику проведения экспериментов; научиться рассчитывать коэффициенты гидравлического сопротивления решёток, зная измеренные величины местных сопротивлений, обусловленных наличием решёток.

2. Исследование теплоотдачи при движении жидкости в обогреваемых каналах

Работа содержит углублённую информацию в области теплоотдачи при движении жидкости в каналах энергетических установок при характерных для ядерных энергетических установок скоростей движения теплоносителя, плотностей тепловых потоков и гидравлических диаметров (эквивалентных диаметров) проходных сечений.

Во время проведения работы и обработки результатов студент приобретает навыки экспериментального исследования теплоотдачи и получает наглядное представление о параметрах процесса.

3. Исследование процесса естественной циркуляции при кипении жидкости

Лабораторная работа представляет собой натурный эксперимент, цель которого – исследование развития естественной циркуляции: обусловленной естественной (свободной) конвекцией циркуляции теплоносителя в замкнутом контуре.

В ходе выполнения работы студент изучает экспериментальную установку, методику измерений и обработки экспериментальных данных.

4. Определение передаваемой тепловой мощности кожухотрубного теплообменника

Работа предназначена для получения дополнительной информации о теплопередаче в кожухотрубном теплообменнике; эффективности теплообменников.

В ходе выполнения работы студент изучает экспериментальную установку, осваивает методику проведения эксперимента и обработки результатов.

5. Определение коэффициента теплопередачи при движении жидкости в теплообменники типа «труба в трубе» в зависимости от схемы движения теплоносителей

Работа предназначена для углубленного изучения особенностей процессов теплообмена при различных схемах движения (прямоток, противо-

ток) теплоносителя в теплообменных аппаратах на примере теплообменника «труба в трубе».

В результате выполнения работы студент получает дополнительную информацию о зависимости коэффициента теплопередачи от схемы движения теплоносителя в аппарате.

6. Построение статических характеристик модели трехконтурной ЯЭУ

Цель работы – закрепить знания в области теплопередачи при транспортировке тепловой энергии от реактора и парогенератора применительно к трехконтурной паропроизводящей установке с водяным теплоносителем.

В ходе выполнения работы студент изучает экспериментальную установку, осваивает методику проведения эксперимента и обработки результатов.

7. Исследование динамических характеристик модели трехконтурной ЯЭУ

Цель работы – закрепить знания в области теплопередачи при транспортировке тепловой энергии от реактора и парогенератора применительно к трехконтурной паропроизводящей установке с водяным теплоносителем.

В работе реакторная установка рассматривается как динамическая система. Студент знакомится с элементами теории управления.

В ходе выполнения работы студент изучает экспериментальную установку, осваивает методику проведения эксперимента и обработки результатов.

8. Моделирование аварийных режимов трехконтурной ЯЭУ (аварийное увеличение мощности – отказ работы СУЗ)

Цель работы – исследование переходных характеристик в режиме с внезапным ростом реактивности (аварийным увеличением мощности), вызванным отказом работы СУЗ.

В ходе выполнения работы студент изучает экспериментальную установку, осваивает методику проведения эксперимента и обработки результатов.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов					Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Контролируемая (управляемая) самостоятельная работа студента		
Цикл работ по разделу «Термодинамические циклы и тепловые схемы с ядерными энергетическими установками» (38 часов)								
1	**Сравнительный термодинамический анализ циклов Отто и Дизеля**				**5**		[1], [1д]	
1.1	Проведение вычислительного эксперимента.				3			
1.2	Анализ результатов вычислительного эксперимента. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
2	**Анализ цикла простой газотурбинной установки**				**5**		[1], [1д]	
2.1	Проведение вычислительного эксперимента.				3			
2.2	Анализ результатов вычислительного эксперимента. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
3	**Анализ цикла газотурбинной установки с регенерацией**				**5**		[1], [1д]	
3.1	Проведение вычислительного эксперимента.				3			
3.2	Анализ результатов вычислительного эксперимента. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
4	**Анализ цикла газотурбинной установки с многоступенчатым сжатием и расширением рабочего тела**				**5**		[1], [1д]	
4.1	Проведение вычислительного эксперимента.				3			

4.2	Анализ результатов вычислительного эксперимента. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
5	**Анализ цикла Ренкина с учетом потерь от необратимости**				**8**		[1], [1д]	
5.1	Проведение вычислительного эксперимента.				6			
5.2	Анализ результатов вычислительного эксперимента. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
6	**Анализ цикла с промежуточным перегревом пара**				**5**		[1], [1д]	
6.1	Проведение вычислительного эксперимента.				3			
6.2	Анализ результатов вычислительного эксперимента. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
7	**Анализ регенеративного цикла в паротурбинных теплосиловых установках**				**5**		[1], [1д]	
7.1	Проведение вычислительного эксперимента.				3			
7.2	Анализ результатов вычислительного эксперимента. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
Цикл работ по разделу «Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок» (40 часов)								
1	**Исследование коэффициента гидравлического сопротивления дистанционирующих решеток ТВС реакторов ВВЭР**				**5**		[2], [2д, 3д]	
1.1	Проведение эксперимента.				3			
1.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
2	**Исследование теплоотдачи при движении жидкости в обогреваемых каналах**				**5**		[3, 4], [2д, 4д, 5д]	
2.1	Проведение эксперимента.				3			
2.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
3	**Исследование процесса естественной циркуляции при кипении жидкости**				**5**		[3, 4, 6], [2д, 4д, 5д]	

3.1	Проведение эксперимента.				3			
3.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
4	**Определение передаваемой тепловой мощности кожухотрубного теплообменника**				**5**		[4, 5], [2д, 4д, 5д]	
4.1	Проведение эксперимента.				3			
4.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
5	**Определение коэффициента теплопередачи при движении жидкости в теплообменники типа «труба в трубе» в зависимости от схемы движения теплоносителей**				**5**		[3 – 5], [2д, 4д, 5д]	
5.1	Проведение эксперимента.				3			
5.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
6	**Построение статических характеристик модели трехконтурной ЯЭУ**				**5**		[2, 5, 7], [4д, 6д]	
6.1	Проведение эксперимента.				3			
6.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
7	**Исследование динамических характеристик модели трехконтурной ЯЭУ**				**5**		[2, 5, 7], [4д, 6д]	
7.1	Проведение эксперимента.				3			
7.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
8	**Моделирование аварийных режимов трехконтурной ЯЭУ (аварийное увеличение мощности – отказ работы СУЗ)**				**5**		[2, 5, 7], [4д, 6д]	
8.1	Проведение эксперимента.				3			
8.2	Обработка экспериментальных данных. Подготовка отчёта о лабораторной работе.				2			1
	Текущая аттестация							2

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Рекомендуемая литература

Основная

1. Кириллин В.А., Сычев В.В., Шейндлин А.Е. Техническая термодинамика: Учебник для вузов. − 5-е изд., перераб. и доп. − М.: Издательство МЭИ, 2008 г. − 486 с.
2. Кириллов, П.Л. Гидродинамические расчеты: Справочное учебное пособие / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев. – М.: ИздАт, 2009. – 216 с.
3. Михеев М.А., Михеева И.М. Основы теплопередачи. –2-е изд. – М.: Энергия, 1977. – 344 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: учебник для вузов. – 3-е изд. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
5. Лысиков, Б.В. Термометрия и расходометрия ядерных реакторов / Б.В. Лысиков, В.К. Прозоров. – М., Энергоатомиздат, 1985. – 120 с.
6. Семенович, О.В. Введение в теплофизику ядерных энергетических установок: пособие. В 2 ч. Ч.1. Основы теории тепломассопереноса / О.В. Семенович. – Минск: БГУ, 2016. – 135 с.
7. Семенович, О.В. Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок: учеб. пособие / О.В. Семенович. – Минск: Вышэйшая школа, 2016. – 239 с.

Дополнительная

1. Крутов, В.И. Техническая термодинамика: Учебник для вузов. − 2-е изд., перераб. и доп. / под ред. В.И. Крутова. − М.: Высшая школа, 1981 г. − 439 с.
2. Себиси, Т. Конвективный теплообмен. Физические основы и вычислительные методы / Т. Себиси, П. Брэдшоу. – М.: Мир, 1987. – 592 с.
3. Идельчик, И.Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / Под ред. М.О. Штейнберга. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1992. – 672 с.
4. Фомичев, М.С. Экспериментальная гидродинамика ЯЭУ/ М.С. Фомичев. – М.: Энергоатомиздат, 1989. – 248 с.
5. Тепло- и массообмен. Теплотехнический эксперимент: Справочник / под общ. ред. В.А. Григорьева и В.М. Зорина. – М.: Энергоиздат, 1982. – 512 с.
6. Логвинов, С.А. Экспериментальное обоснование теплогидродинамической надежности реакторов ВВЭР / С.А. Логвинов, Ю.А. Безруков, Ю.Г. Драгунов. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 255 с.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

В качестве средств диагностики и контроля знаний рекомендуется использовать:

1. Защита лабораторных работ;
2. Проведение зачёта по дисциплине.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Текущий контроль знаний в семестре осуществляется в форме устного опроса о выполнении лабораторной работы и полученных результатах (защиты работы). Форма текущей аттестации – зачет в 8 семестре.

Для получения зачета необходимо выполнить все лабораторные работы. Защитить каждую работу с оценкой не ниже 4 («четыре»). Иметь среднюю оценку (средняя арифметическая, округлённая до целых по общепринятым правилам) за все лабораторные работы не ниже 6 («шесть).

Аттестация по учебной дисциплине проводится в форме зачета.

ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ ПО ИЗУЧАЕМОЙ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЕ С ДРУГИМИ ДИСЦИПЛИНАМИ СПЕЦИАЛЬНОСТИ

Название дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы по изучаемой учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
«Тепловые схемы и режимы работы ядерных энергетических установок»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте Протокол № 12 от 28 мая 2017.
«Техническая термодинамика ядерных энергетических установок»	Кафедра энергофизики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте Протокол № 12 от 28 мая 2017.
«Тепломассоперенос в ядерно-энергетических установках»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте Протокол № 12 от 28 мая 2017.
«Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте Протокол № 12 от 28 мая 2017.

ДОПОЛНЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ К УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЕ УВО

на _____/_____ учебный год

№№ пп	Дополнения и изменения	Основание

Учебная программа пересмотрена и одобрена на заседании кафедры ядерной физики
(протокол № _____ от _____ 20__ г.)

Заведующий кафедрой
ядерной физики
к.ф.-м.н., доцент _____ А.И. Тимощенко

УТВЕРЖДАЮ
Декан физического факультета
д.ф.-м.н., профессор _____ В.М. Анищик