

Белорусский государственный университет

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по учебной работе
и образовательным инновациям

_____ О.И. Чуприс

« 8 » _____

Регистрационный № УД _____ 1641 уч.



ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ АЭС

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

Минск 2018

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 учебных планов специальности 1-31 04 06 «Ядерные физика и технологии», регистрационные номера G-31-142/уч от 30.05.2013 г., G-31и-142/уч от 30.05.2013 г.

СОСТАВИТЕЛЬ:

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

РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой ядерной физики физического факультета Белорусского государственного университета
(протокол №11 от 24 мая 2018 г.);

Советом физического факультета
(протокол №11 от 1.06.2018 г.)

ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

Программа дисциплины по выбору компонента учреждения образования цикла специальных дисциплин «Теплотехническое оборудование АЭС» разработана специальности 1-31 04 06 «Ядерная физика и технологии» первой степени высшего образования. Настоящая программа является оригинальной и разработана с учетом соответствующих требований образовательного стандарта специальности 1-31 04 06 «Ядерная физика и технологии» (ОСВО 1-31 04 06-2013).

– *Цель учебной дисциплины* – является усвоение студентами знаний о назначении, принципах функционирования и устройстве основного и вспомогательного теплотехнического оборудования АЭС, энергоблока которых оснащены ЯЭУ с реакторами с водой под давлением (ВВЭР – в первую очередь). Основное внимание уделено изучению парогенераторов (ПГ), так как физики-инженеры задействованы, как правило, в решении задач анализа безопасности и эксплуатации реакторных установок, выполняющих в составе ядерной энергетической установки роль ядерной паропроизводящей установки (ЯППУ), а ПГ являются элементами оборудования, ответственными за производство (генерацию) пара, и связующим элементом РУ и ТСУ (теплосиловой установки).

Задачи учебной дисциплины:

– сформировать у студентов – будущих физиков-инженеров, специализирующихся в области ядерной физики и технологий (в том числе – ядерной энергетики) – соответствующие современному уровню развития ядерной энергетики представления и знания о теплотехническом оборудовании АЭС: назначении, принципах работы, устройстве, методах моделирования. *Учебный материал дисциплины основан* на базовых знаниях и представлениях, заложенных в дисциплинах цикла общенаучных и общепрофессиональных дисциплин «Молекулярная физика и термодинамика», «Теоретическая механика», «Тепломассоперенос в ядерных энергетических установках», «Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок», «Техническая термодинамика», «Физическое материаловедение».

Учебный материал дисциплины будет использован при преподавании следующих дисциплин специализации: «Атомные электрические станции», «Ядерные энергетические установки», «Режимы работы и эксплуатации АЭС».

Перед преподавателем данной дисциплины ставятся следующие задачи:

– сформировать у обучающихся знания о назначении теплотехнического оборудования АЭС и основных требованиях, предъявляемых к ТТХ различных элементов названного оборудования;

– сформировать у обучающихся понимание физических процессов, протекающих в теплотехническом оборудовании;

- сформировать у обучающихся представления о принципах функционирования теплотехнического оборудования;
- ознакомить с устройством теплотехнического оборудования;
- дать обучающимся представление о методах моделирования физических процессов, протекающих в теплотехническом оборудовании;
- 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:

- назначение основного и вспомогательного теплотехнического оборудования АЭС;
- основные требования, предъявляемые к ТТХ теплотехнического оборудования ЯЭУ с реакторами с водой под давлением (ВВЭР – в первую очередь);
- физические процессы, протекающие в теплотехническом оборудовании;
- устройство теплотехнического оборудования энергоблоков с ВВЭР;
- методы моделирования физических процессов, протекающих в теплотехническом оборудовании ЯЭУ с реакторами ВВЭР.

уметь:

- анализировать влияние изменения режимных и/или конструктивных параметров теплотехнического оборудования на работу ЯЭУ;
- выполнять инженерные расчёты теплотехнического оборудования установок с реакторами ВВЭР.

владеть:

- основами навыков математического моделирования физических процессов в теплотехническом оборудовании.

В результате изучения учебной дисциплины «Теплотехническое оборудование АЭС» у обучающихся 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 – 64, количество аудиторных часов – 34.

Аудиторные занятия проводятся в виде лекций, практических занятий и управляемой самостоятельной работы (УСР). На проведение лекционных занятий отводится 20 часов, на практические занятия – 12 часов; на УСР – 2 часа.

Занятия проводятся на 5-м курсе в 9-м семестре.

Формы текущей аттестации по учебной дисциплине – зачёт (9 семестр).

СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОГО МАТЕРИАЛА

1. Парогенераторы АЭС: характеристики, требования, конструкционные схемы.

Принципиальная схема производства пара на АЭС. Общие характеристики и типы парогенераторов (ПГ) АЭС. Требования к ПГ АЭС. Конструкционные схемы ПГ, обогреваемых водой. Особенности конструкционных схем ПГ, обогреваемых жидкими металлами.

2. Парогенераторы АЭС: конструкции ПГ.

Классификация ПГ. Конструкции ПГ, обогреваемых водой под давлением. Развитие конструкции горизонтальных ПГ. Конструкция вертикальных ПГ с естественной циркуляцией. Сравнение горизонтальных ПГ с вертикальными. Парогенераторы для РУ с ВВЭР АЭС «малой» мощности. Парогенераторы ПГВ-000, ПГВ-1000М.

3. Парогенераторы АЭС: процессы, протекающие в ПГ.

Общая характеристика процессов, протекающих в ПГ. Влияние процессов, протекающих в ПГ, на надёжность и экономичность основного оборудования АЭС. Теплообмен в ПГ: основные закономерности гидродинамики пароводяной смеси; основные закономерности безнапорного движения пароводяной смеси; условия теплопередачи и температурные поля, особенности теплопередачи в горизонтальных ПГ; распределения температур; массообмен и циркуляция воды в ПГ: опытные данные о скоростях циркуляции, схема массообмена и определение кратности циркуляции; поведение примесей в объёме второго контура: баланс примесей в ПГ и их удаление с продувкой, исследование распределения примесей в водяном объёме.

4. Парогенераторы АЭС: эксплуатация, отказы, повреждения и ремонт узлов ПГ.

Системы контроля ПГ: системы измерения уровня, система измерения влажности пара и уровня воды ПГ, контроль герметичности фланцевых соединений, межконтурная плотность, поиск дефектов (течи) в теплообменных трубах, контроль состояния металла ПГ, гидравлические испытания, техническое освидетельствование ПГ. Работа элементов ПГ: общая характеристика работы ПГ, корпус ПГ и коллектор пара, фланцевые соединения, шпилечные соединения фланцев, сепарационные устройства, устройства раздачи питательной воды, уравнивательные сосуды и система измерения уровня, прочие узлы. Сепарация пара: методика исследования сепарационных характеристик, выравнивание паровой нагрузки с помощью ПДЛ, результаты совершенствования сепарационной схемы ПГВ-1000. Повреждения элементов ПГ.

5. Парогенераторы АС: работа ПГ при нарушениях нормальных условий эксплуатации и в аварийных режимах.

Естественная циркуляция теплоносителя первого контура. Течь из первого контура во второй. Роль ПГ в аварии с малой течью теплоносителя первого контура. Аварии с потерей воды второго контура. Гидроудары в узле подачи питательной воды. Влияние гидродинамических и термохимических процессов на работоспособность ПГ.

6. Парогенераторы АС: математическое моделирование процессов в ПГ.

Роль модели ПГ в расчётном обосновании РУ и методы моделирования. Общие положения теплового, конструкционного и гидродинамического расчёта. Общие положения методики теплового, конструкционного и гидродинамического расчёта. Теплогидравлический расчёт ПГ в стационарном режиме работы. Моделирование естественной циркуляции. Моделирование гравитационной сепарации. Моделирование массообмена и растворённых нелетучих примесей. Моделирование поведения продуктов коррозии и скорости образования отложений. Математические модели ПГ водоохлаждаемых РУ, применяемые в современных теплогидравлических системных реалистических расчётных кодах.

7. Конденсационные установки.

Задачи и основные элементы конденсационной установки. Конструкционные особенности конденсаторов. Выбор конечного давления пара. Отсос паровоздушной смеси. Деаэрация в конденсаторе. Методы борьбы с присосами холодной воды в конденсаторах. Развитие современных конденсаторов. Выбор числа и производительности конденсатных и циркуляционных насосов. Методика расчёта конденсационного устройства. Особенности работы конденсаторов.

8. Сепараторы-перегреватели.

Требования к сепараторам перегревателям (СПП). Схема включения потоков пара и воды. Классификация СПП. Конструкционные особенности СПП. Основы расчёта СПП. Совершенствование конструктивных решений СПП.

9. Башенные градирни.

Классификация градирен. Конструкционные особенности башенных градирен. Методики расчёта башенных градирен.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКАЯ КАРТА ДИСЦИПЛИНЫ

Номер раздела, темы, занятия	Название раздела, темы, занятия; перечень изучаемых вопросов	Количество аудиторных часов				Управляемая самостоятельная работа студента	Литература	Формы контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия			
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>	<i>8</i>	<i>9</i>
1	Парогенераторы АС: характеристики, требования, конструкционные схемы	2						
1.1	Принципиальная схема производства пара на АЭС. Общие характеристики и типы парогенераторов (ПГ) АЭС. Требования к ПГ АЭС. Конструкционные схемы ПГ, обогреваемых водой. Особенности конструкционных схем ПГ, обогреваемых жидкими металлами.	2					[1], [2], [3], [4], [5], [8], [1д] – [3д]	
2	Парогенераторы АС: конструкции ПГ	2						
2.1	Классификация ПГ. Конструкции ПГ, обогреваемых водой под давлением. Развитие конструкции горизонтальных ПГ. Конструкция вертикальных ПГ с естественной циркуляцией. Сравнение горизонтальных ПГ с вертикальными. Парогенераторы для РУ с ВВЭР АЭС «малой» мощности. Парогенераторы ПГВ-000, ПГВ-1000М.	2					[1], [2], [3], [4], [5], [8], [1д] – [3д]	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	Парогенераторы АС: процессы, протекающие в ПГ	4						
3.1	Общая характеристика процессов, протекающих в ПГ. Влияние процессов, протекающих в ПГ, на надёжность и экономичность основного оборудования АЭС. Тепломассообмен в ПГ: основные закономерности гидродинамики пароводяной смеси.	2					[1], [2], [5]	
3.1	Тепломассообмен в ПГ: основные закономерности безнапорного движения пароводяной смеси; условия теплопередачи и температурные поля, особенности теплопередачи в горизонтальных ПГ; распределения температур; массообмен и циркуляция воды в ПГ: опытные данные о скоростях циркуляции, схема массообмена и определение кратности циркуляции; поведение примесей в объёме второго контура: баланс примесей в ПГ и их удаление с продувкой, исследование распределения примесей в водяном объёме.	2					[1], [2], [5]	
4	Парогенераторы АС: эксплуатация, отказы, повреждения и ремонт узлов ПГ	4						
4.1	Системы контроля ПГ: системы измерения уровня, система измерения влажности пара и уровня воды ПГ, контроль герметичности фланцевых соединений, межконтурная плотность, поиск дефектов (течи) в теплообменных трубах, контроль состояния металла ПГ, гидравлические испытания, техническое освидетельствование ПГ. Работа элементов ПГ: общая характеристика работы ПГ, корпус ПГ и коллектор пара, фланцевые соединения, шпилечные соединения фланцев, сепарационные устройства, устройства раздачи питательной воды, уравнивательные сосуды и система измерения уровня, прочие узлы.	2					[1], [2], [5]	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
4.2	Сепарация пара: методика исследования сепарационных характеристик, выравнивание паровой нагрузки с помощью ПДЛ, результаты совершенствования сепарационной схемы ПГВ-1000. Повреждения элементов ПГ.	2					[1], [2], [5]	
5	Парогенераторы АС: работа ПГ при нарушениях нормальных условий эксплуатации и в аварийных режимах	2				1		
5.1	Естественная циркуляция теплоносителя первого контура. Течь из первого контура во второй. Роль ПГ в аварии с малой течью теплоносителя первого контура. Аварии с потерей воды второго контура. Гидроудары в узле подачи питательной воды. Влияние гидродинамических и термохимических процессов на работоспособность ПГ.	2					[1], [2], [5]	
5.2	Текущий контроль успеваемости студентов по разделам 1 – 5.					1		Контрольная работа
6	Парогенераторы АС: математическое моделирование процессов в ПГ		12					Отчёт о выполнении задания цикла практических занятий
6.1	Роль модели ПГ в расчётном обосновании РУ и методы моделирования. Общие положения теплового, конструкционного и гидродинамического расчёта. Общие положения методики теплового, конструкционного и гидродинамического расчёта.		2				[1], [2], [3], [6], [7], [1д] – [8д]	
6.2	Теплогидравлический расчёт ПГ в стационарном режиме работы.		6				[1], [2], [3], [6], [7], [1д] – [8д]	

1	2	3	4	5	6	7	8	9
6.3	Моделирование естественной циркуляции. Моделирование гравитационной сепарации. Моделирование массообмена и растворённых нелетучих примесей. Моделирование поведения продуктов коррозии и скорости образования отложений.		2				[1], [2], [3], [6], [7], [1д] – [8д]	
6.4	Математические модели ПГ водоохлаждаемых РУ, применяемые в современных теплогидравлических системных реалистических расчётных кодах.		2				[1], [2], [3], [6], [7], [1д] – [8д]	
7.	Конденсационные установки	2						
7.1	Задачи и основные элементы конденсационной установки. Конструкционные особенности конденсаторов. Выбор конечного давления пара. Отсос паровоздушной смеси. Деаэрация в конденсаторе. Методы борьбы с присосами холодной воды в конденсаторах. Развитие современных конденсаторов. Выбор числа и производительности конденсатных и циркуляционных насосов. Методика расчёта конденсационного устройства. Особенности работы конденсаторов.	2					[3], [4]	
8	Сепараторы-перегреватели	2						
8.1	Требования к сепараторам перегревателям (СПП). Схема включения потоков пара и воды. Классификация СПП. Конструкционные особенности СПП. Основы расчёта СПП. Совершенствование конструкционных решений СПП.	2					[3], [4]	
9.	Башенные градирни	2				1		
9.1.	Классификация градирен. Конструкционные особенности башенных градирен. Методики расчёта башенных градирен.	2					[3], [4]	
9.2	Текущий контроль успеваемости студентов по разделам 7 – 9.			2		1		Контрольная работа
		20	12			2		зачет

ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Перечень основной литературы

1. Рассохин, Н.Г. Парогенераторные установки атомных электростанций: Учебник для вузов / Н.Г. Рассохин. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 384 с.
2. Трунов, Н.Б. Гидродинамические и теплохимические процессы в парогенераторах АЭС с ВВЭР / Н.Б. Трунов, С.А. Логвинов, Ю.Г. Драгунов. – М.: Энергоатомиздат, 2001. – 316 с.
3. Ильченко, О.Т. Тепло- и массообменные аппараты ТЭС и АЭС: Учеб. пособие / О.Т. Ильченко. – К.: Вища шк., 1992. – 207 с.
4. Маргулова, Т.Х. Атомные электрические станции: Учебник для вузов / Т.Х. Маргулова. – 5-е изд., испр. и доп. – М.: Высш. школа, 1994. – 360 с.
5. Парогенераторы реакторных установок ВВЭР для атомных электростанций / Б.И. Лукаевич и др. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2004. – 391 с.
6. Новиков, В.Н. Расчет парогенераторов АЭС: Пособие по курсовому проектированию / В.Н. Новиков, И.С. Радовский, В.С. Харитонов. В 2 ч. – М.: МИФИ, 2001. – Ч.1 – 73 с.
7. Новиков, В.Н. Расчет парогенераторов АЭС: Пособие по курсовому проектированию / В.Н. Новиков, И.С. Радовский, В.С. Харитонов. В 2 ч. – М.: МИФИ, 2001. – Ч.2 – 68 с.
8. ВВЭР-1000: физические основы эксплуатации, ядерное топливо, безопасность / А.М. Афров и др. – М.: Университетская книга, ЛОГОС, 2006. – 488 с.

Перечень дополнительной литературы

1. Марков Ю.В. Введение в разработки и обоснования технических характеристик и безопасности эксплуатации реакторных установок типа ВВЭР / Ю.В. Марков, В.А. Сидоренко, – М.: НИЦ «Курчатовский институт», 2013. – 176 с.
2. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие для вузов / Б.С. Петухов [и др.]. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
3. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учебник для вузов. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 456 с.
4. Цветков Ф.Ф., Григорьев Б.А. Тепломассообмен: Учеб. пособие для вузов. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 2005. – 550 с.
5. Кириллов, П.Л. Справочник по теплогидравлическим расчётам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы); 2-е изд., перераб. и

- доп. / П.Л. Кириллов, Ю.С. Юрьев, В.П. Бобков; Под общ. ред. П.Л. Кириллова. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 360 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. Введение в теплофизику ядерных энергетических установок: пособие. В 2 ч. Ч.2. Тепломассоперенос в оборудовании реакторных установок / О.В. Семенович. – Минск: БГУ, 2017. – 191 с.
 8. Семенович, О.В. Термогидродинамика переходных и аварийных режимов реакторных установок: учеб. пособие / О.В. Семенович. – Мн.: Выш. школа, 2016. – 239 с.

Перечень используемых средств диагностики результатов учебной деятельности

В качестве средств диагностики и контроля знаний рекомендуется использовать:

1. Проверка контрольных работ.
2. Проверка отчёта о работе (защита), выполненной в ходе цикла практических занятий.
3. Проведение зачёта по дисциплине.

Примерный перечень мероприятий для контроля качества усвоения знаний по учебной дисциплине

1. Контрольная работа по материалу тем №№ 1–5.
2. Контрольная работа по материалу тем №№ 7–9.
3. Отчёт о выполнении задания цикла практических занятий, предусмотренных темой 6.

Рекомендации по контролю качества усвоения знаний и проведению аттестации

Форма текущей аттестации – зачёт в 9 семестре.

Система оценивания – рейтинговая.

Коэффициент текущего контроля – 0.7.

Коэффициент итогового контроля – 0.3.

Рейтинговая (результатирующая, окончательная) оценка O_p , таким образом, рассчитывается по формуле: $O_p = 0.7 \cdot O_T + 0.3 \cdot O_{И}$ с округлением до целого числа по общепринятым правилам.

Правило выставления O_T : $O_T = (1.5 \cdot O_{КР-1} + O_{КР-2} + 2 \cdot O_{ПЗ}) / 4.5$ с округление до целого значения по общепринятым правилам. Здесь $O_{КР-1}$ и $O_{КР-2}$ – оценки за контрольные работы № 1 (учитывается с коэффициентом, равным 1.5) и № 2, соответственно; $O_{ПЗ}$ – оценка (учитывается с коэффициентом

том равным 2.0) за задание, выполненное в рамках цикла практических занятий.

Условие выставления зачёта – $O_p=6$. Таким образом, в случае получения $O_T \geq 8$, зачёт выставляется по итогам текущей успеваемости («автомат»).

Методика формирования итоговой оценки

Итоговая оценка формируется на основе:

1. Правил проведения аттестации студентов (Постановление Министерства образования Республики Беларусь №53 от 29 мая 2012 г.);
2. Положения о рейтинговой системе оценки знаний по дисциплине в БГУ (Приказ ректора БГУ от 18.08.2015 №382-ОД);
3. Критериев оценки знаний студентов (письмо Министерства образования от 22.12.2003 г.)

**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)
«Атомные электрические станции»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте. Протокол № 11 от 24.05.2018.
«Ядерные энергетические установки»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте. Протокол № 11 от 24.05.2018.
«Режимы работы и эксплуатации АЭС»	Кафедра ядерной физики	Оставить содержание учебной дисциплины без изменения	Рекомендовать к утверждению учебную программу в представленном варианте. Протокол № 11 от 24.05.2018.

