

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РФ
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
(ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)

ИНСТИТУТ ТЕПЛОВОЙ И АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ (ИТАЭ)

Направление подготовки: 140700 Ядерная энергетика и теплофизика

Профиль(и) подготовки: – «Атомные электростанции и установки»

– «Теплофизика»

– «Термоядерные реакторы и плазменные установки»

– «Техника и физика низких температур»

Квалификация (степень) выпускника: повышение квалификации.

Форма обучения: очная.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ
"ПРОЦЕССЫ ТЕПЛО-МАССОПЕРЕНОСА В ЭНЕРГОНАПРЯЖЕННОМ ОБОРУДОВАНИИ"

Цикл:	повышение квалификации	
Часть цикла:	повышение квалификации	
№ дисциплины по учебному плану:	от 144 час. до 12 час. в зависимости от блочной структуры	
Часов (всего) по учебному плану:	144 час.	
Трудоемкость в зачетных единицах:		
Лекции	от 36 час. до 60 час.	
Практические занятия	от 15 час. до 36 час.	
Лабораторные работы		
Расчетные задания, рефераты	30 час. самостоят. работы	
Объем самостоятельной работы по учебному плану (всего)	от 11 до 46 час	
Экзамены	зачет	
Курсовые проекты (работы)	Выпускная работа	

Москва - 2011

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является обучение слушателей курсов повышения квалификации основным физико-техническим аспектам процессов теплопереноса в энергонапряженном оборудовании, изучение методов и подходов при моделировании такого рода процессов.

По завершению освоения данной дисциплины слушатель курсов повышения квалификации способен и готов:

- участвовать в сборе и анализе исходных данных для разработки методов расчета комплексных систем, состоящих из взаимосвязанных элементов энергонапряженного оборудования с использованием нормативной документации и современных методов поиска и обработки информации (ПК-8);
- переоценивать накопленный опыт в условиях развития науки и техники, анализировать свои возможности, приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения (ОК-6);
- самостоятельно работать, принимать решения в рамках своей профессиональной деятельности (ОК-7);
- анализировать различного рода рассуждения, публично выступать, аргументировано вести дискуссию и полемику (ОК-12);
- использовать нормативные правовые документы в своей профессиональной деятельности (ПК-4);
- анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования (ПК-6);
- формировать законченное представление о полученных результатах в виде отчета с его публикацией (публичной защитой) (ПК-7).
- способен использовать специализированные знания в области низкотемпературной техники для освоения смежных технических дисциплин (ПСК-2);
- способен использовать специализированные знания фундаментальных разделов математики, физики, экологии и других дисциплин для освоения основ принципов построения и создания новейших типов низкотемпературных установок и систем (ПСК-3);
- использовать современные информационные технологии на уровне пользователя для решения теплофизических задач расчета разнообразных процессов в низкотемпературных установках (ПСК-4)

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с методами описания систем в условиях повышенной энергонапряженности теплотехнического оборудования;
- дать информацию о свойствах, специфике процессов переноса и применении различных конструктивных схем в аппаратах систем охлаждения и криостатирования теплонапряженного оборудования;
- научить принимать и обосновывать конкретные методические решения при обосновании расчетов технологических процессов и схем низкотемпературного оборудования

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВПО

Дисциплина базируется на общетехнических и естественнонаучных дисциплинах, изучаемых в рамках базовой части профессионального цикла основной образовательной программы подготовки бакалавра в соответствии с Федеральным государственным образовательным стандартом высшего профессионального образования (ФГОС ВПО). Знания, полученные по освоению дисциплины, необходимы слушателям курсов повышения квалификации в своей профессиональной деятельности.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

В результате освоения учебной дисциплины, обучающиеся на курсах повышения квалификации должны демонстрировать следующие результаты образования:

Знать:

- основные источники научно-технической информации по материалам в области тепловой и атомной энергетики (ОК-7, ПК-6);
- основные методы описания процессов переноса в элементах энергонапряженного оборудования, а также способы расчета процессов переноса в условиях существенной неравновесности (ПСК-2);
- методы получения низких температур, их особенности (ПСК-3).
- способы обеспечения высокого вакуума в рабочем пространстве (ПК-6)
- последствия нарушений номинального технологического режима в многоступенчатых теплотехнических системах (ПК-8)

Уметь:

- самостоятельно разбираться в методиках расчета и применять их для решения поставленной задачи (ОК-7);

- воспринимать, использовать, обобщать, анализировать научно-техническую и справочную информацию в области использования энергонапряженного оборудования (ОК-1, ПК-4);
- анализировать информацию о новых технологиях получения низких температур, способах их описания (ПСК-3);
- использовать и анализировать накопленный опыт в условиях развития науки и техники, приобретать новые знания, использовать различные средства и технологии обучения (ОК-6, ПК-1);
- вырабатывать новые технологические схемы теплотехнических систем, использовать современные методы расчета процессов переноса в элементах нагруженного оборудования (ПК-3, ПК-5).

Владеть:

- навыками работы в коллективе и управления малыми коллективами исполнителей, готовностью генерировать и использовать новые идеи (ОК-1, ОК-3);
- навыками дискуссии по профессиональной тематике (ОК-12);
- терминологией в области методов описания конденсированных систем и процессов переноса в условиях существенной неравновесности (ПСК-4);
- навыками применения полученной информации при расчете процессов в низкотемпературных установках. (ПСК-3).
- основными методами, способами и средствами получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство работы с информацией, использовать современные и перспективные компьютерные и информационные технологии (ОК-11);
- навыками составления и анализа энергетических балансов аппаратов, технологических установок и схем (ОК-1, ПК-8, ПК-10);

Структура дисциплины

Разработанный комплекс дисциплин предназначен для развертывания широкомасштабной программы повышения квалификации специалистов в области проектирования, эксплуатации и руководства энергетическими промышленными предприятиями и объектами. Комплекс представляет собой совокупность дисциплин взаимосвязанных между собой и разработанных на основе единого методического подхода.

Базовая дисциплина разработана на основе федеральных государственных образовательных стандартов высшего профессионального образования по направлениям подготовки 140100 «Теплоэнергетика и теплотехника» (приказ Минобрнауки России от 18 ноября 2009 г. №630), 140700 «Ядерная энергетика и теплофизика» (приказ Минобрнауки России от 13 января 2010 г. №9), 141200 «Холодильная, криогенная техника и системы жизнеобеспечения» (приказ Минобрнауки России от 23 декабря 2010 г. №2010); перечня государственных требований к минимуму содержания и уровню требований к специалистам для получения дополнительных квалификаций (приказ Минобрнауки России от 6 сентября 2000г. №2571). Продолжительность основного блока составляет 72 часа.

Второй блок представляет собой вариант первого блока, рассчитанного на углубленное изучение предлагаемых тем. При этом он направлен на практическое освоение методов исследования процессов теплопереноса в элементах энергонапряженного оборудования, включая выполнение выпускной работы по результатам численных расчетов для конкретной производственной задачи. Этот блок разработан на 144 академических часа.

Третий блок также является модификацией второго блока объемом 80 часов. Его особенностью является углубленное изучение вопросов, связанных с теплопередачей в различных условиях и средах, а также подходы к расчету оборудования, целью создания которого является передача тепла.

Четвертый блок рассчитан на 84 академических часа. Он предназначен для овладения слушателями курсов повышения квалификации практическими навыками использования современных численных методов и кодов для расчета процессов переноса в различных частях теплообменного оборудования. Этот блок может быть использован как часть предыдущих блоков в качестве углубленного изучения методической базы технических расчетов, так и в качестве самостоятельного курса повышения квалификации инженеров-теплотехников. Особенностью является углубленное изучение вопросов, связанных с атомной энергетикой, расширение изученных тем за счет включения в программу вопросов безопасной эксплуатации энергонапряженного оборудования, а также аварийных ситуаций, обусловленных нарушением номинальной работы теплообменных систем и устройств.

Два следующих блока предназначены для модификации базового блока с целью его адаптации к отраслевой специфике подготовки инженеров-теплотехников. Первый из них предназначен для овладения слушателями курсов повышения квалификации вопросов, связанных со специализированными вопросами низкотемпературной области

теплофизических процессов и соответствующими расчетами энергонапряженного оборудования. Во второй из этих блоков включены как вопросы криогенной тематики, так и основы вакуумной техники, необходимой для обеспечения требуемых эксплуатационных параметров рабочей зоны, в том числе для создания «чистой» атмосферы. Рассматриваются как методики расчетов процессов переноса в условиях высокого вакуума, так и типовые технологические схемы. Каждый из этих блоков состоит из 40 академических часов. Они могут быть реализованы либо путем замещения соответствующего числа академических часов базового образовательного блока, либо добавлением 40 академических часов к базовому блоку. Любая из этих модификаций должна проводиться по согласованию с отраслевым заказчиком. Кроме того, отраслевые блоки могут представлять самостоятельный интерес.

Учебный блок

“ Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании ”

Блок для подготовки специалистов по теме “Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании” рассчитан на 72 академических часа и отражает следующие разделы:

- начальные сведения по вопросам теплообмена;
- базовые принципы расчета тепломассообменного оборудования;
- основные требования по безопасности при проектировании АЭС;
- возникновение гидравлического удара и его последствия;
- основные особенности использования жидкометаллических теплоносителей;
- базовые сведения по криогенной технике;
- основы проектирования и расчета криогенного оборудования;
- принципы проектирования вакуумных систем;

Минимальный уровень образования принимаемых на обучение: специалисты с высшим техническим образованием. Форма обучения – очная.

Уровень получаемого образования: повышение квалификации

Учебный блок снабжен аннотациями к лекционным и практическим занятиям, а также вопросами для аттестации слушателей.

Учебный блок

“ Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании ”

Учебный блок для подготовки специалистов по теме “**Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании**” рассчитан на 72 академических часа и отражает следующие разделы:

Количество академических часов - 72

№	Раздел дисциплины	Всего часов в раздел	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации
			лк	пр	сам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Политика Российской Федерации в области высоких технологий	2	2			
2.	Необходимость исследования процессов теплопереноса в энергонапряженном оборудовании в ходе реализации федеральных, региональные и отраслевые программ (см. федеральные целевые программы)	2	2			
3.	Основы теории теплообмена	8	4	2	2	
4.	Основные принципы расчета теплообменного оборудования	4	2	1	1	
5.	Свойства конструкционных материалов	4	2	1	1	
6.	Нормы безопасности при проектировании систем защитной оболочки реакторов атомных станций	4	2	1	1	
7.	Расчет процессов, возникающих при кипении жидких металлов	2	1	1		
8.	Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых	3	1	1	1	

	каналах					
9.	Теплогидравлическая неустойчивость при течении двухфазного потока в обогреваемом канале	2	1	1		
10.	Гидравлический удар при течении однофазной жидкости	3	1	1	1	
11.	Экспериментальные и расчетные исследования двухфазных течений, характеризующихся сильной неравновесностью	4	2	1	1	
12.	Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II	4	2	1	1	
13.	Основы физики сверхпроводимости	4	2	1	1	
14.	Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах	2	1		1	
15.	Теплофизические процессы в криогенных резервуарах	2	1		1	
16.	Особенности применения различных способов охлаждения для получения низких температур	2	1		1	
17.	Конструктивные особенности низкотемпературных установок	2	1		1	
18.	Влияние свойств рабочего тела на характеристики дроссельных систем	2	1		1	
19.	Применение многокомпонентных рабочих тел в дроссельных криогенных системах	2	1		1	
20.	Элементы физической кинетики	4	2	1	1	
21.	Основы вакуумной техники. Течение газа в вакууме	4	2	1	1	
22.	Проектирование вакуумных систем. Типовые схемы	4	2	1	1	

23.	Зачет	2				
	ВСЕГО	72	36	15	19	

Учебный блок

“ Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании ”

Блок для подготовки специалистов по теме “Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании” рассчитан на 144 академических часа и отражает следующие разделы:

- общие вопросы теплообмена;
- основы расчета тепломассообменного оборудования;
- основные требования по безопасности при проектировании АЭС;
- основы проектирования систем защитной оболочки АЭС;
- примеры конструкций защитной оболочки;
- учет тяжелых аварий при проектировании;
- основные особенности использования жидкометаллических теплоносителей;
- критические тепловые потоки;
- теоретические основы криогенной техники;
- основы проектирования и расчета криогенного оборудования;
- основы проектирования вакуумных систем;

Минимальный уровень образования принимаемых на обучение: специалисты с высшим техническим образованием. Форма обучения – очная.

Уровень получаемого образования: повышение квалификации.

Учебный блок снабжен аннотациями к лекционным и практическим занятиям, а также вопросами для аттестации слушателей.

Учебный блок

“Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании ”

Учебный блок для подготовки специалистов по теме “Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании ” рассчитан на 144 академических часа и отражает следующие разделы:

Количество академических часов - 144

№	Раздел дисциплины	Всего часов в раздел	Виды учебной работы, включая самостоятельную работу студентов и трудоемкость (в часах)			Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) Форма промежуточной аттестации
			лк	пр	сам	
1	2	3	4	5	6	7
1.	Политика Российской Федерации в области высоких технологий	2	2			
2.	Необходимость исследования процессов теплопереноса в энергонапряженном оборудовании в ходе реализации федеральных, региональные и отраслевые программ (см. федеральные целевые программы)	2	2			
3.	Основы теории теплообмена	8	4	2	2	
4.	Основные принципы расчета теплообменного оборудования	6	2	2	2	
5.	Рекуперативные теплообменные аппараты	3	2	1		
6.	Регенеративные теплообменные аппараты	3	2	1		
7.	Свойства конструкционных материалов	5	2	2	1	
8.	Нормы безопасности при проектировании систем защитной оболочки реакторов атомных станций	4	2	1	1	
9.	Расчет процессов, возникающих при кипении жидких металлов	4	2	2		

10.	Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах	4	2	2		
11.	Теплогидравлическая неустойчивость при течении двухфазного потока в обогреваемом канале	4	2	2		
12.	Гидравлический удар при течении однофазной жидкости	4	2	2		
13.	Экспериментальные и расчетные исследования двухфазных течений, характеризующихся сильной неравновесностью	6	2	2	2	
14.	Моделирование запроектной аварии на АЭС на базе различных программных комплексов	12	4	4	4	
15.	Паровой взрыв	4	2		2	
16.	Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II	6	2	2	2	
17.	Основы физики сверхпроводимости	6	2	2	2	
18.	Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах	2	1		1	
19.	Теплофизические процессы в криогенных резервуарах	2	1		1	
20.	Особенности применения различных способов охлаждения для получения низких температур	3	2		1	
21.	Конструктивные особенности низкотемпературных установок	3	2		1	
22.	Влияние свойств рабочего тела на характеристики дроссельных систем	3	2		1	
23.	Применение	6	4		2	

	многокомпонентных рабочих тел в дроссельных криогенных системах					
24.	Элементы физической кинетики	4	2	1	1	
25.	Основы вакуумной техники. Течение газа в вакууме	6	2	2	2	
26.	Принципы вакуумной откачки. Молекулярная откачка	6	2	2	2	
27.	Проектирование вакуумных систем. Типовые схемы	6	2	2	2	
28.	Методика расчета и проектирования криовакуумных насосов (КВН)	6	2	2	2	
29.	Подготовка выпускной работы	12			12	
30.	Защита выпускной работы	2				
	ВСЕГО	144	60	36	46	

Аннотации

лекционных и практических занятий к учебной программе для специалистов по теме “Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании”

1. Политика Российской Федерации в области высоких технологий

Государственная политика в сфере развития научно-технического комплекса

Постановление Правительства Российской Федерации от 12 сентября 2008 г. № 667
«О Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям»

Постановление от 9 апреля 2010 г. №220 «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные учреждения высшего профессионального образования»

Постановление от 9 апреля 2010 г. №219 «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования»

Постановление от 22 апреля 2009 г. №340 «Об утверждении Правил формирования, корректировки и реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации»

Новый этап в государственной политике в области энергосбережения:

Указ Президента РФ № 899 от 4 июня 2008 г. «О некоторых мерах по повышению энергетической и экологической эффективности российской экономики»;

Постановление Правительства РФ от 12 июня 2008 г. № ИШ-П9-3772;

Перечень Поручений Президента РФ по итогам расширенного заседания Госсовета РФ 2 июля 2009 г. № ПР-1802 ГС от 15 июля 2009 г.;

Постановление Правительства РФ № ВП-П9-4323 от 29 июля 2009 г

2. Необходимость исследования процессов теплопереноса в энергонапряженном оборудовании в ходе реализации федеральных, региональные и отраслевых программ

Федеральная целевая программа "Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007 - 2010 годы и на перспективу до 2015 года"

Перспективы развития атомной энергетики Российской Федерации

Достижение стабильности производства электроэнергии на условиях, не связанных с динамикой мировых цен на топливо

Замещение углеводородов в топливном балансе страны

Снижение техногенной нагрузки на окружающую среду за счет сокращения выбросов парниковых газов (положения Киотского протокола)

Ввод новых энергоблоков атомных электростанций

Укрепление позиций атомного энергопромышленного комплекса России на мировых рынках

Обеспечение развития научной и производственной базы для текущего функционирования атомного энергопромышленного комплекса

Создание потенциала для обеспечения ядерной, радиационной и экологической безопасности

Федеральная целевая программа "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы"

Развитие научно-технологического потенциала Российской Федерации для реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации

Обеспечение условий для перехода к инновационному пути развития экономики страны

Формирование сбалансированного сектора исследований и разработок и эффективной инновационной системы, обеспечивающих технологическую модернизацию экономики и повышение ее конкурентоспособности на основе передовых технологий и превращение научного потенциала в один из основных ресурсов устойчивого экономического роста

Анализ причин и последствия аварий на атомных электростанциях

20 ЛЕТ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ Итоги и проблемы преодоления ее последствий в России 1986–2006, Российский национальный доклад (<http://www.ibrae.ac.ru/content/view/182/233/>)

Причины, последствия и выводы из аварии на станции Фукусима-1 (Япония)

3. Основы теории теплообмена

Основные способы переноса теплоты. Основные положения теории теплопроводности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Стационарная теплопроводность одно- и многослойной стенок различной геометрии. Использование ребренных поверхностей для интенсификации теплопередачи. Нестационарные задачи теплопроводности (в том числе многомерные), теория регулярного режима.

Система уравнений конвективного теплообмена. Приближение пограничного слоя. Средние уравнения конвективного теплообмена для турбулентного пограничного слоя. Основы теории подобия физических процессов, критерии и уравнения подобия. Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании тел и при течении в каналах. Теплообмен при естественной конвекции.

Законы излучения абсолютно черного тела, особенности реальных поверхностей. Теплообмен излучением в диатермической среде. Тепловое излучение газового объема.

Классификация процессов конденсации. Система уравнений для движения жидкости при наличии свободной поверхности. Пленочная конденсация неподвижного и движущегося пара. Особенности конденсации при течении в каналах. Теплообмен при капельной конденсации в объеме и на поверхности.

Классификация процессов кипения. Модели элементарных процессов (образование, рост и отрыв пузыря). Теплоотдача при пузырьковом и пленочном кипении в большом объеме, кризисы кипения. Кипение при вынужденном течении жидкости в канале.

4. Основные принципы расчета теплообменного оборудования

Особенности расчета теплоотдачи и гидравлического сопротивления в теплообменных аппаратах. Расчет коэффициента теплопередачи для произвольной геометрии поверхности теплообмена. Определение среднего температурного напора в теплообменных аппаратах, в том числе при переменных свойствах теплоносителей. Расчет гидравлического сопротивления теплообменных аппаратов. Показатели качества теплообменных аппаратов. Расчет теплообменных аппаратов с использованием связи между числом единиц переноса и эффективностью.

5. Рекуперативные теплообменные аппараты

Принцип действия рекуператоров, их преимущества и недостатки.

Трубчатые теплообменники (прямотрубные, змеевиковые, витые поперечно-точные): назначение, особенности конструкции, сравнительные характеристики, особенности расчета теплоотдачи и гидравлического сопротивления, методика теплового и гидравлического расчета.

Пластинчато-ребристые теплообменники: назначение, особенности конструкции, сравнительные характеристики, особенности расчета теплоотдачи и гидравлического сопротивления, методика теплового и гидравлического расчета.

6. Регенеративные теплообменные аппараты

Принцип действия регенераторов, их применение в воздуходелительных установках и криогенных газовых машинах. Особенности конструкции регенераторов различных типов. Температурный режим работы регенераторов, температурный гистерезис. Особенности расчета теплоотдачи и гидравлического сопротивления в регенераторах, методика теплового и гидравлического расчета. Очистка воздуха от примесей в регенераторах воздуходелительных установок.

7. Свойства конструкционных материалов

Конструкционные материалы, применяемые для изготовления теплообменного оборудования, их теплофизические, механические и технологические свойства. Особенности прочностного расчета теплообменного оборудования.

8. Нормы безопасности при проектировании систем защитной оболочки реакторов атомных станций

Основные принципы и задачи государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации определены в «Основах государственной политики в области обеспечения ядерной и радиационной безопасности Российской Федерации на период до 2010 года и дальнейшую перспективу» (Пр-2196 от 4 декабря 2003г).

Одна из основных задач в этом направлении сводится к установлению и обеспечению нормы безопасности для охраны здоровья, жизни и имущества в деятельности по освоению и применению ядерной энергии.

В связи с этим, исследования по анализу безопасности объектов атомной энергетики являются одним из важных направлений при проектировании АЭС.

В соответствии с серией норм по безопасности № NS-G-1.10 (Проектирование систем защитной оболочки реактора для атомных электростанций // руководство по безопасности, Международное Агенство по Атомной Энергии, Вена, 2008 год) системы защитной оболочки должны осуществлять: локализацию радиоактивных веществ в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях; защита станции от внешних природных явлений и вызываемых деятельностью человека событий; радиационную защиту в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях

9. Расчет процессов, возникающих при кипении жидких металлов

Жидкие металлы являются единственными теплоносителями, удовлетворяющими всем требованиям, предъявляемым к энергетическим реакторам на быстрых нейтронах: не замедляют их движение, обладают высокой эффективностью теплопереноса

Использование жидкометаллических теплоносителей в ядерных установках имеет определенные преимущества:

1. Жидкие металлы имеют малую упругость паров. Низкое давление существенно упрощает конструкцию и эксплуатацию как реактора, так и вспомогательного оборудования станции.
2. Высокая температура кипения жидких металлов обеспечивает большую гибкость в работе. Например, если температура теплоносителя на выходе из реактора значительно повысится, то расплавления тепловыделяющего элемента, обусловленного образованием паровой плёнки, как это происходит при охлаждении водой, не произойдет. Допустимые тепловые потоки практически не ограничены критическими тепловыми нагрузками.
3. Na и K оказывают малое коррозионное воздействие на конструкционные материалы.

Активные исследования по кипению жидких металлов проводились в середине прошлого столетия. Основное внимание уделялось рассмотрению процесса кипения в большом объеме. В настоящее время в связи с необходимостью изучения процессов теплообмена в различных технических устройствах (в частности в атомной энергетике) появилась необходимость в получении экспериментальных данных и надежных расчетных соотношений для: теплоотдачи в трубах, критических тепловых потоков, теплоотдачи в пучке труб. Для описания процессов передачи тепла на границах: поверхность стержня – жидкость, поверхность стержня – газ и жидкость – газ необходимо определять величину площади межфазной поверхности. При рассмотрении различного рода аварийных

ситуаций, актуальным также становится рассмотрение процессов, в которых происходит кратковременная потеря теплоносителя.

10. Физико-математические модели нестационарных теплогидравлических процессов в обогреваемых каналах

Физико-математические модели нестационарных процессов, основные уравнения движения однофазного и двухфазного потоков в одномерной постановке, переходные процессы в обогреваемом канале при течении однофазной жидкости при бесконечно большом и конечном значениях коэффициента теплоотдачи и при течении двухфазной системы.

11. Теплогидравлическая неустойчивость при течении двухфазного потока в обогреваемом канале

Устойчивость «в малом» и «в большом». Понятие о статической и динамической теплогидравлической неустойчивости. Решение Петрова для определения границы статической устойчивости. Модель первого приближения для описания динамической неустойчивости. Критерий Лединега.

12. Гидравлический удар при течении однофазной жидкости

Физико-математическая модель гидравлического удара. Решение Жуковского. Методы снижения гидравлического удара.

13. Экспериментальные и расчетные исследования двухфазных течений, характеризующихся сильной неравновесностью

Во многих задачах теплофизики возникают явления, когда внезапно приходят в соприкосновение массивы холодной жидкости и горячего пара или же происходит интенсивное парообразование с поверхности жидкости при резком падении давления. При кажущейся очевидности развития данных явлений, для существенно неравновесных условий существует достаточно ограниченные экспериментальные данные и надежные расчетные соотношения, позволяющие предсказывать изменение давления в паре и жидкости. При контакте горячего пара и холодной жидкости, вследствие отличия начального давления пара от давления насыщения при температуре жидкости образуется волна разрежения, в результате распространения которой в паре возникает поток массы, направленный к поверхности жидкости. В свою очередь, интенсивная конденсация вызывает нагрев слоя жидкости вблизи межфазной поверхности, что приводит к

снижению интенсивности конденсации и образованию волны сжатия. В задаче динамики образования паровой фазы при испарении перегретой жидкости вопросы устойчивости межфазной поверхности имеют принципиальное значение, поскольку интенсивность испарения и движение межфазной поверхности тесно взаимосвязаны.

Рассматриваются вопросы парообразования при течении жидких металлов в каналах и капиллярах. Эти задачи актуальны в связи с принятой программой развития атомной энергетики. Жидкие металлы являются хорошими теплоносителями для ядерных реакторов на быстрых нейтронах. Вследствие достаточно плотной упаковки тепловыделяющих элементов в активной зоне таких реакторов возникает вероятность частичной или полной закупорки паром отдельных каналов, сокращения в межтрубных каналах расхода жидкости до аварийных значений и перегрева теплоносителя с последующим вскипанием, выбросом жидкости из каналов, конденсацией паров в жидкой фазе с ударными явлениями. Такие процессы чрезвычайно важны для обоснования безопасной работы реактора, однако остаются до сих пор неизученными.

14. Моделирования запроектной аварии на АЭС на базе различных программных комплексов

Обеспечение безопасности реакторных установок является одной из основных задач при проектировании, строительстве, эксплуатации и выводе из эксплуатации АЭС.

Обоснование безопасности АЭС включает в том числе и анализ запроектных аварий, в т.ч. и таких, которые могут привести к плавлению активной зоны, разрушению корпуса реакторной установки, выходу водорода, радиоактивных продуктов деления и расплава активной зоны под защитную оболочку и в окружающую среду.

Главным методом анализа тяжелых аварий является численное моделирование с использованием различных специализированных компьютерных кодов. В настоящее время в распоряжении предприятий и научных центров атомной отрасли имеются зарубежные коды, представляющие практический интерес для исследования поведения РУ ВВЭР при тяжелых авариях:

- код RELAP/SCDAP, представляющий собой код улучшенной оценки, моделирующий процессы на ранней стадии разрушения активной зоны при тяжелых авариях;
- интегральный код MELCOR (разработан по заказу Комиссии по ядерному регулированию США), моделирующий тяжелые аварии на всех стадиях аварийного процесса;

- интегральный код МААР (разработан в EPRI по заказу Министерства энергетики США), аналогичный по диапазону анализируемых процессов коду MELCOR, но построенный с использованием более простых моделей и поэтому отличающийся быстроедействием, имеется версия МААР-4/VVER;
- код улучшенной оценки ATHLET-CD (Германия), по своим возможностям аналогичный коду SCDAP/RELAP5, разрабатываемый GRS;
- код ICARE2/CATHARE, предназначенный для моделирования ранней стадии разрушения активной зоны;
- интегральные коды IRSN (Франция), среди которых можно отметить код ASTEC, по возможностям аналогичный программе MELCOR.

В России для анализа тяжелых аварий с потерей теплоносителя применяется программный комплекс улучшенной оценки СОКРАТ. В программном комплексе СОКРАТ обеспечивается сквозное моделирование физических процессов на всех этапах развития аварийного процесса от исходного события до выхода расплава за пределы корпуса реактора с учетом конструктивных особенностей.

15. Паровой взрыв

Взаимодействие материала расплава активной зоны с водой может вызвать явления с высоким выделением энергии (например, паровые взрывы). Считается, что внутрикорпусные взаимодействия такого типа вряд ли приведут к повреждению защитной оболочки и что, следовательно, не требуется никаких особых мер. Влияния паровых взрывов за пределами корпуса реактора специфичны для конкретной станции и более трудны для прогнозирования. Следовательно, если для каждого конкретного проекта станции нельзя показать, что угроза, связанная с паровым взрывом, является низкой, то особое внимание следует уделить определению мер управления авариями, чтобы уравновесить риск парового взрыва с необходимостью охлаждения расплавленного материала активной зоны.

Отказ корпуса ядерного реактора при высоком или при низком давлении в сочетании с присутствием воды в шахте реактора может привести к взаимодействиям между топливом и теплоносителем, что может повлечь быстрое парообразование или паровой взрыв. Быстрое образование пара может привести к повышению давления в отсеках защитной оболочки в степени, превышающей способности защитной оболочки сбрасывать давление, что приводит к её разгерметизации из-за локального превышения давления. Паровые взрывы могут явиться результатом быстрого смешивания мелких обломков

материала активной зоны с окружающей водой, приводящего к быстрому испарению и разгону окружающей воды, что создает существенное давление и динамические нагрузки.

Физический процесс контакта и перемешивания расплава с теплоносителем имеет важное значение.

С точки зрения безопасности реактора наибольший интерес представляет взаимодействие типа парового взрыва, при котором в результате взрывообразного парообразования в теплоносителе выделяется значительная механическая энергия в виде ударного повышения давления в системе.

16. Основы физики сверхтекучести и процессы переноса в He-II

Гелий – квантовая жидкость. Опытные факты и наблюдения. Термомеханический и механотермический эффекты в He-II. Соотношение Лондона. Двухскоростная модель Л.Д.Ландау: допущения (предположения) и математическое описание. Распространение звука в He-II. Система уравнений, описывающая это явление. Скорость первого и второго звука. Изменение давления и температуры в монохроматической волне 1-го и 2-го звука. Третий и четвертый звуки. Отражение звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Физическая постановка и математическое описание. Коэффициент отражения звука от межфазной поверхности сверхтекучего гелия. Предельные значения. Зависимость от коэффициента конденсации. Коэффициент проницаемости границы раздела фаз.

Постановка задачи о расчете теплообмена в He-II. Режим сопротивления П.Л.Капицы. Описание стационарного теплопереноса в He-II при ламинарном движении нормальной компоненты. Вывод уравнения, описывающего стационарный теплоперенос в He-II на основе уравнений двухскоростной гидродинамики. Критические скорости в He-II. Сила взаимного трения Гортера-Меллинка. Физическая сущность. Качественный вывод выражения для силы. Расчет теплопереноса с учетом взаимного трения компонент сверхтекучего гелия. Расчет “восстановительного” теплового потока в He-II. Физическая постановка. Математическое описание. Результаты для цилиндрических нагревателей малого и большого диаметров.

Сверхтекучесть и бозе-конденсация. Расчет температуры начала бозе-конденсации.

17. Основы физики сверхпроводимости

Основные опытные факты. Тепловые свойства сверхпроводников. Феноменологические теории сверхпроводимости: Термодинамическая теория Гортера-Казимира. Двухжидкостная модель Лондонов. Теория Гинзбурга-Ландау. Два типа сверхпроводников. Сверхпроводники I рода в магнитном поле. Промежуточное состояние.

Сверхпроводники II рода в магнитном поле: смешанное состояние, квантование магнитного потока и вихри Абрикосова. Резистивное состояние сверхпроводников и пиннинг. Жесткие сверхпроводники. Эффекты Джозефсона. Высокотемпературная сверхпроводимость.

18. Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах

Течение криогенной жидкости в неадиабатном трубопроводе. Обеспечение однофазности потока. Оптимальная скорость потока. Захолаживание и заполнение трубопроводов криогенной жидкостью. Модель температурного скачка. Влияние теплоемкости стенки на длительность заполнения канала при постоянном перепаде давлений. Заполнение короткого канала. Гидродинамика процесса заполнения. Первичный и вторичный гидроудары, гидроудар при открытии клапана, меры снижения гидроударов.

19. Теплофизические процессы в криогенных резервуарах

Процессы хранения криогенной жидкости в сосуде с открытым и закрытым дренажем. верхняя и нижняя заправка криогенных резервуаров, бездренажная заправка. Процесс выдачи жидкости из резервуара. Вскипание жидкости при снижении давления.

20. Особенности применения различных способов охлаждения для получения низких температур.

Паро-жидкостной цикл. Газо-жидкостной цикл. Газовый цикл. Абсорбционные холодильные установки. Термоэлектрические и электрокалорические способы охлаждения. Эффективность холодильных установок. Виды потерь эксергии в различных низкотемпературных установках. Влияние температуры окружающей среды на характеристики парожидкостного цикла.

21. Конструктивные особенности низкотемпературных установок.

Состав хладоагрегатов. Блок повышения давления. Старт-танк. Ресивер. Регенеративный теплообменник. Расширительное устройство. Испаритель. Холодильная камера. Арматура холодильных установок. Вспомогательные элементы холодильных систем. Вентиляторы. Трубопроводы. Теплоизоляция.

22. Влияние свойств рабочего тела на характеристики дроссельных систем

Области применения смесевых хладагентов. Определение химического потенциала. Типы фазовых равновесий. Уравнения состояния для чистых веществ. Определение летучести для чистых веществ- в газовом и конденсированном состоянии. Правило фаз Гиббса. Парциальные величины. Химический потенциал вещества в многокомпонентной системы. Летучесть веществ в многокомпонентной системе. Закон Рауля. Правило Льюиса

23. Применение многокомпонентных рабочих тел в дроссельных криогенных системах

Уравнение Ван-дер-Ваальса. Правила смешения. Расчет летучести в многокомпонентных системах. Принципы построения алгоритмов расчета фазовых равновесий пар-жидкость, жидкость-жидкость, жидкость-твердое тело. Расчет парожидкостного равновесия. Основы расчета систем на смесях. Системы для криостатирования и охлаждения. Изотермическая и неизотермическая тепловая нагрузка.

24. Элементы физической кинетики

Основные понятия и определения: потенциалы взаимодействия, функция распределения молекул газа по скоростям, моменты функции распределения. Связь микроскопического и макроскопического уровней описания. Кинетическое уравнение Больцмана. Основные допущения при выводе. Моменты интеграла столкновений. Постановка задачи для уравнения Больцмана. Методы решения кинетического уравнения Больцмана. Решение линеаризованной одномерной стационарной задачи о переконденсации. Получение выражения для плотности потока массы j . Его асимптотики. Решение одномерной стационарной линеаризованной задачи о теплопереносе через слой разреженного газа. Выражение для теплового потока q . Его асимптотики. Кинетическое описание задач интенсивного испарения и конденсации.

25. Основы вакуумной техники. Течение газа в вакууме

Приближенное обобщенное математическое описание явлений переноса в вакууме. Диффузия газов. Перенос тепла. Вязкость. Вязкостный режим течения. Молекулярный режим течения. Молекулярно-вязкостный режим течения. Примеры расета проводимости. Расчет времени откачки.

26. Принципы вакуумной откачки. Молекулярная откачка

Классификация вакуумных насосов. Принципы вакуумной откачки. Основы молекулярной откачки. Конструкции молекулярных насосов.

27. Проектирование вакуумных систем. Типовые схемы.

Высоковакуумная установка с масляной откачкой. Комбинированная вакуумная система. Высоковакуумная система с безмасляной откачкой. Высоковакуумная установка с турбомолекулярной откачкой.

28. Методика расчета и проектирования криовакуумных насосов (КВН)

Структурная схема КВН. Схема проектного расчета КВН. Пример проектного расчета крионасосов для откачки гелий-водородной смеси.

Контрольные вопросы к темам для аттестации слушателей к учебным блокам

“ Процессы теплообмена в энергонапряженном оборудовании”

1. Основные направления государственной политики Российской Федерации в сфере развития науки.
2. Основные правила формирования приоритетных направлений развития науки.
3. Каков перечень критических технологий Российской Федерации.
4. Основные направления работ ФЦП «Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007 - 2010 годы и на перспективу до 2015 года»
5. Основные направления работ ФЦП «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы»
6. Основные технические аспекты аварии на Чернобыльской АЭС.
7. Предельно допустимые дозы радиоактивного облучения.
8. Особенности организации работ по ликвидации аварии на Чернобыльской АЭС.
9. Зоны радиоактивного загрязнения России в результате аварии на Чернобыльской АЭС.
10. Периоды реализации государственных программ по преодолению последствий аварии на Чернобыльской АЭС.
11. Основные причины аварии на АЭС Фукусима-1 (Япония).
12. Что такое явления переноса?
13. Дайте определение процессам диффузии, вязкости и теплопроводности.
14. Опишите особенности процессов переноса в высоком вакууме.
15. Каков характер зависимости коэффициента диффузии от давления?
16. Как изменяется теплопроводность с уменьшением давления в системе?
17. Каковы особенности внутреннего трения при высоком вакууме?
18. Как зависит динамическая вязкость от давления?
19. Каковы особенности теплопередачи в разреженном газе?
20. Какова зависимость коэффициента теплопроводности газа от температуры?
21. Напишите формулу для критерия режима течения газа в вакууме.
22. Что такое проводимость элемента вакуумной системы?
23. Что такое поток газа?
24. Как рассчитывается проводимость короткой трубы?
25. Что такое эффективная быстрота действия?
26. На каких принципах основано действие вакуумных насосов?
27. Каковы физические основы молекулярной откачки?

28. Каковы две принципиальные схемы вакуумной откачки?
29. Опишите схему высоковакуумной установки с масляной откачкой.
30. Каковы особенности схемы высоковакуумной установки с безмасляной откачкой?
31. Опишите схему высоковакуумной установки с турбомолекулярной откачкой.
32. Приведите схему теплового расчета крионасоса.
33. Как выполняется расчет расхода криоагента, потребляемого крионасосом?
34. Почему описание течений разреженного газа удобнее осуществлять на уровне функции распределения?
35. Назовите основные моменты функции распределения.
36. Перечислите основные методы решения кинетического уравнения Больцмана
37. Назовите основные механизмы переноса тепла и их отличительные признаки.
38. Как записывается уравнение теплопроводности в различных координатах?
39. Что такое регулярный режим охлаждения или нагрева?
40. Чем вынужденная конвекция отличается от свободной?
41. Что такое гидродинамический и тепловой пограничный слой?
42. В чем отличие ламинарного течения от турбулентного?
43. В каких условиях реализуются пленочная и капельная конденсация?
44. Какие режимы течения жидкости возможны при пленочной конденсации?
45. Назовите стадии роста парового пузыря при кипении.
46. Вследствие чего происходит кризис кипения по различным моделям?
47. Какие факторы влияют на теплоотдачу при кипении в каналах?
48. Каковы принципы действия и области применения тепловизоров?
49. Какие основные функции должна осуществлять защитная оболочка реактора?
50. Каковы преимущества использования жидкометаллических теплоносителей?
51. Какой основной метод анализа тяжелых аварий?
52. Какие существуют зарубежные коды для исследования поведения реакторных установок?
53. Что может приводить к возникновению парового взрыва?
54. Какова роль парового взрыва с точки зрения безопасности реактора?
55. В чем состоит особенность He-II?
56. Основные положения, лежащие в основе двухскоростной гидродинамики?
57. Способы получения низких температур.
58. Что такое охлаждение? Назовите виды охлаждения.
59. Дайте понятие холода и холодопроизводительности.
60. Каковы теплофизические свойства криоагентов и особенности свойств гелия?

61. Напишите обобщенное уравнение первого и второго начала термодинамики.
62. В чем заключается физический смысл термодинамического и химического потенциалов?
63. Что такое термомеханические методы охлаждения?
64. Что такое дросселирование?
65. Дайте понятие дифференциального дроссель-эффекта. Укажите область его положительных значений.
66. Сравните термодинамическую эффективность дросселирования и детандирования.
67. Напишите уравнение изменения температуры криоагента при детандировании.
68. Дайте определение эксергии. Как меняется эксергия с понижением температуры рабочего тела?
69. Перечислите способы понижения давления прямого потока в криогенной установке.
70. Какова основа для выбора расчетных контуров криогенной установки?
71. Приведите схему расчета давления прямого потока.
72. Как выполняется оптимизация параметров криогенной установки?
73. На каких принципах основано действие вакуумных насосов?
74. Каковы физические основы молекулярной откачки?
75. Каковы две принципиальные схемы молекулярной откачки?
76. Чем объяснить избирательность молекулярных насосов при откачке газов с различной молярной массой?
77. Надо ли устанавливать высоковакуумную ловушку на входе в молекулярный насос?
78. Объясните механизмы откачки геттерно-ионных насосов.
79. Какого предельного давления можно достичь при откачке воздуха геттерным насосом?
80. Каков механизм откачки инертных газов в геттерно-ионных насосах?
81. Какова зависимость удельной скорости действия крионасоса от толщины криослоя?
82. Каковы оптимальные параметры формирования криослоя газового конденсата?
83. В чем заключается механизм криозахвата?
84. Перечислите способы охлаждения теплозащитных экранов
85. Каковы основные параметры двухфазных потоков?
86. Назовите основные режимы движения двухфазной смеси в канале.
87. Как меняется по длине основные параметры двухфазного потока?

88. В чем состоит особенность кипения недогретой жидкости в канале?
89. Расчет теплообмена при вынужденном течении парожидкостной смеси.
90. Как меняется коэффициент при переходе в закризисную область?
91. Приведите основные схемы механизмов кризиса теплообмена в парогенерирующем канале.
92. Назовите основные особенности наступления кризиса в потоке сильно недогретой жидкости, в потоке со слабым недогревом или в пузырьковом режиме течения, в дисперсно-кольцевом потоке, в дисперсном режиме потока.
93. Как выглядит диаграмма уноса?
94. Чем определяется положение кризиса в змеевиковых трубах?
95. Назовите основные методы интенсификации теплообмена.
96. Приведите основные способы классификации теплообменников.
97. Сравните прямоточную схему течения с противоточной.
98. Зачем вводится поправочный коэффициент к температурному напору?
99. Назовите основные этапы расчета парогенераторов.
100. Какие основные регламентные работы проводятся при техническом обслуживании низкотемпературных установок?
101. Назовите основные причины выхода оборудования из строя. Как их диагностировать?
102. В чем заключается особенность методики заправки хладоагрегатов одно- и многокомпонентными хладагентами?
103. На какие процессы в холодильной машине влияет утечка хладагента?
104. Каковы потери при утечке смесового хладагента?
105. Основные пункты техники безопасности при работы с холодильными машинами.
106. Назовите последовательные стадии процесса захолаживания и заполнения трубопроводов криогенной жидкостью.
107. Какие опасности могут возникнуть при захолаживании криогенного трубопровода?
108. Какие процессы сопровождают дренажный и бездренажный способ хранения криоагента в резервуаре и сосуде?
109. Назовите основные способы выдачи хладагента из резервуара.
110. Что такое явление стратификации? В чем его опасность?
111. Как следует эксплуатировать и обслуживать бытовой кондиционер в офисном или жилом помещении?

112. Классификация кондиционеров.

Учебный блок

«Тепломассообмен и теплообменные аппараты»

Цель: 1) изучение закономерностей переноса теплоты для процессов теплопроводности, конвекции, теплового излучения, теплообмена при фазовых переходах и массообмена в условиях работы энергонапряженного оборудования

2) доведение до сведения слушателей основных положений и норм при проектировании элементов энергонапряженного оборудования

Категория слушателей: специалисты организаций эксплуатирующих объекты энергетической отрасли.

Срок обучения: 80 часов.

Форма обучения: С отрывом от производства.

Режим занятий: до 8-ми академических часов лекционных и практических занятий

№ п/п	Наименование разделов, дисциплин и тем.	Всего часов на раздел	В том числе		
			лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	2	3	5	6	7
1	Классификация процессов теплообмена	3	2	--	1
2	Теплопроводность	18	10	4	4
3	Конвективный теплообмен	18	10	4	4
4	Теплообмен излучением	5	2	2	1
5	Теплообмен при конденсации	12	8	2	2
6	Теплообмен при кипении	12	8	2	2
7	Массообмен	5	2	2	1
8	Тепловизионная диагностика энергонапряженного оборудования	5	2	2	1
	Зачет	2	--	--	2
	Итого:	80	44	18	18

Аннотация

Лекционных и практических занятий к блоку для специалистов по теме «Тепломассообмен и тепломассообменные аппараты»

Тема № 1. Классификация процессов тепломассообмена

Предмет курса. Основные способы переноса теплоты.

Тема № 2. Теплопроводность

Основные положения теории теплопроводности. Температурное поле, изотермические поверхности. Дифференциальное уравнение теплопроводности. Закон Фурье. Теплопроводность различных веществ. Условия однозначности.

Стационарная теплопроводность одно- и многослойной стенок простейшей геометрии. Условие рационального выбора материала тепловой изоляции для цилиндрической стенки. Учет зависимости теплопроводности от температуры. Интенсификация теплопередачи. Эффективность оребрения. Теплопроводность ребер. Теплопроводность при наличии внутренних источников теплоты.

Классификация задач нестационарной теплопроводности. Охлаждение массива, пластины, цилиндра, шара. Основы теории регулярного режима. Нестационарный перенос тепла теплопроводностью в полубесконечном теле. Особенности многомерных задач теплопроводности. Теорема перемножения решений.

Тема № 3. Конвективный теплообмен

Основные понятия и определения. Классификация процессов. Дифференциальное уравнение энергии. Система уравнений конвективного теплообмена. Приближение пограничного слоя. Основы теории подобия. Понятие подобия физических процессов. Критерии и уравнения подобия. Метод анализа размерностей.

Теплообмен при вынужденном внешнем обтекании тел. Продольное обтекание пластины, ламинарный пограничный слой. Осреднение уравнений конвективного теплообмена для турбулентного пограничного слоя. Продольное обтекание пластины, турбулентный пограничный слой. Аналогия Рейнольдса и ее современная модификация. Гидродинамика и теплообмен при поперечном обтекании труб.

Особенности конвективного теплообмена при течении в каналах. Расчет теплоотдачи для стабилизированного течения. Теплоотдача при ламинарном режиме, задача Гретца-Нуссельта. Закономерности теплоотдачи при турбулентном режиме течения.

Теплообмен при естественной конвекции около вертикальной пластины и горизонтальной трубы при ламинарном и турбулентном пограничном слое. Естественная конвекция в узких каналах. Понятие о конвективной неустойчивости стратифицированного слоя жидкости.

Тема № 4. Теплообмен излучением

Основные понятия. Законы излучения черного тела. Особенности реальных поверхностей. Лучистый теплообмен через диатермичную среду. Общий метод расчета для серых поверхностей и диффузного излучения. Угловые коэффициенты. Решение задач для простейших геометрических схем. Тепловое излучение газового объема. Уравнение переноса энергии в излучающе-поглощающей среде.

Тема № 5. Теплообмен при конденсации

Классификация процессов, возможные режимы конденсации пара. Система уравнений для движения жидкости со свободной поверхностью при фазовом переходе I рода. Решение Нуссельта для пленочной конденсации на вертикальной стенке и его последующие уточнения. Конденсация на горизонтальной трубе. Числа подобия. Турбулентное течение конденсированной пленки. Особенности пленочной конденсации внутри труб. Механизм и теплообмен при капельной конденсации.

Тема № 6. Теплообмен при кипении

Классификация процессов. Модели элементарных процессов. Режимы кипения в большом объеме. Теплоотдача в различных режимах, кризисы кипения. Теоретические модели теплообмена при кипении в большом объеме. Устойчивость процесса с точки зрения теплового баланса греющей стенки. Кипение при вынужденном течении жидкости. Теплообмен при движении фронта фазового перехода.

Тема № 7. Массообмен

Совместные процессы тепло- и массообмена. Характеристики переноса массы и энергии в бинарной системе. Диффузия, закон Фика. Система дифференциальных уравнений для тепло- и массообмена. Аналогия процессов тепло- и массообмена при низкой интенсивности массообмена. Тройная аналогия. Особенности тепло- и массообмена при значительном поперечном потоке массы.

Тема № 8 Тепловизионная диагностика энергонапряженного оборудования

Тепловизионная диагностика позволяет получить достоверную и объективную информацию о тепловом состоянии объекта. На основе этой информации становится возможным принимать эффективные меры, обеспечивающие безопасную эксплуатацию объекта, а также заранее планировать ремонтно-восстановительные работы. Рассматриваются принципы действия и области применения тепловизоров. Дается обзор основных тепловизоров, используемых для диагностики

Практические занятия

- 1) Стационарные задачи теплопроводности
- 2) Численные методы решения задач теплопроводности
- 3) Многомерные задачи теплопроводности
- 4) Конвективный теплообмен при внешнем обтекании тел.
- 5) Конвективный теплообмен при течении в каналах.
- 6) Теплообмен при естественной конвекции.
- 7) Теплообмен излучением.
- 8) Пленочная конденсация на вертикальных поверхностях из неподвижного пара.
- 9) Пленочная конденсация на поверхностях сложной формы.
- 10) Пленочная конденсация из движущегося пара.
- 11) Элементарные процессы кипения. Кривая кипения.
- 12) Теплообмен при кипении в большом объеме.
- 13) Теплообмен при кипении движущейся в канале жидкости.
- 14) Тепловизионный контроль.

Учебный блок

«Моделирования запроектной аварии на АЭС на базе расчетного комплекса СОКРАТ/В1»

Цель: 1) изучение основ моделирования динамики и количества выхода водорода в защитную оболочку в ходе запроектной на АЭС с водо-водяным энергетическим реактором (ВВЭР)

2) изучение основных математических моделей кода СОКРАТ, методик и расчетных схем

3) доведение до сведения слушателей необходимости осуществления моделирования запроектной аварии для обоснования безопасности эксплуатации АЭС

Категория слушателей: специалисты и руководители организаций эксплуатирующих объекты атомной энергетики.

Срок обучения: 84 часа.

Форма обучения: С отрывом от производства.

Режим занятий: до 8-ми академических часов лекционных и практических занятий

№ п/п	Наименование разделов, дисциплин и тем.	Всего часов на раздел	В том числе		
			лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	2	3	5	6	7
1	Основные нормы безопасности при проектировании АЭС	4	2	–	2
2	Обзор основных существующих в мире программных комплексов для моделирования запроектных аварий	4	2	–	2
3	Общие характеристики кода СОКРАТ				
3.1.	Назначение и область применения кода	4	2	–	2
3.2.	Основные модули кода	4	2	–	2
3.3.	Начальные и граничные условия	6	2	2	2
3.4.	Ограничения кода	4	2	–	2
4	Математические модели кода СОКРАТ				

4.1.	Моделирование основных физических процессов на внутрикорпусной стадии запроектной аварии реакторной установки ВВЭР	8	2	4	2
4.2.	Моделирование основных физических процессов в защитной оболочке	8	2	4	2
4.3	Теплогидравлическая модель	8	2	4	2
4.4.	Специфические модели элементов реакторной установки	8	2	4	2
5	Основные методики и расчетные схемы реакторных установок ВВЭР				
5.1	Обоснование расчетной методики	6	2	2	2
5.2	Краткое описание расчетных схем реакторной установки ВВЭР	6	2	2	2
6.	Примеры результатов расчета кода СОКРАТ применительно к реакторным установкам ВВЭР	12	4	4	4
7	Зачет	2			
	Итого:	84	28	26	28

Аннотация

Лекционных и практических занятий к блоку для специалистов по теме «Моделирования запроектной аварии на АЭС на базе расчетного комплекса СОКРАТ/В1»

Тема № 1. Основные нормы безопасности при проектировании АЭС

Одна из основных задач в направлении обеспечения безопасной эксплуатации АЭС сводится к установлению и обеспечению нормы безопасности для охраны здоровья, жизни и имущества в деятельности по освоению и применению ядерной энергии.

В связи с этим, исследования по анализу безопасности объектов атомной энергетики являются одним из важных направлений при проектировании АЭС.

В соответствии с серией норм по безопасности № NS-G-1.10 (Проектирование систем защитной оболочки реактора для атомных электростанций // руководство по безопасности, Международное Агенство по Атомной Энергии, Вена, 2008 год) системы защитной оболочки должны осуществлять: локализацию радиоактивных веществ в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях; защита станции от внешних природных явлений и вызываемых деятельностью человека событий; радиационную защиту в эксплуатационных состояниях и в аварийных условиях

Тема № 2. Обзор основных существующих в мире программных комплексов для моделирования запроектных аварий

Рассматриваются основные программные комплексы, используемые в мире для моделирования запроектных аварий, такие как: RELAP/SCDAP, представляющий собой код улучшенной оценки, моделирующий процессы на ранней стадии разрушения активной зоны при тяжелых авариях; MELCOR (разработан по заказу Комиссии по ядерному регулированию США), моделирующий тяжелые аварии на всех стадиях аварийного процесса; MAAP (разработан в EPRI по заказу Министерства энергетики США), аналогичный по диапазону анализируемых процессов коду MELCOR, но построенный с использованием более простых моделей и поэтому отличающийся быстродействием, имеется версия MAAP-4/VVER; ATHLET-CD (Германия), по своим возможностям аналогичный коду SCDAP/RELAP5, разрабатываемый GRS; ICARE2/CATHARE, предназначенный для моделирования ранней стадии разрушения активной зоны; IRSN (Франция), среди которых можно отметить код ASTEC, по возможностям аналогичный программе MELCOR. Проводится сравнение рассмотренных кодов с программным комплексом СОКРАТ.

Тема № 3. Общие характеристики кода СОКРАТ

Программный комплекс СОКРАТ предназначен для реалистического анализа поведения РУ ВВЭР на внутрикорпусной стадии запроектной аварии. Основными задачами, которые решаются программным комплексом СОКРАТ, являются:

- реалистичная оценка источников водорода и пара для задач по обеспечению пожаро-взрывобезопасности защитной оболочки РУ;
- реалистичная оценка состояния РУ, анализ отклика РУ на возможные меры по управлению аварией;
- реалистичная оценка массы и энергии расплава, выходящего из корпуса реактора в случае разрушения его днища.

Для численного моделирования перечисленной совокупности физических явлений и процессов в качестве основных составных частей программного комплекса СОКРАТ используются следующие программные модули:

- модуль РАТЕГ, осуществляющий моделирование контурной двухжидкостной теплогидравлики;
- модуль СВЕЧА, предназначенный для моделирования физико-химических процессов в активной зоне;
- РАДИАЦИЯ – теплообмен излучением;
- модуль ГЕФЕСТ, описывающий поведение материалов в нижней камере смешения и разрушения корпуса;
- КУПОЛ – процессы в защитной оболочке.

Рассматриваются ограничения кода: диапазон паросодержания, доля и количество неконденсирующихся газов, диапазоны давлений, диапазоны температур пара, газа и тепловых элементов и т.д. Отдельное внимание уделяется вопросам задания начальных и граничных условий для корректного описания процессов.

Тема № 4. Математические модели кода СОКРАТ

В данной теме рассматриваются: основные физические процессы, происходящие при запроектной аварии, и соответствующие этим процессам математические модели кода СОКРАТ. Приводятся обоснования выбранных математических моделей.

Тема № 5. Основные методики и расчетные схемы реакторных установок ВВЭР

В данном разделе приведено обоснование расчетной методики кода СОКРАТ, включающее в себя обоснование устойчивости численных схем, чувствительности к типу

используемых компьютеров и операционных систем; определение погрешности при численном решении системы уравнений. Представлено описание типичных расчетных схем АЭС с РУ ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200, используемых в ИПБ ЯЭ РНЦ КИ, ИБРАЭ РАН, СпбАЭП и др. для анализа АЭС с РУ ВВЭР для широкого спектра запроектных аварийных режимов. Расчетные схемы включают в себя все основные системы АЭС с реакторными установками РУ ВВЭР-1000 и ВВЭР-1200 необходимые для расчетного обоснования безопасности как в проектных авариях, так и в авариях с разрушением активной зоны.

Тема № 6. Примеры результатов расчета кода СОКРАТ применительно к реакторным установкам ВВЭР

В разделе приводятся результаты решений, полученных с применением кода СОКРАТ, а также сравнение полученных результатов с известными решениями и экспериментальными данными.

На первом этапе показаны результаты численного моделирования экспериментов по изучению отдельных физических явлений. Например, движение межфазной границы между жидкостью и газом проверялось на примере колебания манометра. Особое внимание уделялось возможности кода описывать движение уровня воды при переходе через границы расчетных ячеек, приводится сравнение с известными аналитическими решениями для движения жидкости в U-образном манометре.

Далее приводятся сравнения результатов численного моделирования с экспериментальными данными, полученными на интегральном теплофизическом стенде, ПСБ-ВВЭР, моделирующем первый контур РУ ВВЭР-1000. Представлена количественная оценка точности моделирования экспериментов на интегральных стендах. Даются рекомендации по использованию моделей кода для расчета запроектных аварий на реакторных установках ВВЭР.

Учебный блок

«Специализированные вопросы теплопередачи»

Цель: 1) теоретическое изучение элементарных процессов, протекающих в двухфазных системах, позволяющее рассчитывать характеристики реальных систем.

2) доведение до сведения слушателей основных положений и норм при проектировании элементов теплообменного оборудования.

Категория слушателей: специалисты организаций эксплуатирующих объекты энергетической отрасли.

Срок обучения: 40 часов.

Форма обучения: С отрывом от производства.

Режим занятий: до 8-ми академических часов лекционных и практических занятий

№ п/п	Наименование разделов, дисциплин и тем.	Всего часов на раздел	В том числе		
			лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	2	3	5	6	7
1	Гидродинамика и теплообмен двухфазных потоков	6	2	2	2
2	Кризисы теплообмена при кипении в каналах	6	2	2	2
3	Основы расчета теплообменников и парогенераторов	4	2	2	
4	Эксплуатация низкотемпературных установок.	5	2	1	1
5	Переходные процессы в холодильных установках.	6	2	2	2
6	Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах	4	2	1	1
7	Теплофизические процессы в криогенных резервуарах	4	2		2
8	Основы кондиционирования воздуха.	5	2	1	1
	Зачет	2			

Итого:	40	16	11	11
--------	----	----	----	----

Аннотация

Лекционных и практических занятий к блоку для специалистов по теме «Специализированные вопросы теплопередачи»

Тема № 1. Гидродинамика и теплообмен двухфазных потоков

Основные положения. Теплообмен в парогенерирующих каналах (зоны различных видов теплообмена). Кипение недогретой жидкости. Кипение парожидкостной смеси. Теплообмен в закризисной зоне парожидкостного потока.

Тема № 2. Кризисы теплообмена при кипении в каналах

Общие положения. Механизмы кризиса в круглых трубах. Диаграмма уноса. Виды расчетных зависимостей. Кризис в змеевиковых трубах. Кризис в кольцевых каналах. Кризис в пучках стержней. Влияние различных факторов на кризис.

Тема № 3. Основы расчета теплообменников и парогенераторов

Общие положения теплового расчета. Учет теплогидравлических неравномерностей. Принципы теплового расчета парогенераторов. Способы интенсификации теплообмена.

Тема № 4. Эксплуатация низкотемпературных установок

Организация технического обслуживания низкотемпературных установок. Перечень регламентных работ по техническому обслуживанию. Обнаружение и устранения неисправностей холодильного оборудования. Особенности пуска низкотемпературных установок при работе на смесевых хладагентах. Заправка хладагрегатов одно- и многокомпонентными хладагентами.

Тема № 5. Переходные процессы в холодильных установках

Классификация переходных процессов. Изменение характеристик низкотемпературных установок при утечках хладагента. Особенности влияния утечек на характеристики систем при работе на смесевых хладагентах. Расчет изменения состава смесевого хладагента при утечках. Пусковые периоды низкотемпературных систем. Закон регулирования пусковых периодов с целью минимизации времени пуска. Влияние изменения температуры окружающей среды на характеристики низкотемпературной

системы. Характеристики холодильной установки при изменении тепловой нагрузки на испаритель.

Тема № 6. Теплофизические процессы в криогенных трубопроводах

Течение криогенной жидкости в неадиабатном трубопроводе. Обеспечение однофазности потока. Оптимальная скорость потока. Захолаживание и заполнение трубопроводов криогенной жидкостью. Модель температурного скачка. Влияние теплоемкости стенки на длительность заполнения канала при постоянном перепаде давлений. Заполнение короткого канала. Гидродинамика процесса заполнения. Первичный и вторичный гидроудары, гидроудар при открытии клапана, меры снижения гидроударов.

Тема № 7. Теплофизические процессы в криогенных резервуарах

Процессы хранения криогенной жидкости в сосуде с открытым и закрытым дренажем. верхняя и нижняя заправка криогенных резервуаров, бездренажная заправка. Процесс выдачи жидкости из резервуара. Вскипание жидкости при снижении давления.

Тема № 8 Основы кондиционирования воздуха

Технические требования к системам кондиционирования. Автономные кондиционеры. Неавтономные кондиционеры. Кондиционеры-доводчики. Схемы установок кондиционирования воздуха. Воздухоподготовка. Бытовые кондиционеры. Промышленные кондиционеры. Транспортные кондиционеры. Примеры современных разработок по кондиционированию различных объектов

Учебный блок

«Низкотемпературные и криовакуумные системы»

Цель: 1) изучение технологии обеспечения температурного уровня криостатирования на основе сочетания курсов теплофизических процессов в низкотемпературных аппаратах и вакуумной техники.

2) доведение до сведения слушателей основных положений и норм при проектировании и эксплуатации элементов низкотемпературного и вакуумного оборудования.

Категория слушателей: специалисты организаций эксплуатирующих объекты энергетической отрасли.

Срок обучения: 40 часов.

Форма обучения: С отрывом от производства.

Режим занятий: до 8-ми академических часов лекционных и практических занятий

№ п/п	Наименование разделов, дисциплин и тем.	Всего часов на раздел	В том числе		
			лекции	Практические занятия	Самостоятельная работа
1	2	3	5	6	7
1	Основные процессы для получения низких температур	4	2	1	1
2	Термодинамический анализ процессов и циклов. Эксергия.	4	2		2
3	Общие принципы построения схем криогенных установок (КУ)	4	2		2
4	Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках	6	2	2	2
5	Принципы вакуумной откачки	4	2	1	1
6	Насосы поверхностного действия (НПД)	2	1		1
7	Криогенная откачка	3	1	1	1
8	Методика расчета и проектирования	6	2	2	2

	криовакуумных насосов (КВН)				
9	Конструктивные особенности крионасосов	3	1	1	1
10	Некоторые вопросы высоковакуумной технологии	2	2		
	Зачет	4	2	1	1
	Итого:	40	17	8	13

Аннотация

Лекционных и практических занятий к блоку для специалистов по теме «Низкотемпературные и криовакуумные системы»

Тема № 1. Основные процессы для получения низких температур

Общая характеристика и классификация термомеханических методов внутреннего охлаждения. Дросселирование ($h=\text{const}$). Процесс $S=\text{const}$. Расширение газа в детандере. Процесс $\alpha_S=\text{const}$. Выхлоп или свободный выпуск газа из баллона. Охлаждение за счет вакуумирования парового пространства.

Тема № 2. Термодинамический анализ процессов и циклов. Эксергия

Общие положения. Первое и второе начало термодинамики. Уравнение состояния. Эксергетический анализ процессов и циклов.

Тема № 3. Общие принципы построения схем криогенных установок (КУ)

Идеальные циклы КУ. Способы понижения давления прямого потока. Процесс в системе предварительного охлаждения с расширением потока в детандере.

Тема № 4. Методика расчета и оптимизации параметров рабочего тела в криогенных установках

Схема расчета гелиевого рефрижератора с параллельным включением детандеров. Пример расчета гелиевого рефрижератора (ожижителя) с последовательным включением детандеров.

Тема № 5. Принципы вакуумной откачки

Принципы вакуумной откачки. Классификация вакуумных насосов. Основы молекулярной откачки. Конструкции молекулярных насосов.

Тема № 6. Насосы поверхностного действия (НПД)

Классификация НПД. Сорбционные насосы. Ионные насосы. Геттерные насосы. Геттерно-ионные насосы.

Тема № 7. Криогенная откачка

Криоконденсационная откачка. Кριοадсорбционная откачка. Крисиорбция на газовых конденсатах. Конструкции высоковакуумных криогенных насосов.

Тема №8. Методика расчета и проектирования криовакуумных насосов (КВН)

Структурная схема КВН. Схема проектного расчета КВН. Пример проектного расчета крионасосов для откачки гелий-водородной смеси.

Тема № 9 Конструктивные особенности крионасосов

Конструкция криопанелей (КП). Теплозащитные экраны. Тепловая изоляция. Режимы работы криогенных насосов.

Тема № 10 Некоторые вопросы высоковакуумной технологии

Конструктивные материалы высоко- и сверхвысоковакуумных систем. Неразборные вакуумные соединения. Разборные вакуумные соединения.

ЛИТЕРАТУРА

Учебники

1. Аметистов Е.В. Основы теории теплообмена. М.: Издательство МЭИ, 2000. 247 с
2. Архаров А.М. и др. Криогенные системы. М.: Машиностроение, 1999. 720 с.
3. Григорьев В.А., Крохин Ю.И. Тепло- и массообменные аппараты низкотемпературных установок. М.: Энергоиздат, 1982. 312 с
4. Исаченко В.Л., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. М.: Энергия, 1981, 416 с
5. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче: Учебное пособие для теплоэнергетических специальностей вузов. М.: Энергия, 1980. 288 с.
6. Леонтьев А.И. Теория тепломассообмена. М: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1997. 683 с.
7. Комов, А. Т. Криовакуумные и сверхпроводящие системы термоядерных реакторов и установок : учебное пособие для вузов по специальности "Техническая физика термоядерных реакторов и плазменных установок" направления 140400 "Техническая физика" / А. Т. Комов . – М. : Изд. дом МЭИ, 2008 . – 304 с.
8. Теплообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов по специальностям "Теплофизика" и "Атомные электрические станции и установки" направления "Техническая физика" / Б. С. Петухов, Л. Г. Генин, С. А. Ковалев, и др. – 3-е изд., перераб. и доп. – М. : Изд-во МЭИ, 2003 . – 548 с.
9. Кириллов, П. Л. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов по специальности "Атомные электрические станции и установки" / П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская . – 2-е изд., перераб. – М. : Энергоатомиздат, 2008 . – 256 с.
10. Промышленная теплоэнергетика и теплотехника: справочник / под общ. ред. чл.-корр. РАН А.В. Клименко и проф. В.М. Зорина. — 3-е изд., перераб. и доп. М.: Издательство МЭИ, 2004.
11. Кириллов, П. Л. Гидродинамические расчеты: справочник : учебное пособие для вузов по специальностям "Атомные электрические станции и установки", "Ядерные реакторы и энергетические установки" / П. Л. Кириллов, Ю. С. Юрьев . – М. : ИздАТ, 2009 . – 216 с.
12. Тутнов Ан.А., Алексеев Е.Е., Андрианова Т.В. Сравнение расчетных и экспериментальных данных при моделировании поведения твэлов в аварийных режимах эксплуатации, М. -1993.

13. Субботин В.И. Гидродинамика и теплообмен в атомных энергетических установках. М.: Атомиздат, 1975. – 408с.
14. Боришанский В.М. Жидкометаллические теплоносители. М.: Атомиздат, 1976. – 328с.
15. Двайер О. Теплообмен при кипении жидких металлов. М.: Издательство «Мир», 1980. – 518с.
16. Зейгарник Ю.А., Литвинов В.Д. Кипение щелочных металлов в каналах. М.: Наука, 1983.
17. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Теплообмен в ядерных энергетических установках. – М.: Энергоатомиздат, 2000. – 456с.
18. Повышение экологической безопасности ТЭС. Абрамов А.И., Елизаров Д.П., Седлов А.С. и др. М.: 2002 г
19. Андриященко А.Н. Надежность теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС. -М.: Высш. школа. 1991
20. Елизаров Д.П., Клевцов Л.В., Цанев С.В. Определение показателей надежности теплоэнергетического оборудования ТЭС и АЭС. М.-МЭИ.-1996.
21. Клемин А.И. Надежность ядерных энергетических установок. - М.: Энергоатомиздат. 1987

Учебные пособия

1. Аметистов Е.В. и др. Сборник задач по теплопередаче при низких температурах / М.: Издательство МЭИ, 1991. 63 с.
2. Крюков, А. П. Элементы гидродинамики и теплопереноса в гелии II : Учебное пособие по курсу "Криофизика" по направлению "Техническая физика" / А. П. Крюков, Моск. энерг. ин-т (ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2004 . – 80 с.
3. Крюков, А. П. Введение в изучение явлений на поверхности конденсированных сред : учебное пособие по курсу "Процессы на поверхности раздела фаз" по направлению "Нанотехнологии", и слушателей ФПКПС / А. П. Крюков, И. Н. Шишкова, Моск. энерг. ин-т (ТУ) . – М. : Изд. дом МЭИ, 2009 . – 80 с.
4. Королев, П. В. Методы описания конденсированных систем : учебное пособие по курсу "Физика конденсированных систем" по направлению "Нанотехнологии", и слушателей ФПКПиС МЭИ (ТУ) / П. В. Королев, А. П. Крюков, Моск. энерг. ин-т (ТУ) . – М. : Изд. дом МЭИ, 2010 . – 64 с.
5. Численное решение кинетического уравнения Больцмана в инженерной практике : учебное пособие по курсам "Криофизика" и "Процессы переноса в существенно

неравновесных условиях" по направлению "Техническая физика" / А. П. Крюков, В. Ю. Левашов, И. Н. Шишкова, и др., Моск. энерг. ин-т (ТУ) . – М. : Изд-во МЭИ, 2005 . – 80 с.

6. Лунин, А. И. Применение многокомпонентных рабочих тел в низкотемпературной технике : учебное пособие по курсам "Термодинамика смесей и растворов", "Основы холодильной техники", "Холодильные машины и установки" по направлению "Техническая физика" / А. И. Лунин, В. И. Могорычный, В. Н. Коваленко, Моск. энерг. ин-т (ТУ) . – М. : Изд. дом МЭИ, 2009 . – 100 с

Методическая литература

1. Ямников В.С., Маланченко Л.Л., Алешня В.В. Модель и программа для теплофизического расчета твэлов энергетических реакторов типа ВВЭР и РБМК при стационарных режимах работы АЭС, ВНИИНМ, П-1(39), М., Цнииатоминформ. -1985.
2. Тутнов Ан.А., Алексеев Е.Е., Андрианова Т.В. Программное средство PULSAR+ и методика расчетного обоснования безопасности поведения твэлов в аварийных ситуациях, М. -1998.
3. Тутнов Ан.А., Тутнов А.А., Ульянов А.И. Методика математического моделирования теплофизических, прочностных и надежностных характеристик твэлов энергетических реакторов. М. -1993.

Технические и профессиональные справочники, обеспечивающие практическую деятельность по дисциплине.

1. Справочник по физико-техническим основам криогеники / М. П. Малков, и др. – 3-е изд., перераб. и доп . – М. : Энергоатомиздат, 1985 . – 432 с.
2. Кириллин, В. А. Техническая термодинамика : учебник для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" / В. А. Кириллин, В. В. Сычев, А. Е. Шейндлин . – 5-е изд., перераб. и доп . – М. : Изд. дом МЭИ, 2008 . – 496 с.
3. Бажан П.И. и др. Справочник по теплообменным аппаратам. М.: Машиностроение", 1989. 362 с.
4. Бродов Ю.М. и др. Теплообменники энергетических установок. Екатеринбург, издательство «Сократ», 2003. 966 с
5. Варгафтик Н.Б. Справочник по теплофизическим свойствам газов и жидкостей. М.: Старс, 2006. 708 с.

6. Справочник по теплообменникам. В 2-х тт. М.: Энергоатомиздат, 1987.
7. Закон РФ от 23. 11.2009 № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации»
8. Постановление Правительства Российской Федерации от 12 сентября 2008 г. № 667 «О Правительственной комиссии по высоким технологиям и инновациям»
9. Постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №220 «О мерах по привлечению ведущих ученых в российские образовательные учреждения высшего профессионального образования»
10. Постановление Правительства Российской Федерации от 9 апреля 2010 г. №219 «О государственной поддержке развития инновационной инфраструктуры в федеральных образовательных учреждениях высшего профессионального образования»
11. Постановление от 22 апреля 2009 г. №340 «Об утверждении Правил формирования, корректировки и реализации приоритетных направлений развития науки, технологий и техники в Российской Федерации и перечня критических технологий Российской Федерации»
12. Федеральная целевая программа "Развитие атомного энергопромышленного комплекса России на 2007 - 2010 годы и на перспективу до 2015 года"
13. Федеральная целевая программа "Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007 - 2012 годы"
14. Чернобыльская катастрофа. Итоги и проблемы ее преодоления в России 1986-2001. – Москва 2001. (<http://www.ibrae.ac.ru>)
15. 20 лет Чернобыльской катастрофы. Итоги и проблемы ее преодоления в России 1986-2006. Российский национальный доклад, 2006.
16. 25 ЛЕТ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ КАТАСТРОФЫ: ГУМАНИТАРНОЕ ИЗМЕРЕНИЕ, 19 апреля 2011 года Москва // Материалы научной конференции
17. Совещание по развитию атомной энергетики. Москва, Кремль, 14 марта 2006.
18. Серия норм МАГАТЭ по безопасности. Проектирование систем защитной оболочки реактора для атомных электростанций. Руководства № NS-G-1.10, Международное агентство по атомной энергии
19. Правила ядерной безопасности реакторных установок атомных станций. ПБЯ РУ АС-89. Госпроматомнадзор СССР, Москва. -1990