

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/08/24-573.1

от 30.08.2024 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕОРИЯ ТЕПЛОМАССООБМЕНА (ЧАСТЬ 1)

Направление подготовки  
(специальность)

[1] 14.03.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Семестр	Трудоемкость, кред.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практической подготовки/ В	СРС, час.	КСР, час.	Форма(ы) контроля, экс./зач./КР/КП
6	4	144	30	30	15		15	0	Э
Итого	4	144	30	30	15	15	15	0	

## АННОТАЦИЯ

Целями преподавания данной дисциплины являются:

- 1) более глубокое и полное изложение современной теории тепломассообмена;
- 2) привитие у студентов навыков применения результатов теории в практических расчетах тепло- и массообменных процессов, происходящих в ядерных энергетических установках (ЯЭУ).

### 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями преподавания данной дисциплины являются:

- 1) более глубокое и полное изложение современной теории тепломассообмена;
- 2) привитие у студентов навыков применения результатов теории в практических расчетах тепло- и массообменных процессов, происходящих в ядерных энергетических установках (ЯЭУ).

### 2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Для освоения данной дисциплины требуется знание дисциплин: «Химия», «Основы термодинамики и теплопередачи», «Общая физика».

Знания, полученные при изучении дисциплины, также помогут студентам в научно-исследовательской работе и дипломном проектировании, а также в дальнейшей профессиональной деятельности.

### 3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
--------------------------------	--

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции; Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	Код и наименование индикатора достижения профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы	ПК-2 [1] - Способен к участию в проведении физического и численного эксперимента, к подготовке	З-ПК-2[1] - Знать методы проведения физического и численного эксперимента, и подготовки

подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности	в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	соответствующих экспериментальных стендов  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	соответствующих экспериментальных стендов.; У-ПК-2[1] - Уметь проводить физический и численный эксперимент, подготовить соответствующие экспериментальные стенды; В-ПК-2[1] - Владеть методами проведения физического и численного эксперимента и подготовки соответствующих экспериментальных стендов.
<b>проектный</b>			
Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы	ПК-5 [1] - Способен разрабатывать проекты узлов аппаратов с учетом сформулированных к ним требований, использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии  <i>Основание:</i>	З-ПК-5[1] - Знать методы разработки проектов узлов аппаратов с учетом сформулированных к ним требований, с использованием новых информационных технологий.; У-ПК-5[1] - Уметь разрабатывать проекты узлов аппаратов с учетом

процессов, ядерной и радиационной безопасности	управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;	Профессиональный стандарт: 24.078	сформулированных к ним требований, использовать в разработке технических проектов новые информационные технологии; В-ПК-5[1] - Владеть методами проведения разработок проектов узлов аппаратов с учетом сформулированных к ним требований, с использованием новых информационных технологий
Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности	Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных	ПК-6 [1] - Способен к участию в проектировании основного оборудования атомных электростанций, термоядерных реакторов, плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечения безопасной работы  <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-6[1] - Знать методы проектирования основного оборудования атомных электростанций, термоядерных реакторов, плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований и обеспечен; У-ПК-6[1] - Уметь проектировать основное оборудование атомных электростанций, термоядерных реакторов,

	<p>реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики. безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>		<p>плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований, и обеспечения безопасной работы ; В-ПК-6[1] - Владеть навыками проектирования основного оборудования атомных электростанций, термоядерных реакторов, плазменных и других энергетических установок с учетом экологических требований, и обеспечения безопасной работы.</p>
<p>Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы,</p>	<p>ПК-7 [1] - Способен к определению теплотехнических характеристик и конструкционных особенностей теплотехнических систем и оборудования</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028</p>	<p>З-ПК-7[1] - Знать теплотехнические характеристики и конструкционные особенности теплотехнических систем и оборудования; У-ПК-7[1] - Уметь определять теплотехнические характеристики и конструкционные особенности теплотехнических систем и оборудования; В-ПК-7[1] - Владеть методами определения теплотехнических характеристик и конструкционных особенностей теплотехнических систем и оборудования</p>

	<p>экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p> <p>безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;</p>		
<p>Подготовка специалистов с фундаментальной физико-математической и инженерной подготовкой для проектирования и эксплуатации ядерных установок со знанием основ нейтронно-физических и теплофизических процессов, ядерной и радиационной безопасности</p>	<p>Ядерные реакторы, энергетические установки, теплогидравлические и нейтронно-физические процессы в активных зонах ядерных реакторов, теплоносители и материалы ядерных реакторов, ядерный топливный цикл, системы обеспечения безопасности, системы управления ядерно-физическими установками, программные комплексы для исследования явлений и закономерностей в области теплофизики и энергетики, ядерных реакторов, распространения и взаимодействия излучения с объектами живой и неживой природы, экологический мониторинг окружающей среды, обеспечение безопасности ядерных материалов, объектов и установок атомной промышленности и энергетики.</p>	<p>ПК-8 [1] - Способен разрабатывать производственно-техническую документацию</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-8[1] - Знать производственно-техническую документацию; У-ПК-8[1] - Уметь разрабатывать производственно-техническую документацию; В-ПК-8[1] - Владеть навыками работы с производственно-технической документацией</p>

	безопасность эксплуатации и радиационный контроль атомных объектов и установок;		
--	---	--	--

#### 4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование чувства личной ответственности за научно-технологическое развитие России, за результаты исследований и их последствия (B17)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования чувства личной ответственности за достижение лидерства России в ведущих научно-технических секторах и фундаментальных исследованиях, обеспечивающих ее экономическое развитие и внешнюю безопасность, посредством контекстного обучения, обсуждения социальной и практической значимости результатов научных исследований и технологических разработок. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования социальной ответственности ученого за результаты исследований и их последствия, развития исследовательских качеств посредством выполнения учебно-исследовательских заданий, ориентированных на изучение и проверку научных фактов, критический анализ публикаций в профессиональной области, вовлечения в реальные междисциплинарные научно-исследовательские проекты.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (B18)	Использование воспитательного потенциала дисциплин профессионального модуля для формирования у студентов ответственности за свое профессиональное развитие посредством выбора студентами индивидуальных образовательных траекторий, организации системы

		общения между всеми участниками образовательного процесса, в том числе с использованием новых информационных технологий.
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (B19)	1.Использование воспитательного потенциала дисциплин/практик «Научно-исследовательская работа», «Проектная практика», «Научный семинар» для: - формирования понимания основных принципов и способов научного познания мира, развития исследовательских качеств студентов посредством их вовлечения в исследовательские проекты по областям научных исследований. 2.Использование воспитательного потенциала дисциплин "История науки и инженерии", "Критическое мышление и основы научной коммуникации", "Введение в специальность", "Научно-исследовательская работа", "Научный семинар" для: - формирования способности отделять настоящие научные исследования от лженаучных посредством проведения со студентами занятий и регулярных бесед; - формирования критического мышления, умения рассматривать различные исследования с экспертной позиции посредством обсуждения со студентами современных исследований, исторических предпосылок появления тех или иных открытий и теорий.

## 5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:



№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары )/ Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>6 Семестр</i>						
1	Основные механизмы и законы переноса тепла и массы. Дифференциальные уравнения теплообмена. Стационарная теплопроводность и диффузия..	1-8	15/15/8		25	КИ-8	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
2	Нестационарные процессы теплопроводности и диффузии. Введение в теорию конвективного теплообмена. Пограничный слой.	9-15	15/15/7		25	КИ-15	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7, 3-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
	<i>Итого за 6 Семестр</i>		30/30/15		50		
	<b>Контрольные мероприятия за 6 Семестр</b>				50	Э	3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5, 3-ПК-6, У-ПК-6, В-ПК-6, 3-ПК-7, У-ПК-7, В-ПК-7,

							З-ПК-8, У-ПК-8, В-ПК-8
--	--	--	--	--	--	--	------------------------------

\* – сокращенное наименование формы контроля

\*\* – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

### КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>6 Семестр</i>	30	30	15
1-8	<b>Основные механизмы и законы переноса тепла и массы. Дифференциальные уравнения теплообмена. Стационарная теплопроводность и диффузия..</b>	15	15	8
1 - 2	<b>Теплообмен при ламинарном течении жидкости в каналах</b> Общая характеристика и границы существования ламинарного режима течения жидкости в каналах. Критическое число Рейнольдса. Дифференциальное уравнение энергии и условия однозначности. Характеристика теплообмена на начальном термическом участке. Значения числа Нуссельта на участке стабилизированного теплообмена. Определение среднего по длине канала коэффициента теплоотдачи.ное описание пункта	Всего аудиторных часов		
		3	3	2
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	<b>Турбулентный перенос в потоке жидкости</b> Основные закономерности турбулентного переноса количества движения и тепла. Коэффициенты турбулентного переноса. Дифференциальные уравнения движения и энергии турбулентного потока. Турбулентный пограничный слой на пластине. Гидродинамическая теория теплообмена (аналогия Рейнольдса).	Всего аудиторных часов		
		3	3	2
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	<b>Теплоотдача при турбулентном течении жидкости в каналах</b> Профили скорости и температуры в турбулентном потоке жидкости. Методы решения задач теплообмена при турбулентном течении в каналах. Формулы для расчета теплоотдачи к жидкостям с умеренными числами Прандтля. Теплообмен жидких металлов. Влияние зависимости физических свойств жидкости от температуры на теплоотдачу. Расчет теплоотдачи в трубах некруглого поперечного сечения. Теплоотдача при	Всего аудиторных часов		
		3	3	2
		Онлайн		
		0	0	0

	продольном обтекании пучков стержней. Методы интенсификации теплообмена в тепловыделяющих сборках ядерных реакторов.			
7 - 8	<b>Теплообмен при поперечном обтекании труб</b> Общая картина движения жидкости при поперечном обтекании труб. Влияние числа Рейнольдса на характер обтекания, отрыв пограничного слоя. Изменение коэффициента теплоотдачи по окружности трубы. Теплообмен при поперечном обтекании коридорных и шахматных пучков труб. Основные факторы, влияющие на коэффициент теплоотдачи. Расчетные рекомендации.	Всего аудиторных часов		
		3	3	1
		Онлайн		
		0	0	0
9 - 10	<b>Теплообмен при естественной конвекции</b> Естественная конвекция на поверхности теплообмена в неограниченном объеме жидкости. Расчет теплоотдачи при ламинарной естественной конвекции около вертикальной нагреваемой пластины. Теплоотдача при турбулентном режиме естественной конвекции. Теплоотдача при естественной конвекции в ограниченном объеме.	Всего аудиторных часов		
		3	3	1
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	<b>Нестационарные процессы теплопроводности и диффузии. Введение в теорию конвективного теплообмена. Пограничный слой.</b>	15	15	7
11	<b>Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме</b> Условия зарождения паровой фазы в перегретой жидкости. Критический радиус парового зародыша. Роль твердой стенки при парообразовании. Закономерности роста и отрыва паровых пузырей. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме. Режимы кипения. Основные факторы, влияющие на коэффициент теплоотдачи. Кризисы теплоотдачи и их природа. Расчет критической плотности теплового потока.	Всего аудиторных часов		
		3	3	2
		Онлайн		
		0	0	0
12	<b>Теплообмен при кипении в вынужденном потоке</b> Параметры двухфазного потока. Режимы течения и структура двухфазных смесей в каналах. Элементы гидродинамики двухфазных потоков, гидравлические сопротивления. Теплообмен при кипении в трубах. Кризисы теплообмена в условиях вынужденного течения. Расчетные рекомендации.	Всего аудиторных часов		
		3	3	2
		Онлайн		
		0	0	0
13	<b>Теплообмен при конденсации</b> Пленочная и капельная конденсация. Теплоотдача при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Ламинарный режим течения пленки конденсата, формула Нуссельта. Турбулентный режим. Влияние некоторых факторов на коэффициент теплоотдачи при конденсации. Интенсификация теплообмена при конденсации.	Всего аудиторных часов		
		3	3	1
		Онлайн		
		0	0	0
14	<b>Теплообмен излучением</b> Основные понятия и определения. Интегральное и монохроматическое излучение. Понятие абсолютно черного тела. Серые тела. Законы теплового излучения. Радиационные характеристики поверхностей. Уравнения лучистого теплообмена между телами. Угловые	Всего аудиторных часов		
		3	3	1
		Онлайн		
		0	0	0

	коэффициенты излучения. Теплообмен между плоскими параллельными поверхностями. Влияние экранов на теплообмен излучением. Лучистый теплообмен между поверхностями, произвольно расположенными в пространстве. Расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе двух тел.			
15	<b>Заключительная лекция</b> Актуальные задачи современной теории тепломассопереноса в тепловой и ядерной энергетике.	Всего аудиторных часов		
		3	3	1
		Онлайн		
		0	0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции
ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

#### ТЕМЫ ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>6 Семестр</i>
	<b>Занятия на лабораторных стендах:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теплоотдача и гидравлическое сопротивление при вынужденном движении воды в трубе (турбулентное течение).</li> <li>2. Определение теплоотдачи при свободном движении воздуха около горизонтального цилиндра.</li> <li>3. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции воздуха на поверхности цилиндра различной ориентации.</li> <li>4. Исследование теплоотдачи при естественной конвекции в нестационарном режиме.</li> <li>5. Теплоотдача при кипении воды в большом объеме.</li> <li>6. Определение критической плотности теплового потока при вынужденном движении недогретой до температуры насыщения воды в кольцевом канале.</li> <li>7. Определение коэффициента теплового излучения (степени черноты) твердого тела калориметрическим методом.</li> </ol>
	<b>Занятия с применением ЭВМ:</b> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Теплообмен при ламинарном течении жидкости вдоль пластины.</li> <li>2. Теплообмен при ламинарном течении жидкости в круглых трубах.</li> <li>3. Теплообмен при ламинарной естественной конвекции на вертикальной пластине.</li> <li>4. Теплообмен при пленочной конденсации пара на вертикальной пластине.</li> <li>5. Теплообмен излучением в замкнутой системе тел.</li> </ol>

#### ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
--------	---------------------------

	<i>6 Семестр</i>
1 - 3	<b>1. Теплообмен при внешнем обтекании тел.</b> 1. Теплообмен при внешнем обтекании тел.
4 - 6	<b>2. Теплообмен при течении жидкости в каналах.</b> 2. Теплообмен при течении жидкости в каналах.
7 - 9	<b>3. Теплообмен при естественной конвекции.</b> 3. Теплообмен при естественной конвекции.
10 - 12	<b>4. Теплообмен при кипении и конденсации.</b> 4. Теплообмен при кипении и конденсации.
13 - 15	<b>5. Теплообмен излучением.</b> 5. Теплообмен излучением.

## ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>6 Семестр</i>
1 - 2	<b>Теплообмен при ламинарном течении жидкости в каналах</b> Введите здесь подробОбщая характеристика и границы существования ламинарного режима течения жидкости в каналах. Критическое число Рейнольдса. Дифференциальное уравнение энергии и условия однозначности. Характеристика теплообмена на начальном термическом участке. Значения числа Нуссельта на участке стабилизированного теплообмена. Определение среднего по длине канала коэффициента теплоотдачи.ное описание пункта
3 - 4	<b>Турбулентный перенос в потоке жидкости</b> Основные закономерности турбулентного переноса количества движения и тепла. Коэффициенты турбулентного переноса. Дифференциальные уравнения движения и энергии турбулентного потока. Турбулентный пограничный слой на пластине. Гидродинамическая теория теплообмена (аналогия Рейнольдса).
5 - 6	<b>Теплоотдача при турбулентном течении жидкости в каналах</b> Профили скорости и температуры в турбулентном потоке жидкости. Методы решения задач теплообмена при турбулентном течении в каналах. Формулы для расчета теплоотдачи к жидкостям с умеренными числами Прандтля. Теплообмен жидких металлов. Влияние зависимости физических свойств жидкости от температуры на теплоотдачу. Расчет теплоотдачи в трубах некруглого поперечного сечения. Теплоотдача при продольном обтекании пучков стержней. Методы интенсификации теплообмена в тепловыделяющих сборках ядерных реакторов.
7 - 8	<b>Теплообмен при поперечном обтекании труб</b> Общая картина движения жидкости при поперечном обтекании труб. Влияние числа Рейнольдса на характер обтекания, отрыв пограничного слоя. Изменение коэффициента теплоотдачи по окружности трубы. Теплообмен при поперечном обтекании коридорных и шахматных пучков труб. Основные факторы, влияющие на коэффициент теплоотдачи. Расчетные рекомендации.
9 - 10	<b>Теплообмен при естественной конвекции</b> Естественная конвекция на поверхности теплообмена в неограниченном объеме жидкости. Расчет теплоотдачи при ламинарной естественной конвекции около вертикальной нагреваемой пластины. Теплоотдача при турбулентном режиме естественной конвекции. Теплоотдача при естественной конвекции в ограниченном объеме.
11	<b>Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме</b> Условия зарождения паровой фазы в перегретой жидкости. Критический радиус парового зародыша. Роль твердой стенки при парообразовании. Закономерности роста и отрыва паровых пузырей. Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме.

	Режимы кипения. Основные факторы, влияющие на коэффициент теплоотдачи. Кризисы теплоотдачи и их природа. Расчет критической плотности теплового потока.
12	<b>Теплообмен при кипении в вынужденном потоке</b> Параметры двухфазного потока. Режимы течения и структура двухфазных смесей в каналах. Элементы гидродинамики двухфазных потоков, гидравлические сопротивления. Теплообмен при кипении в трубах. Кризисы теплообмена в условиях вынужденного течения. Расчетные рекомендации.
13	<b>Теплообмен при конденсации</b> Пленочная и капельная конденсация. Теплоотдача при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Ламинарный режим течения пленки конденсата, формула Нуссельта. Турбулентный режим. Влияние некоторых факторов на коэффициент теплоотдачи при конденсации. Интенсификация теплообмена при конденсации.
14	<b>Теплообмен излучением</b> Основные понятия и определения. Интегральное и монохроматическое излучение. Понятие абсолютно черного тела. Серые тела. Законы теплового излучения. Радиационные характеристики поверхностей. Уравнения лучистого теплообмена между телами. Угловые коэффициенты излучения. Теплообмен между плоскими параллельными поверхностями. Влияние экранов на теплообмен излучением. Лучистый теплообмен между поверхностями, произвольно расположенными в пространстве. Расчет лучистого теплообмена в замкнутой системе двух тел.
15	<b>Заключительная лекция</b> Актуальные задачи современной теории тепломассопереноса в тепловой и ядерной энергетике.

## 6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс предусматривает широкое использование в учебном процессе активных форм проведения занятий (лекции, презентации, встречи с заведующими кафедр и ведущими учеными, разбор конкретных ситуаций, тестирование, выполнение и защита домашнего задания) в сочетании с внеаудиторной работой с целью формирования и развития профессиональных навыков студентов.

## 7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-2	З-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15

ПК-6	З-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-6	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-7	З-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-7	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-8	З-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-8	Э, КИ-8, КИ-15

### Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-ех балльной шкале	Оценка ECTS	Требования к уровню освоению учебной дисциплины
90-100	5 – «отлично»	A	Оценка «отлично» выставляется студенту, если он глубоко и прочно усвоил программный материал, исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно его излагает, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответе материал монографической литературы.
85-89	4 – «хорошо»	B	Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твёрдо знает материал, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос.
75-84		C	
70-74		D	
65-69	3 – «удовлетворительно»	E	Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только основного материала, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала.
60-64			
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	F	Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки. Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине.

## **8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. ЭИ I-70 Heat Conduction : Third Edition, Jiji, Latif M. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2009
2. 532 М67 Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок : , Митрофанова О.В., Москва: Физматлит, 2010
3. ЭИ М 67 Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок : учебное пособие, Митрофанова О. В., Москва: Физматлит, 2010
4. ЭИ П63 Оптимизация распределения энергосвечения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие для вузов, Якунин И.С., Постников В.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
5. ЭИ Л 69 Примеры и задачи по тепломассообмену : учебное пособие, Крайнов А. В. [и др.], Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. ЭИ Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : сборник задач: учебное пособие для вузов, Архипов В.В. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2010

### **ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:**

1. 621.039 3-15 Задачник по теплообмену в ЯЭУ : Учеб. пособие, Архипов В.В. [и др.], М.: МИФИ, 1992
2. 536 Л12 Лабораторный практикум по курсу "Теория теплообмена" : Учеб. пособие, Корсун А.С. [и др.], М.: МИФИ, 1993
3. 621.039 П63 Оптимизация распределения энергосвечения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие, Якунин И.С., Постников В.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. 536 Д26 Решение задач теплообмена на ЭВМ : Пособие к лаб. практикуму по курсу "Теория тепломассопереноса", Меринов И.Г., Деев В.И., М.: МИФИ, 2000
5. 536 Т33 Теория тепломассообмена : Учебник для вузов, , М.: Высш. школа, 1979
6. 621.039 К43 Тепломассообмен в ядерных энергетических установках : , Кириллов П.Л., Богословская Г.П., Москва: Энергоатомиздат, 2000
7. 621.039 К43 Тепломассообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов, Кириллов П.Л., Богословская Г.П., Москва: ИздАТ, 2008
8. 621.039 Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : сборник задач, Архипов В.В. [и др.], Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
9. 621.039 Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : учеб. пособие для вузов, Петухов Б.С. [и др.], М.: МЭИ, 2003



10. 536 И85 Теплопередача : Учебник для вузов, Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С., М.: Энергоиздат, 1981

11. 621.039 Д26 Теплопередача в ЯЭУ : учеб. пособие для вузов, Деев В.И., Москва: МИФИ, 2004

12. 621.039 Ф50 Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты : учебное пособие, Шмелев А.Н. [и др.], Долгопрудный: Интеллект, 2014

13. 536 Э41 Экспериментальные методы изучения процессов теплопередачи : (учебное пособие к лабораторному практикуму по курсу "Теория теплообмена"), , Москва: МИФИ, 2008

#### ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

#### LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. World-nuclear (<http://world-nuclear.org/>)
2. Росатом ([www.rosatom.ru](http://www.rosatom.ru))
3. Росэнергоатом (<http://www.rosenergoatom.ru>)
4. Урановый холдинг АРМЗ (<http://www.armz.ru>)
5. ТВЭЛ (<http://www.tvel.ru>)
6. ВЭБ элемент (<http://www.webelements.com>)

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

### **9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ**

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

### **10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ**

При изучении курса необходимо твердо усвоить основные механизмы и законы конвективного тепломассопереноса, хорошо знать критерии, определяющие перенос тепла и массы в тех или иных конкретных условиях (при естественном или вынужденном движении однофазной среды, при наличии фазовых превращений и т.д.). Используя в расчетах эмпирические формулы, нужно знать, что рекомендуемые зависимости справедливы только в том диапазоне изменения параметров, в котором они были подтверждены опытными данными. При анализе процессов кипения жидкости на поверхности нагрева очень важным является понятие критического теплового потока, так как в случае превышения его величины, как правило, происходит разрушение теплоотдающей стенки.

При выполнении расчетных работ следует уяснить поставленную задачу, правильно сформулировать ее математическое описание, знать способы решения записанной системы уравнений. При экспериментальном исследовании теплового процесса полезно подробно изучить методы измерения необходимых теплофизических величин или параметров процесса, нужно знать основные характеристики применяемых средств измерений и приборов.

## **11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ**

Лекционный курс строится по следующему плану: сначала вводятся и обсуждаются основные понятия и исходные положения, излагаются основные законы и уравнения. Потом рассматриваются методы, с помощью которых разбираются важнейшие приложения.

С целью выработки профессиональных компетенций студентов на лекциях и семинарских занятиях используется интерактивная форма проведения лекционных (20%) и семинарских занятий (75%). Активная форма проведения лекционных занятий предполагает, в частности, что студенты углубленно изучают по рекомендуемой преподавателем литературе те разделы лекционного курса, которые не рассматриваются детально на лекциях, но необходимы для дальнейшего изучения курса.

Автор(ы):

Корсун Александр Сергеевич, к.т.н., доцент

Рецензент(ы):

доцент Харитонов В.С., доцент Куценко К.В.,  
профессор Митрофанова О.В.