

ИНСТИТУТ ЯДЕРНОЙ ФИЗИКИ И ТЕХНОЛОГИЙ

КАФЕДРА ТЕПЛОФИЗИКИ

ОДОБРЕНО УМС ИЯФИТ

Протокол № 01/0821-573.1

от 31.08.2021 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ТЕПЛОМАССООБМЕН (HEAT AND MASS TRANSFER)

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.04.02 Ядерные физика и технологии

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
1	3	108	16	16	0	76	0	3
2	3	108	16	16	0	40	0	Э КП
Итого	6	216	32	32	0	32	116	0

АННОТАЦИЯ

The objectives of teaching this discipline at the 7th semester are:

- 1) a deeper and more complete presentation of the modern theory of heat and mass transfer, mainly convective and radiant energy transfer;
- 2) instilling in students the skills of applying the results of theory in practical calculations of heat and mass transfer processes occurring in nuclear power plants (NPPs).

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

The objectives of teaching this discipline at the 7th semester are:

- 1) a deeper and more complete presentation of the modern theory of heat and mass transfer, mainly convective and radiant energy transfer;
- 2) instilling in students the skills of applying the results of theory in practical calculations of heat and mass transfer processes occurring in nuclear power plants (NPPs).

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

The curriculum meets the requirements of OS NRNU MEPHI

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			
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-1.1 [1] - Способен создавать теоретические и математические модели, описывающих нейтронно-физические процессы в ЯЭУ <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-1.1[1] - Знать: теорию переноса нейтронов и анализ по методу Монте-Карло, основы реакторного эксперимента, теорию критичности, измерения основных реакторных параметров, механизм действия обратных

			<p>связей, анализ данных с приложением к теории ядерных реакторов; законы теплопереноса, теплофизические процессы в теплообменниках, парогенераторы и системы безопасности для отвода тепла на АЭС; численный анализ ядерных реакторов, реакторные материалы, основные функциональные характеристики АЭС, исследовательские и энергетические реакторы, а так же основы динамики ядерных реакторов; свойства материалов, сопротивление материалов и требования к материалам для атомных электростанций; стандартное программное обеспечение, конечно-разностные и другие методы решения обыкновенных дифференциальных уравнений второго порядка, стационарных краевых задач и оценки экспериментальных погрешностей. ; У-ПК-1.1[1] - Уметь: Вычислять основные характеристики случайных величин для решения задач, связанных с реальными процессами. создавать математические модели теплофизических и нейтронных процессов,</p>
--	--	--	---

			<p>протекающих в реакторных установках. ; В-ПК-1.1[1] - Владеть: аналитическими и численными методиками решения алгебраических и дифференциальных уравнений, методы обработки экспериментальных данных; методиками теоретического и численного исследования теплофизических и нейтронных процессов; современными методами вычислений для решения специальных задач.</p>
<p>Подготовка исходных данных, наладка экспериментальных стендов и установок для обеспечения выполнения научных исследований</p>	<p>Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий</p>	<p>ПК-1.2 [1] - Способен использовать технические средства для расчета и измерения основных физических характеристик ядерных реакторов и энергетических установок</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>З-ПК-1.2[1] - Знать: экспериментальные методики определения нейтронно-физических и теплогидравлических параметров, методы использования информационных технологий и численного анализа, методы определения проблемы и оценки полученных результатов; применение компьютерных кодов для математического моделирования и анализа теплофизических и нейтронно-физических процессов. ; У-ПК-1.2[1] - Уметь: использовать общепризнанные и распространённые в ядерной промышленности компьютерные коды для нахождения</p>

			<p>технических решений, оценивать достоверность этих решений; В-ПК-1.2[1] - Владеть: навыками планирования и проведения экспериментов, изготовления экспериментальных установок, организации научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ</p>
<p>Разработка методов повышения безопасности ядерных установок и материалов</p>	<p>Атомный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий</p>	<p>ПК-1.3 [1] - Способен анализировать безопасность и в дальнейшем совершенствовать ядерные энергетические установки</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>3-ПК-1.3[1] - Знать: методы обнаружения ионизирующего излучения, принципы и конструкции радиационной защиты, использование ALARA принципа и последствия радиационного облучения на здоровье человека; роль и значимость ядерной безопасности, практики и процедуры, обеспечивающие безопасную работу ЯЭУ; Роль регулирующих органов и действие регулирования при выполнении работ на АЭС; законодательные и регулятивные требования по безопасному и приемлемому с экологической точки зрения функционированию атомных электростанций. ; У-ПК-1.3[1] - Уметь: анализировать и обобщать полученную в ходе исследования</p>

			информацию ; В-ПК-1.3[1] - Владеть: методами конструирования и внедрения новых продуктов или систем, предназначенные для обеспечения радиационной защиты, ядерной безопасности и ядерной физической безопасности
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-4 [1] - Способен самостоятельно выполнять экспериментальные и теоретические исследования для решения научных и производственных задач <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-4[1] - Знать: цели и задачи проводимых исследований; основные методы и средства проведения экспериментальных и теоретических исследований; методы и средства математической обработки результатов экспериментальных данных ; У-ПК-4[1] - Уметь: применять методы проведения экспериментов; использовать математические методы обработки результатов исследований и их обобщения; оформлять результаты научно-исследовательских работ; В-ПК-4[1] - Владеть: навыками самостоятельного выполнения экспериментальных и теоретических исследований для решения научных и производственных задач
	проектный		
Формирование целей проекта (программы) решения задач,	Атомный ледокольный флот Атомные	ПК-1.4 [1] - Способен проводить системный анализ эффективности и	3-ПК-1.4[1] - Знать: классификацию атомных

<p>критериев и показателей достижения целей, построение структуры их взаимосвязей, выявление приоритетов решения задач с учетом всех аспектов деятельности</p>	<p>электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий</p>	<p>конкурентоспособности создаваемых ЯЭУ</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078</p>	<p>электростанций, главные их составляющие, включая контуры охлаждения, парогенераторы, паровые турбины, компоновку основного контура теплоносителя и вспомогательные системы; компоненты ядерного топливного цикла, открытый и замкнутый топливный циклы, классификация радиоактивных отходов, методы обращения и захоронения различных типов радиоактивных отходов, краткосрочные и долгосрочные последствия действия ионизирующего излучения ; У-ПК-1.4[1] - Уметь: проводить экономический анализ новых технологических процессов, систем или методик, которые могут найти применение на атомных электростанциях; В-ПК-1.4[1] - Владеть: навыками конструирования и внедрения новых продукты или системы, предназначенные для атомных электростанций</p>
<p>Подготовка элементов документации, проектов планов и программ проведения отдельных этапов работ</p>	<p>Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в</p>	<p>ПК-5 [1] - Способен проводить расчет и проектирование физических установок и приборов с использованием современных информационных</p>	<p>З-ПК-5[1] - Знать основные физические законы и стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок ;</p>

	области ядерной физики и технологий	технологий <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.011	У-ПК-5[1] - Уметь применять стандартные прикладные пакеты используемые при моделировании физических процессов и установок; В-ПК-5[1] - Владеть стандартными прикладными пакетами используемыми при моделировании физических процессов и установок
производственно-технологический			
Инженерно-физическое сопровождение эксплуатации активной зоны реакторной установки	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-1.5 [1] - Способен самостоятельно решать задачи, связанные с управлением нейтронно-физическими параметрами и эксплуатацией ЯЭУ <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	З-ПК-1.5[1] - Знать: основные типы систем на атомных электростанциях, назначение основных структурных элементов таких систем; общую роль систем управления в ядерных реакторах, линейные системы управления, функционирование регулирующих стержней, выгорающий и растворимый поглотители ; У-ПК-1.5[1] - Уметь: разрабатывать стратегии управления, помогающие атомной электростанции безопасно и экономично осуществлять выработку электроэнергии. ; В-ПК-1.5[1] - Владеть: навыками создания и внедрения новых правил или процедур для улучшения эффективности управления, повышения уровня качества и безопасности на предприятиях ядерной

			отрасли; навыками конструирования новые технические устройства, учитывая заданные требования
Инженерно-физическое сопровождение эксплуатации активной зоны реакторной установки	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера научных исследований в области ядерной физики и технологий	ПК-10 [1] - Способен решать инженерно-физические и экономические задачи с помощью пакетов прикладных программ <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.028	3-ПК-10[1] - Знать основные пакеты прикладных программ для решения инженерно-физических и экономических задач ; У-ПК-10[1] - Уметь осуществлять подбор прикладных программ для решения конкретных инженерно-физических и экономических задач; В-ПК-10[1] - Владеть навыками работы с прикладными программами для решения инженерно-физических и экономических задач

4. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

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

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>1 Семестр</i>						
1	The main mechanisms and laws of heat and mass transfer. Differential equations of heat and mass transfer. Stationary thermal conductivity and diffusion.	1-8	8/8/0	СК-8 (25)	25	СК-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2,

							В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Heat transfer during transverse flow around pipes	9-15	8/8/0	СК-15 (25)	25	СК-15	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1,

							В- ПК- 1.1, 3-ПК- 1.2, У- ПК- 1.2, В- ПК- 1.2, 3-ПК- 1.3, У- ПК- 1.3, В- ПК- 1.3, 3-ПК- 1.4, У- ПК- 1.4, В- ПК- 1.4, 3-ПК- 1.5, У- ПК- 1.5, В- ПК- 1.5, 3-ПК- 10, У- ПК- 10, В- ПК- 10, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 5, У-
--	--	--	--	--	--	--	---

							ПК-5, В- ПК-5
	<i>Итого за 1 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 1 Семестр				50	30	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-1.5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10,

							3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>2 Семестр</i>						
1	Heat transfer when boiling a liquid in a large volume	1-8	8/8/0	СК-8 (25)	25	СК-8	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-1.4, 3-ПК-1.5, У-ПК-1.5, В-ПК-

							1.5, 3-ПК-10, У-ПК-10, В-ПК-10, 3-ПК-4, У-ПК-4, В-ПК-4, 3-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Unsteady processes of heat conduction and diffusion. Introduction to the theory of convective heat and mass transfer. Boundary layer.	9-15	8/8/0	СК-15 (25)	25	СК-15	3-ПК-1.1, У-ПК-1.1, В-ПК-1.1, 3-ПК-1.2, У-ПК-1.2, В-ПК-1.2, 3-ПК-1.3, У-ПК-1.3, В-ПК-1.3, 3-ПК-1.4, У-ПК-1.4, В-ПК-

							1.4, 3-ПК- 1.5, У- ПК- 1.5, В- ПК- 1.5, 3-ПК- 10, У- ПК- 10, В- ПК- 10, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
	<i>Итого за 2 Семестр</i>		16/16/0		50		
	Контрольные мероприятия за 2 Семестр				50	Э, КП	3-ПК- 1.1, У- ПК- 1.1, В- ПК- 1.1, 3-ПК- 1.2, У- ПК- 1.2, В- ПК- 1.2, 3-ПК- 1.1, У- ПК- 1.1, В-

							ПК- 1.1, 3-ПК- 1.2, У- ПК- 1.2, В- ПК- 1.2, 3-ПК- 1.3, У- ПК- 1.3, В- ПК- 1.3, 3-ПК- 1.4, У- ПК- 1.4, В- ПК- 1.4, 3-ПК- 1.5, У- ПК- 1.5, В- ПК- 1.5, 3-ПК- 10, У- ПК- 10, В- ПК- 10, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 5, У- ПК-5,
--	--	--	--	--	--	--	--

							В- ПК-5, 3-ПК- 1.3, У- ПК- 1.3, В- ПК- 1.3, 3-ПК- 1.4, У- ПК- 1.4, В- ПК- 1.4, 3-ПК- 1.5, У- ПК- 1.5, В- ПК- 1.5, 3-ПК- 10, У- ПК- 10, В- ПК- 10, 3-ПК- 4, У- ПК-4, В- ПК-4, 3-ПК- 5, У- ПК-5, В- ПК-5
--	--	--	--	--	--	--	---

* – 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
ЗО	Зачет с оценкой
СК	Семестровый контроль
З	Зачет
Э	Экзамен
КП	Курсовой проект

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>1 Семестр</i>	16	16	0
1-8	The main mechanisms and laws of heat and mass transfer. Differential equations of heat and mass transfer. Stationary thermal conductivity and diffusion.	8	8	0
1 - 3	Heat transfer during laminar fluid flow in channels General characteristics and boundaries of the existence of the laminar regime of fluid flow in channels. The critical Reynolds number. Differential energy equation and uniqueness conditions. Heat transfer characteristic at the initial thermal section. Nusselt numbers in the stabilized heat transfer region. Determination of the average heat transfer coefficient over the channel length.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 6	Turbulent transport in a fluid stream The main laws of turbulent transfer of momentum and heat. Turbulent transfer coefficients. Differential equations of motion and energy of a turbulent flow. Turbulent boundary layer on the plate. Hydrodynamic theory of heat transfer (Reynolds analogy).	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Heat transfer during turbulent fluid flow in channels Velocity and temperature profiles in a turbulent fluid flow. Methods for solving heat transfer problems in turbulent flow in channels. Formulas for calculating heat transfer to liquids with moderate Prandtl numbers. Heat transfer of liquid metals. The effect of the dependence of the physical properties of a liquid on temperature on heat transfer. Calculation of heat transfer in pipes of non-circular cross section. Heat transfer during longitudinal flow around the bundles of rods. Methods for intensifying heat transfer in fuel assemblies of nuclear reactors.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Heat transfer during transverse flow around pipes	8	8	0
9 - 12	Heat transfer during transverse flow around pipes The general picture of fluid motion during transverse flow around pipes. The influence of the Reynolds number on the nature of the flow around, separation of the boundary layer. Change in heat transfer coefficient around the circumference of the pipe. Heat transfer during transverse flow around corridor and chess pipe bundles. The main factors affecting the heat transfer coefficient. Estimated recommendations.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	Natural convection heat transfer	Всего аудиторных часов		

	Natural convection on a heat exchange surface in an unlimited volume of liquid. Calculation of heat transfer during laminar natural convection near a vertical heated plate. Heat transfer in turbulent mode of natural convection. Heat transfer in natural convection in a limited volume.	4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
	<i>2 Семестр</i>	16	16	0
1-8	Heat transfer when boiling a liquid in a large volume	8	8	0
1 - 3	Heat transfer when boiling a liquid in a large volume The conditions for the nucleation of the vapor phase in an overheated liquid. The critical radius of the vapor embryo. The role of the solid wall during vaporization. Patterns of growth and separation of steam bubbles. Heat transfer when boiling a liquid in a large volume. Boiling modes. The main factors affecting the heat transfer coefficient. Heat transfer crises and their nature. Calculation of critical heat flux density.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
4 - 6	Boil heat transfer in forced flow Two-phase flow parameters. Flow regimes and structure of two-phase mixtures in channels. Elements of hydrodynamics of two-phase flows, hydraulic resistance. Heat transfer during boiling in pipes. Heat exchange crises in forced flow conditions. Estimated recommendations.	Всего аудиторных часов		
		3	3	0
		Онлайн		
		0	0	0
7 - 8	Condensation heat transfer Film and drip condensation. Heat transfer during film condensation of stationary steam on a vertical wall. Laminar flow regime of a condensate film, Nusselt formula. Turbulent mode. The influence of some factors on the heat transfer coefficient during condensation. Intensification of heat transfer during condensation.	Всего аудиторных часов		
		2	2	0
		Онлайн		
		0	0	0
9-15	Unsteady processes of heat conduction and diffusion. Introduction to the theory of convective heat and mass transfer. Boundary layer.	8	8	0
9 - 12	Radiation heat transfer Basic concepts and definitions. Integral and monochromatic radiation. The concept of a completely black body. Gray bodies. The laws of thermal radiation. Radiation characteristics of surfaces. The equations of radiant heat transfer between bodies. Angular emissivity. Heat transfer between flat parallel surfaces. The effect of screens on heat transfer by radiation. Radiant heat transfer between surfaces arbitrarily located in space. Calculation of radiant heat transfer in a closed system of two bodies.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	Final lecture Actual problems of the modern theory of heat and mass transfer in thermal and nuclear energy.	Всего аудиторных часов		
		4	4	0
		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>1 Семестр</i>
	<p>Computer classes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Heat transfer during laminar fluid flow along the plate. 2. Heat transfer during laminar fluid flow in round pipes. 3. Heat transfer during laminar convection on a vertical plate. 4. Heat transfer during film condensation of steam on a vertical plate. 5. Heat transfer by radiation in a closed system tel.
	<p>Classes at the laboratory stands:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Heat transfer and hydraulic resistance during forced movement of water in a pipe (turbulent flow). 2. Determination of heat transfer in the free movement of air near a horizontal cylinder. 3. The study of heat transfer during natural convection of air on the surface of a cylinder of various orientations. 4. The study of heat transfer during natural convection in non-stationary mode. 5. Heat transfer when boiling water in a large volume. 6. Determination of the critical density of the heat flux during the forced movement of water not heated up to the saturation temperature in the annular channel. 7. Determination of the coefficient of thermal radiation (degree of blackness) of a solid by the calorimetric method.
	<i>2 Семестр</i>
	<p>Computer classes:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Heat transfer during laminar fluid flow along the plate. 2. Heat transfer during laminar fluid flow in round pipes. 3. Heat transfer during laminar convection on a vertical plate. 4. Heat transfer during film condensation of steam on a vertical plate. 5. Heat transfer by radiation in a closed system tel.
	<p>Classes at the laboratory stands:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Heat transfer and hydraulic resistance during forced movement of water in a pipe (turbulent flow). 2. Determination of heat transfer in the free movement of air near a horizontal cylinder. 3. The study of heat transfer during natural convection of air on the surface of a cylinder of various orientations. 4. The study of heat transfer during natural convection in non-stationary mode. 5. Heat transfer when boiling water in a large volume.

	<p>6. Determination of the critical density of the heat flux during the forced movement of water not heated up to the saturation temperature in the annular channel.</p> <p>7. Determination of the coefficient of thermal radiation (degree of blackness) of a solid by the calorimetric method.</p>
--	---

ТЕМЫ ПРАКТИЧЕСКИХ ЗАНЯТИЙ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
1 - 3	1. Heat transfer with external flow around the bodies. 1. Heat transfer with external flow around the bodies.
4 - 6	2. Heat transfer during fluid flow in the channels. 2. Heat transfer during fluid flow in the channels.
7 - 9	3. Heat transfer during natural convection. 3. Heat transfer during natural convection.
10 - 12	4. Heat transfer during boiling and condensation. 4. Heat transfer during boiling and condensation.
13 - 15	5. Heat transfer by radiation. 5. Heat transfer by radiation.
	<i>2 Семестр</i>
1 - 3	1. Heat transfer with external flow around the bodies. 1. Heat transfer with external flow around the bodies.
4 - 6	2. Heat transfer during fluid flow in the channels. 2. Heat transfer during fluid flow in the channels.
7 - 9	3. Heat transfer during natural convection. 3. Heat transfer during natural convection.
10 - 12	4. Heat transfer during boiling and condensation. 4. Heat transfer during boiling and condensation.
13 - 15	5. Heat transfer by radiation. 5. Heat transfer by radiation.

ТЕМЫ СЕМИНАРОВ

Недели	Темы занятий / Содержание
	<i>1 Семестр</i>
1 - 2	<p>Теплообмен при ламинарном течении жидкости в каналах</p> <p>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</p>
3 - 4	<p>Турбулентный перенос в потоке жидкости</p> <p>Основные закономерности турбулентного переноса количества движения и тепла. Коэффициенты турбулентного переноса. Дифференциальные уравнения</p>

	<p>движения и энергии турбулентного потока. Турбулентный пограничный слой на пластине. Гидродинамическая теория теплообмена (аналогия Рейнольдса).</p>
5 - 6	<p>Теплоотдача при турбулентном течении жидкости в каналах 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.</p>
7 - 8	<p>Теплообмен при поперечном обтекании труб 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.</p>
9 - 10	<p>Теплообмен при естественной конвекции 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.</p>
11	<p>Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме 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.</p>
12	<p>Теплообмен при кипении в вынужденном потоке 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.</p>
13	<p>Теплообмен при конденсации Пленочная и капельная конденсация. Теплоотдача при пленочной конденсации неподвижного пара на вертикальной стенке. Ламинарный режим течения пленки</p>

	конденсата, формула Нуссельта. Турбулентный режим. Влияние некоторых факторов на коэффициент теплоотдачи при конденсации. Интенсификация теплообмена при конденсации.
14	Теплообмен излучением 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	Заключительная лекция Актуальные задачи современной теории теплопереноса в тепловой и ядерной энергетике.
	<i>2 Семестр</i>
1 - 2	Теплообмен при ламинарном течении жидкости в каналах 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	Турбулентный перенос в потоке жидкости 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	Теплоотдача при турбулентном течении жидкости в каналах 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	Теплообмен при поперечном обтекании труб

	<p>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.</p>
9 - 10	<p>Теплообмен при естественной конвекции 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.</p>
11	<p>Теплообмен при кипении жидкости в большом объеме 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.</p>
12	<p>Теплообмен при кипении в вынужденном потоке 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.</p>
13	<p>Теплообмен при конденсации 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.</p>
14	<p>Теплообмен излучением 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.</p>
15	Заключительная лекция

5. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

In accordance with the requirements of OS NRNU MEPhI, the course implements a competency-based approach and provides for the wide use in the educational process of active forms of conducting classes (lectures, presentations, meetings with department heads and leading scientists, analysis of specific situations, testing, implementation and protection of home tasks) in combination with extracurricular work with the goal of forming and developing students' professional skills.

6. 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)	Аттестационное мероприятие (КП 2)
ПК-1.1	З-ПК-1.1	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.1	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.1	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
ПК-1.2	З-ПК-1.2	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.2	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.2	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
ПК-1.3	З-ПК-1.3	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.3	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.3	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
ПК-1.4	З-ПК-1.4	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.4	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.4	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
ПК-1.5	З-ПК-1.5	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-1.5	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-1.5	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
ПК-10	З-ПК-10	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-10	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-10	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
ПК-4	З-ПК-4	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-4	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-4	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
ПК-5	З-ПК-5	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	У-ПК-5	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-15
	В-ПК-5	ЗО, СК-8, СК-15	КП, Э, СК-8, СК-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 – <i>«отлично»</i>	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 – <i>«хорошо»</i>	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 – <i>«удовлетворительно»</i>	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 – <i>«неудовлетворительно»</i>	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.

7. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ I-70 Heat Conduction : Third Edition, Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg,, 2009
2. ЭИ М 67 Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок : учебное пособие, Москва: Физматлит, 2010

3. 621.039 П63 Оптимизация распределения энерговыделения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
4. ЭИ П63 Оптимизация распределения энерговыделения в активной зоне ядерного реактора : учебное пособие для вузов, Москва: НИЯУ МИФИ, 2012
5. ЭИ Л 69 Примеры и задачи по теплообмену : учебное пособие, Санкт-Петербург: Лань, 2022
6. ЭИ Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : сборник задач: учебное пособие для вузов, В. В. Архипов [и др.] ; ред. В. И. Деев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
7. 532 М67 Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок : , О. В. Митрофанова, Москва: Физматлит, 2010

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 Ф50 Физико-технические основы современной ядерной энергетики. Перспективы и экологические аспекты : учебное пособие, Долгопрудный: Интеллект, 2014
2. 621.039 Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : учеб. пособие для вузов, Б. С. Петухов [et al.], М.: МЭИ, 2003
3. 621.039 З-15 Задачник по теплообмену в ЯЭУ : Учеб. пособие, В. В. Архипов [и др.], М.: МИФИ, 1992
4. 621.039 Т34 Теплообмен в ядерных энергетических установках : сборник задач, В. В. Архипов [и др.] ; ред. : В. И. Деев, Москва: НИЯУ МИФИ, 2010
5. 536 Д26 Решение задач теплообмена на ЭВМ : Пособие к лаб. практикуму по курсу "Теория теплопереноса", В. И. Деев, И. Г. Меринов, М.: МИФИ, 2000
6. 536 И85 Теплопередача : Учебник для вузов, В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел, М.: Энергоиздат, 1981
7. 621.039 Д26 Теплопередача в ЯЭУ : учеб. пособие для вузов, В.И.Деев, Москва: МИФИ, 2004
8. 536 Л12 Лабораторный практикум по курсу "Теория теплообмена" : Учеб. пособие, Деев В.И., Корсун А.С., Одинцов А.А., Похвалов Ю.Е., М.: МИФИ, 1993
9. 621.039 К43 Теплообмен в ядерных энергетических установках : , П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская, Москва: Энергоатомиздат, 2000
10. 621.039 К43 Теплообмен в ядерных энергетических установках : учебное пособие для вузов, П. Л. Кириллов, Г. П. Богословская, Москва: ИздАТ, 2008
11. 536 Т33 Теория теплообмена : Учебник для вузов, Под ред. А.И. Леонтьева, М.: Высш. школа, 1979

12. 536 Э41 Экспериментальные методы изучения процессов теплопередачи : (учебное пособие к лабораторному практикуму по курсу "Теория теплообмена"), ред. : В. И. Деев, 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)
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/>

8. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

9. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

When studying the course, it is necessary to firmly grasp the basic mechanisms and laws of convective heat and mass transfer, to know the criteria that determine the transfer of heat and mass under certain specific conditions (during natural or forced movement of a single-phase medium, in the presence of phase transformations, etc.). Using empirical formulas in the calculations, you need to know that the recommended dependencies are valid only in the range of parameters in which they were confirmed by experimental data. When analyzing the processes of liquid boiling on a heating surface, the concept of a critical heat flux is very important, since if its value is exceeded, as a rule, the heat transfer wall is destroyed.

When performing the calculation work, one should understand the task, formulate its mathematical description correctly, know the methods of solving the recorded system of equations, be able to use modern computing tools, existing software systems for computers. In an experimental study of a thermal process, it is useful to study in detail the methods for measuring the necessary thermophysical quantities or process parameters; you need to know the main characteristics of the measuring instruments and instruments used. The results of the experiments must necessarily contain an estimate of the errors of the measurements. Based on the results of the work, a report is drawn up, which includes all the information received in the form of diagrams, formulas, tables, graphs, and also contains a conclusion or conclusions.

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

В помощь лектору, а также преподавателям, ведущим практические и лабораторные занятия по курсу, рекомендуется использовать следующие учебные пособия, методические и справочные материалы.

При чтении лекций по курсу –

1. Деев В.И. Теплопередача в ЯЭУ: Учебное пособие. – М.: МИФИ, 2004. – 188 с.
2. Теплообмен в ядерных энергетических установках: Учебное пособие для вузов. – 3-е изд., перераб. и доп. / Б.С. Петухов, Л.Г. Генин, С.А. Ковалев, С.Л. Соловьев. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 548 с.
3. Кириллов П.Л., Богословская Г.П. Тепломассообмен в ядерных энергетических установках: Учебное пособие для вузов; 2-е изд., перераб. – М.: ИздАт, 2008. – 256 с.
4. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача: Учебник для вузов. – М.: Энергоиздат, 1981. – 417 с.
5. Теория тепломассобмена: Учебник для вузов / С.И. Исаев, И.А. Кожин, В.И. Кофанов и др.; Под ред. А.И. Леонтьева. – М.: Высшая школа, 1979. – 495 с.

При проведении практических занятий –

1. Задачник по теплообмену в ЯЭУ: Учебное пособие / В.В. Архипов, В.И. Деев, А.С. Корсун, Ю.Е. Похвалов. – М.: МИФИ, 1992. – 72 с.
2. Краснощеков Е.А., Сукомел А.С. Задачник по теплопередаче. □ М.: «Энергия», 1980. □ 288 с.
3. Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Бобков В.П. Справочник по теплогидравлическим расчетам (ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы). Под общ. ред. П.Л. Кириллова. □ 2-е изд., перераб. и доп. □ М.: Энергоатомиздат, 1990. □ 360 с.
4. Кириллов П.Л., Терентьева М.И., Денискина Н.Б. Теплофизические свойства материалов ядерной техники: Учебное справочное пособие для студентов / Под общ. ред. П.Л. Кириллова. □ 2-е изд., перераб. и доп. □ М.: ИздАт, 2007. □ 200 с.

При проведении лабораторных занятий –

1. Деев В.И., Меринов И.Г. Решение задач теплообмена на ЭВМ: Пособие к лабораторному практикуму по курсу «Теория тепломассопереноса». – М.: МИФИ, 2000. – 68 с.
2. Лабораторный практикум по курсу «Теория теплообмена» / В.И. Деев, А.С. Корсун, А.А. Одинцов, Ю.Е. Похвалов. – М.: МИФИ, 1993. – 68 с.
3. Экспериментальные методы изучения процессов теплопередачи (пособие к лабораторному практикуму) / В.И. Деев, А.С. Корсун, В.А. Корсун и др.; Под ред. проф. В.И. Деева. – М.: МИФИ, 2008. – 112 с.

Автор(ы):

Федосеев Вячеслав Николаевич, к.т.н.

Рецензент(ы):

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