

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

ГИДРОДИНАМИКА ЯДЕРНЫХ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Направление подготовки
(специальность)

[1] 14.05.01 Ядерные реакторы и материалы

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, экз./зач./КР/КП
7	2	72	32	0	0		40	0	3
Итого	2	72	32	0	0	0	40	0	

АННОТАЦИЯ

Целью дисциплины является обучение студентов основным методам теплофизических измерений.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью освоения учебной дисциплины является обучение студентов основным методам теплофизических измерений.

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

- контроль и управление процессом приобретения обучающимися знаний, умений и навыков предусмотренных в рамках данного курса;
- контроль и оценка степени освоения общекультурных, общепрофессиональных и профессиональных компетенций предусмотренных в рамках данного курса;
- обеспечение соответствия результатов обучения задачам будущей профессиональной деятельности через совершенствование традиционных и внедрение инновационных методов обучения в образовательный процесс в рамках данного курса.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

В результате освоения данной дисциплины студент должен знать основные понятия, методы, законы и уравнения гидродинамики, а также их основные следствия применительно к различным гидродинамическим системам, включая ядерные энергетические установки.

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	ПК-1 [1] - способен создавать теоретические и математические модели, описывающие нейтронно-физические процессы в реакторах,	З-ПК-1[1] - Знать нейтронно-физические процессы в реакторах, процессы гидродинамики и тепломассопереноса в

	научных исследований в области ядерной физики и технологий	процессы гидродинамики и теплопереноса в активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	активных зонах или воздействие ионизирующего излучения на материалы, человека и объекты окружающей среды, системы учета, контроля ядерных материалов ; У-ПК-1[1] - Уметь создавать теоретические и математические модели в профессиональной области ; В-ПК-1[1] - Владеть навыками работы с современными расчетными программными средствами
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-2 [1] - способен к созданию новых методов расчета современных реакторных установок и физических устройств, методов исследования теплофизических процессов и свойств реакторных материалов и теплоносителей; разработке новых систем преобразования тепловой и ядерной энергии в электрическую, методов и методик оценки количественных характеристик ядерных материалов <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	3-ПК-2[1] - Знать методы исследования и расчета процессов, происходящих в реакторных установках ; У-ПК-2[1] - Уметь рассчитывать и проводить исследования процессов, протекающих в реакторных установках ; В-ПК-2[1] - Владеть навыками применения информационных технологий при разработке новых установок, материалов и приборов
Проведение расчетных исследований и измерений физических характеристик на экспериментальных стендах и установках	Атомный ледокольный флот Атомные электрические станции Плавучая АЭС Сфера	ПК-3 [1] - способен использовать фундаментальные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных	3-ПК-3[1] - Знать основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов,

	научных исследований в области ядерной физики и технологий	реакторов, термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса в объеме достаточном для самостоятельного комбинирования и синтеза идей, творческого самовыражения <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 24.078	термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса ; У-ПК-3[1] - Уметь применять основные законы в области физики атомного ядра и частиц, ядерных реакторов, термодинамики, гидродинамики и тепломассопереноса практической деятельности и исследовательской работе; В-ПК-3[1] - Владеть навыками анализа, синтеза и нахождения закономерностей при обработке экспериментальных данных
--	--	---	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)	Воспитательный потенциал дисциплин
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/ Практи. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>7 Семестр</i>						
1	Введение. Уравнение движения жидкости. Модели жидкости.	1-8	16/0/0		25	КИ-8	З-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, З-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, З-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

2	Ламинарное течение жидкости. Турбулентное течение жидкости.	9-15	16/0/0		25	КИ-15	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3
	<i>Итого за 7 Семестр</i>		32/0/0		50		
	Контрольные мероприятия за 7 Семестр				50	3	3-ПК-1, У-ПК-1, В-ПК-1, 3-ПК-2, У-ПК-2, В-ПК-2, 3-ПК-3, У-ПК-3, В-ПК-3

* – 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
З	Зачет

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек., час.	Пр./сем., час.	Лаб., час.
	<i>7 Семестр</i>	32	0	0
1-8	Введение. Уравнение движения жидкости. Модели жидкости.	16	0	0
1 - 2	Введение. Задачи гидродинамики ЯЭУ. Способы описания движения жидкости. Теоретические и экспериментальные методы исследования в гидродинамике. Современные проблемы гидродинамики.	Всего аудиторных часов		
		6	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
3 - 4	Уравнение движения жидкости. Поле скоростей силы действующей в потоке жидкости. Уравнения сохранения вещества, импульса, моментов импульса, энергии, уравнение состояния.	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
5 - 6	Модели жидкости. Невязкая жидкость. Уравнение Эйлера, уравнение Бернулли. Безвихревое движение невязкой несжимаемой жидкости. Потенциал скорости. Потенциальное обтекание тел. Ньютоновская жидкость. Закон вязкого трения	Всего аудиторных часов		
		5	0	0
		Онлайн		
		0	0	0

	Ньютона. Уравнение Навье-Стокса. Не ньютоновские жидкости. Условия однозначности в гидродинамике.			
9-15	Ламинарное течение жидкости. Турбулентное течение жидкости.	16	0	0
7 - 8	Методы анализа размерностей и подобия. Размерные и безразмерные величины. П - теорема. Приведение уравнений к безразмерному виду. Подобие физических процессов. Критерии гидродинамического подобия. Моделирование.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
9 - 10	Ламинарное течение жидкости. Вязкостный режим течения. Понятие о пограничном слое. Уравнения ламинарного пограничного слоя. Пограничный слой на пластине. Особенности течения в пограничном слое с продольным градиентом давления. Установившееся ламинарное течение жидкости в трубах. Полное гидравлическое сопротивление трубы и канала.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
11 - 12	Турбулентное течение жидкости в каналах. Неустойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности. Уравнения Рейнольдса осредненного турбулентного движения. Полуэмпирическая теория турбулентности Прандтля. Универсальный профиль скорости для течений вблизи гладких и шероховатых поверхностей. Турбулентный пограничный слой. Гидравлическое сопротивление гладких и шероховатых труб. Методы расчета установившихся турбулентных течений в каналах с произвольной формой поперечного сечения. Местные гидравлические сопротивления. Течение жидкости в пористой среде.	Всего аудиторных часов		
		4	0	0
		Онлайн		
		0	0	0
13 - 15	Пограничный слой сжимаемого газа при высоких скоростях течения. Уравнения высокоскоростного погрешного слоя. Частные решения уравнения энергии. Адиабатная температура стенки, коэффициент восстановления. Распределение скоростей и температур в пограничном слое. Трение и теплоотдача.	Всего аудиторных часов		
		4	0	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 СЕМИНАРОВ

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

	<i>7 Семестр</i>
1 - 2	Введение. Задачи гидродинамики ЯЭУ. Способы описания движения жидкости. Теоретические и экспериментальные методы исследования в гидродинамике. Современные проблемы гидродинамики.
3 - 4	Уравнение движения жидкости. Поле скоростей силы действующей в потоке жидкости. Уравнения сохранения вещества, импульса, моментов импульса, энергии, уравнение состояния.
5 - 6	Модели жидкости. Невязкая жидкость. Уравнение Эйлера, уравнение Бернулли. Безвихревое движение невязкой несжимаемой жидкости. Потенциал скорости. Потенциальное обтекание тел. Ньютоновская жидкость. Закон вязкого трения Ньютона. Уравнение Навье-Стокса. Не ньютоновские жидкости. Условия однозначности в гидродинамике.
7 - 8	Методы анализа размерностей и подобия. Размерные и безразмерные величины. П - теорема. Приведение уравнений к безразмерному виду. Подобие физических процессов. Критерии гидродинамического подобия. Моделирование.
9 - 10	Ламинарное течение жидкости. Вязкостный режим течения. Понятие о пограничном слое. Уравнения ламинарного пограничного слоя. Пограничный слой на пластине. Особенности течения в пограничном слое с продольным градиентом давления. Установившееся ламинарное течение жидкости в трубах. Полное гидравлическое сопротивление трубы и канала.
11 - 12	Турбулентное течение жидкости в каналах. Неустойчивость ламинарного течения и возникновение турбулентности. Уравнения Рейнольдса осредненного турбулентного движения. Полуэмпирическая теория турбулентности Прандтля. Универсальный профиль скорости для течений вблизи гладких и шероховатых поверхностей. Турбулентный пограничный слой. Гидравлическое сопротивление гладких и шероховатых труб. Методы расчета установившихся турбулентных течений в каналах с произвольной формой поперечного сечения. Местные гидравлические сопротивления. Течение жидкости в пористой среде.
13 - 15	Пограничный слой сжимаемого газа при высоких скоростях течения. Уравнения высокоскоростного погрешного слоя. Частные решения уравнения энергии. Адиабатная температура стенки, коэффициент восстановления. Распределение скоростей и температур в пограничном слое. Трение и теплоотдача.

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Курс реализует компетентностный подход и 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-1	З-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-1	З, КИ-8, КИ-15
ПК-2	З-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-2	З, КИ-8, КИ-15
ПК-3	З-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3	З, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3	З, 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 Н99 Hydrodynamic and Mass Transport at Freshwater Aquatic Interfaces : 34th International School of Hydraulics, , Cham: Springer International Publishing, 2016
2. 621.039 В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
3. ЭИ В92 Безопасность и задачи инженерной поддержки эксплуатации ядерных энергетических установок с ВВЭР : учебное пособие, Выговский С.Б., Рябов Н.О., Чернов Е.В., Москва: НИЯУ МИФИ, 2013
4. ЭИ Д 13 Лекции по гидродинамике : учебное пособие, Давыдова М. А., Москва: Физматлит, 2011
5. ЭИ П64 Элементы гидродинамики : учебное пособие для вузов, Федоров В.Ф., Потанин Е.П., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 621.039 К69 Гидродинамика ЯЭУ : сборник задач и упражнений, Корсун А.С., Митрофанова О.В., Маслов Ю.А., Москва: МИФИ, 2008
2. ЭИ К 69 Гидродинамика ЯЭУ : сборник задач и упражнений, Корсун А.С., Маслов Ю.А., Митрофанов О.В., Москва: МИФИ, 2008
3. 532 К43 Гидродинамические расчеты : справочное учебное пособие , Кириллов П.Л., Юрьев Ю.С., Москва: ИздАТ, 2009
4. 532 Л72 Механика жидкости и газа : Учебник для вузов, Лойцянский Л.Г., М.: Наука, 1987
5. 532 Л72 Механика жидкости и газа : Учебник для вузов, Лойцянский Л.Г., М.: Дрофа, 2003
6. 621.039 М31 Моделирование теплогидравлических процессов в реакторных установках и элементах теплообменного оборудования ЯЭУ : лабораторный практикум: учебное пособие для вузов, Рябов Н.О., Меринов И.Г., Маслов Ю.А., Москва: МИФИ, 2008
7. 621.039 С74 Справочник по теплогидравлическим расчетам в ядерной энергетике Т.2 Ядерные реакторы, теплообменники, парогенераторы, , Москва: ИздАТ, 2013
8. 53 Л22 Теоретическая физика Т.6 Гидродинамика, Ландау Л.Д., Москва: Физматлит, 2006

9. 621.039 Д26 Теплопередача в ЯЭУ : учеб. пособие для вузов, Деев В.И., Москва: МИФИ, 2004

10. 532 П64 Элементы гидродинамики : учебное пособие для вузов, Федоров В.Ф., Потанин Е.П., Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

1. Росатом (www.rosatom.ru)
2. Росэнергоатом (<http://www.rosenergoatom.ru>)
3. ТВЭЛ (<http://www.tvel.ru>)
4. 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 данного учебного курса необходимо твердо усвоить основные механизмы и законы конвективного теплопереноса, 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. Результаты опытов должны обязательно содержать оценку погрешностей проведенных измерений. По итогам работы оформляется отчет, который включает всю полученную информацию в виде схем, формул, таблиц, графиков, а также содержит заключение или выводы.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

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

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.