

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

Направление подготовки/специальность: 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика

Наименование образовательной программы: Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная


Рабочая программа дисциплины
ТЕПЛООБМЕН И ГИДРОДИНАМИКА В ТЕРМОЯДЕРНЫХ
УСТАНОВКАХ

Блок:	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
Часть образовательной программы:	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.Ч.01
Трудоемкость в зачетных единицах:	2 семестр - 6;
Часов (всего) по учебному плану:	216 часов
Лекции	2 семестр - 32 часа;
Практические занятия	2 семестр - 32 часа;
Лабораторные работы	2 семестр - 16 часов;
Консультации	2 семестр - 2 часа;
Самостоятельная работа	2 семестр - 133,5 часа;
в том числе на КП/КР	не предусмотрено учебным планом
Иная контактная работа	проводится в рамках часов аудиторных занятий
включая: Лабораторная работа Контрольная работа Доклад	
Промежуточная аттестация:	
Экзамен	2 семестр - 0,5 часа;

Москва 2023

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:


Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов


СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лукашевский М.В.
	Идентификатор	Re4b7e3cb-LukashevskyMV-6844ab

М.В.
Лукашевский

Заведующий выпускающей
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Дедов А.В.
	Идентификатор	R72c90f41-DedovAV-d71cc7f4

А.В. Дедов

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Цель освоения дисциплины: Изучение теплогидравлических процессов и методов их моделирования в задачах термоядерной и ядерной энергетики.

Задачи дисциплины

- Освоение методов охлаждения и термостабилизации элементов конструкций термоядерных установок и реакторов.;
- Освоение методов экспериментального и расчетного моделирования теплообмена и гидродинамики в элементах конструкций термоядерных установок и реакторов.;
- Приобретение навыков теплогидравлических расчетов реальных конструкций..

Формируемые у обучающегося **компетенции** и запланированные **результаты обучения** по дисциплине, соотнесенные с **индикаторами достижения компетенций**:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
ПК-2 Способен применять расчетно-теоретические методы и экспериментальные навыки исследования процессов, используемых в атомной энергетике, термоядерных исследованиях, плазменных установках	ИД-1ПК-2 Владеет методами моделирования физических процессов в элементах конструкций термоядерных и ядерных установок и реакторов	<p>знать:</p> <ul style="list-style-type: none">- Основы теории одно и двухфазного теплообмена, гидродинамики.Проблемы и процессы охлаждения и термостабилизации элементов термоядерных реакторов и установок, методы интенсификации теплообмена;- Основные конструктивные элементы систем теплообмена термоядерных и гибридных установок и реакторов. <p>Методы экспериментального и численного моделирования задач течения и теплообмена в термоядерных и гибридных установках и реакторах.</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none">- Планировать и проводить экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств;- Рассчитывать тепловые режимы работы теплообменного и тепловоспринимающего оборудования термоядерных реакторов и установок. <p>Выполнять численное моделирование гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств.</p>

2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Прикладная физика плазмы и управляемый термоядерный синтез (далее – ОПОП), направления подготовки 14.04.01 Ядерная энергетика и теплофизика, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать – современные методы математического моделирования разнообразных физических процессов; – основные информационные технологии для решения задач моделирования физических процессов, включая постановку расчетных задач, для анализа результатов и представления их в визуальной графической форме в виде диаграмм, графиков, чертежей; – иностранный язык в объеме, необходимом для осуществления коммуникации в бытовой и профессиональной сферах; – методы экспериментального исследования теплогидравлических и электромагнитных процессов; – возможности современных измерительных систем.

- уметь – составлять алгоритм решения поставленной задачи, запрограммировать его или подобрать уже известный программный продукт, использовать массив полученных результатов для представления их в наиболее удобной для анализа форме; – применять основные методы, способы и средства получения, хранения, переработки информации, использовать компьютер как средство вычисления и обработки информации; – осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию с помощью с библиографических и реферативных баз данных; – переводить профессиональные тексты с иностранного языка на русский; – самостоятельно выбирать тип приборов для решения поставленной экспериментальной задачи;

Результаты обучения, полученные при освоении дисциплины, необходимы при выполнении выпускной квалификационной работы.

3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

3.1 Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 6 зачетных единиц, 216 часов.

№ п/п	Разделы/темы дисциплины/формы промежуточной аттестации	Всего часов на раздел	Семестр	Распределение трудоемкости раздела (в часах) по видам учебной работы										Содержание самостоятельной работы/ методические указания
				Контактная работа							СР			
				Лек	Лаб	Пр	Консультация		ИКР		ПА	Работа в семестре	Подготовка к аттестации /контроль	
КПР	ГК	ИККП	ТК											
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	Термоядерные экспериментальные установки и реакторы. Системы охлаждения и термостабилизации.	17	2	4	2	2	-	-	-	-	-	9	-	<p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Термоядерные экспериментальные установки и реакторы. Системы охлаждения и термостабилизации.</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Студентам необходимо провести ознакомление с материалами по исследованиям в области управляемого термоядерного синтеза из рекомендованной литературы.</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 7-21, 22-45, 157-172</p>
1.1	Термоядерные экспериментальные установки и реакторы.	6		2	-	1	-	-	-	-	-	3	-	
1.2	Системы охлаждения и термостабилизации.	11		2	2	1	-	-	-	-	-	6	-	
2	Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.	40	2	4	12	2	-	-	-	-	-	22	-	<p><u>Подготовка к лабораторной работе:</u> Лабораторные работа выполняется по графику в течение семестра. Для допуска к текущей лабораторной работе необходимо ознакомиться с ее содержанием, подготовить протокол выполнения работы. Описание лабораторных работ представлено в [Изучение методов исследования теплогидравлических характеристик в моделях тепловыделяющих каналов ядерных реакторов. : лабораторный практикум по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. Н. Варава, А. В. Дедов, А.</p>
2.1	Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.	40		4	12	2	-	-	-	-	-	22	-	

													<p>В. Захаренков, А. Т. Комов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" ; ред. А. Н. Варава . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 54 с.].</p> <p><u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики" раздел 3 [Инженерный эксперимент в промышленной теплотехнике, теплоэнергетике и теплотехнологиях : учебное пособие для вузов по направлению 140100 "Теплоэнергетика" Семенов Б. А. Серия: Учебники для вузов. Специальная литература Издательство: Лань, 2013 г. ISBN 978-5-8114-1392-8]</p> <p><u>Подготовка расчетных заданий:</u> Необходимо выполнить обоснование методов экспериментального исследования гидродинамики и теплообмена в заданных конструктивных элементах термоядерных установок, рассчитать гидравлическое сопротивление контура, подобрать стандартные элементы.</p> <p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики."</p> <p><u>Изучение материалов литературных источников:</u></p> <p>[1], 72-83 [3], 3-53 [4], 91-119</p>	
3	Режимы течения и теплообмена. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и	74		20	2	12	-	-	-	-	-	40	-	<p><u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Режимы течения и теплообмена. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках. Методы интенсификации теплообмена и критических</p>

	установках. Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.													тепловых потоков при кипении." <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение и повторение основных понятий, определений и формул раздел 2.1 [Дедов, А.В. Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках. Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2019.– 180 с.]
3.1	Режимы течения и теплообмена.	22	4	2	4	-	-	-	-	-	12	-		термоядерных установках. Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2019.– 180 с.]
3.2	Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках.	26	8	-	4	-	-	-	-	-	14	-		<u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Режимы течения и теплообмена. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках. Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении." глава 7, глава 8, §6.12 [Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" Автор: Ягов В. В. Издательство: Изд. дом МЭИ Год издания: 2014 Пол. индекс: УДК 536 Я301 ISBN: 978-5-383-00854-6] §4.1, §1.2 [Гидродинамика и теплообмен закрученных потоков в каналах ядерно-энергетических установок Автор: Митрофанова О. В. Издательство: Физматлит Год издания: 2010 Пол. индекс: УДК 532 М672 ISBN: 978-5-9221-1223-9] глава 9 [Теплообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие для вузов по специальностям "Теплофизика" и "Атомные электрические станции и установки" направления "Техническая физика" Автор: Петухов Б.С., Генин Л.Г., Ковалев С.А., Соловьев С.Л. Издательство: Изд-во МЭИ Год издания: 2003 Пол. индекс: УДК 621.38 Т343 ISBN: 5-7046-0843-4] Подготовка ответов на контрольные вопросы главы 3 [Дедов, А.В. Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках.
3.3	Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.	26	8	-	4	-	-	-	-	-	14	-		

													Учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2019.– 180 с.] <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 49-154 [2], 319-370 [4], 225-315, 419-533
4	Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.	49	4	-	16	-	-	-	-	-	29	-	<u>Подготовка доклада, выступления:</u> Расчетное задание, выполненное в целом учебной группой, необходимо оформить в виде научного отчета, подготовить единую презентацию выступления, представить результаты в виде доклада на конференцию. <u>Подготовка к практическим занятиям:</u> Изучение материала по разделу "Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных и ядерных реакторов и установок." подготовка к выполнению заданий на практических занятиях [Практические занятия по численным методам исследования процессов тепломассообмена учебное пособие по курсу "Численные методы исследования процессов теплообмена" по направлению "Теплоэнергетика и теплотехника" Издательство: Изд-во МЭИ Антышев И. А. Год издания: 2013] <u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных установок." <u>Самостоятельное изучение теоретического материала:</u> Изучение дополнительного материала по разделу "Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных и ядерных реакторов и установок." [Патанкар С.В. Численное
4.1	Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.	49	4	-	16	-	-	-	-	-	29	-	

													решение задач теплопроводности и конвективного теплообмена при течении в каналах: Пер. с англ. Е.В. Калабина; под ред. Г.Г. Янькова. — М.: Издательство МЭИ, 2003. — 312 с.,] <u>Подготовка расчетных заданий:</u> Необходимо выполнить численное моделирование течения и теплообмена в конкретных элементах конструкций термоядерных установок. Студентам необходимо разобрать постановку задачи, вспомнить примеры решения аналогичных задач на практических занятиях, провести расчеты по заданию и оформить результаты. <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 26-34 [2], 56-73, 86-89
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	216.0	32	16	32	-	2	-	-	0.5	100	33.5	
	Итого за семестр	216.0	32	16	32		2		-	0.5		133.5	

Примечание: Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПр – аудиторные консультации по курсовым проектам/работам; ИККП – индивидуальные консультации по курсовым проектам/работам; ГК- групповые консультации по разделам дисциплины; СР – самостоятельная работа студента; ИКР – иная контактная работа; ТК – текущий контроль; ПА – промежуточная аттестация

3.2 Краткое содержание разделов

1. Термоядерные экспериментальные установки и реакторы. Системы охлаждения и термостабилизации.

1.1. Термоядерные экспериментальные установки и реакторы.

Перспективы развития энергетики. Возможности использования энергии термоядерного синтеза. Управляемый термоядерный синтез (УТС). Концепции УТС. Классификация термоядерных реакторов. Термоядерные экспериментальные установки. Возможности применения термоядерных источников нейтронов. Гибридные реакторы..

1.2. Системы охлаждения и термостабилизации.

Гидравлическая система охлаждения реактора ИТЭР. Теплофизические задачи охлаждения и термостабилизации элементов конструкций термоядерных реакторов и установок..

2. Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.

2.1. Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.

Эксперимент как метод исследования. Основные задачи экспериментального исследования теплообмена в термоядерной и ядерной энергетике. Построение лабораторных и натуральных стендов. Методы теории подобия при моделировании процессов. Схемы гидравлических контуров экспериментальных установок. Средства и методы измерений параметров течения и теплообмена. Автоматизация эксперимента. Обработка экспериментальных данных..

3. Режимы течения и теплообмена. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках. Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.

3.1. Режимы течения и теплообмена.

Закономерности течения жидкостей и газов. Конвективный теплообмен в однофазной среде. Теплообмен при течении в каналах. Теплообмен при фазовых превращениях. Теплоносители в термоядерных реакторах и установках. Кипение в потоке сильно недогретой до температуры насыщения жидкости. Кризис теплообмена при кипении. Методики расчета теплообмена и критических тепловых нагрузок..

3.2. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках.

Результаты экспериментов по охлаждению прототипов тепловоспринимающих элементов ИТЭР. Методы интенсификация теплообмена и увеличения критических тепловых потоков (КТП), предлагаемые для ИТЭР..

3.3. Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.

Расчет гидравлического сопротивления каналов с интенсификаторами. Закрутка потока как метод интенсификации теплообмена и увеличения КТП. Особенности течения и теплообмена в закрученном потоке. Методики расчета теплообмена и КТП в закрученных потоках..

4. Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.

4.1. Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.

Математическое описание процессов течения и теплообмена однофазной среды. Краткая характеристика численных методов решения. Проблемы численного моделирования турбулентности. Архитектура современных CFD кодов..

3.3. Темы практических занятий

1. Математическое описание процессов гидродинамики и тепломассообмена;
2. Расчет теплообмена при вынужденном течении;
3. Расчет теплообмена при кипении. Критические тепловые потоки при кипении;
4. Расчет интенсифицированного теплообмена. Расчет теплообмена в закрученном потоке;
5. Тепловой расчет элементов конструкций термоядерных реакторов и установок;
6. Решение тестовых задач. Ламинарное течение;
7. Краткая характеристика численных методов решения ОУП;
8. Пакеты прикладных программ для решения задач тепломассообмена (CFD-коды);
9. Турбулентные течения;
10. Работа с программой ANSYS FLUENT;
11. Настройка FLUENT. Построение расчетных сеток. Представление результатов.;
12. Численное решение тестовых задач. Теплопроводность;
13. Численное решение тестовых задач. Турбулентное течение;
14. Расчет гидравлического сопротивления при движении жидкости в каналах. Расчет гидравлического сопротивления каналов с интенсификаторами;
15. .Расчет гидравлического контура экспериментальной установки;
16. Расчет поля скорости и гидравлического сопротивления на гидродинамическом начальном участке в круглой трубе.

3.4. Темы лабораторных работ

1. Лабораторная работа №4. Изучение системы нагрева стенда. Расчет теплового баланса;
2. Лабораторная работа №3. Изучение методов измерения расхода жидкости. Измерение потерь давления при течении жидкости в каналах;
3. Лабораторная работа № 2. Давление, методы измерения давления. Определение зависимости давления насыщенного пара от температуры насыщения;
4. Лабораторная работа №1. Изучение основных систем теплогидравлического стенда. создание давления теплоносителя в гидравлическом контуре..

3.5 Консультации

3.6 Тематика курсовых проектов/курсовых работ

Курсовой проект/ работа не предусмотрены

3.7. Соответствие разделов дисциплины и формируемых в них компетенций

Запланированные результаты обучения по дисциплине (в соответствии с разделом 1)	Коды индикаторов	Номер раздела дисциплины (в соответствии с п.3.1)				Оценочное средство (тип и наименование)
		1	2	3	4	
Знать:						
Основные конструктивные элементы систем теплообмена термоядерных и гибридных установок и реакторов. Методы экспериментального и численного моделирования задач течения и теплообмена в термоядерных и гибридных установках и реакторах	ИД-1 _{ПК-2}		+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №1 "ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА СТЕНДА ТВС", Защита лабораторной работы №2 "МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ"
Основы теории одно и двухфазного теплообмена, гидродинамики. Проблемы и процессы охлаждения и термостабилизации элементов термоядерных реакторов и установок, методы интенсификации теплообмена	ИД-1 _{ПК-2}			+		Контрольная работа/Расчет теплообмена в термоядерных установках
Уметь:						
Рассчитывать тепловые режимы работы теплообменного и тепловоспринимающего оборудования термоядерных реакторов и установок. Выполнять численное моделирование гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств	ИД-1 _{ПК-2}				+	Доклад/Защита расчетного задания
Планировать и проводить экспериментальные исследования гидродинамики и теплообмена в модельных элементах теплообменных и тепловоспринимающих устройств	ИД-1 _{ПК-2}		+			Лабораторная работа/Защита лабораторной работы №3 "ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ. ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ", защита

						лабораторной работы №4 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАГРЕВА СТЕНДА ТВС. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА
--	--	--	--	--	--	--

4. КОМПЕТЕНТНОСТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЕ ОЦЕНОЧНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ ОСВОЕНИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (ТЕКУЩИЙ КОНТРОЛЬ УСПЕВАЕМОСТИ, ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ)

4.1. Текущий контроль успеваемости

2 семестр

Форма реализации: Защита задания

1. Защита расчетного задания (Доклад)

Форма реализации: Письменная работа

1. Расчет теплообмена в термоядерных установках (Контрольная работа)

Форма реализации: Смешанная форма

1. Защита лабораторной работы №1 "ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА СТЕНДА ТВС", Защита лабораторной работы №2 "МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ" (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторной работы №3 "ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ. ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ", защита лабораторной работы №4 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАГРЕВА СТЕНДА ТВС. РАСЧЕТ ТЕПЛОВОГО БАЛАНСА (Лабораторная работа)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине

Экзамен (Семестр №2)

Оценка за освоение дисциплины рассчитывается на основании балла текущего контроля за семестр и оценки за экзамен по формуле, определяемой БАРС.

В диплом выставляется оценка за 2 семестр.

Примечание: Оценочные материалы по дисциплине приведены в фонде оценочных материалов ОПОП.

5. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

5.1 Печатные и электронные издания:

1. Дедов, А. В. Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках : учебное пособие по курсу "Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках" по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. В. Дедов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – Москва : Изд-во МЭИ, 2019 . – 180 с. - ISBN 978-5-7046-2241-3 .
<http://elibr.mpei.ru/elibr/view.php?id=11047>;
2. Ягов, В. В. Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях : учебное пособие для вузов по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / В. В. Ягов . – М. : Издательский дом МЭИ, 2014 . – 542 с. - ISBN 978-5-383-00854-6 .;
3. Изучение методов исследования теплогидравлических характеристик в моделях тепловыделяющих каналов ядерных реакторов. : лабораторный практикум по направлению "Ядерная энергетика и теплофизика" / А. Н. Варава, А. В. Дедов, А. В. Захаренков, А. Т.

Комов, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" ; ред. А. Н. Варава . – М. : Изд-во МЭИ, 2017 . – 54 с.
<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=8828>;
 4. Ягов В.В.- "Теплообмен в однофазных средах и при фазовых превращениях",
 Издательство: "МЭИ", Москва, 2019
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383012451.html>.

5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:

1. СДО "Прометей";
2. Office / Российский пакет офисных программ;
3. Windows / Операционная система семейства Linux;
4. Ansys / CAE Fidesys;
5. Видеоконференции (Майнд, Сберджаз, ВК и др).

5.3 Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационно-справочные системы:

1. ЭБС Лань - <https://e.lanbook.com/>
2. ЭБС "Университетская библиотека онлайн" - http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red
3. Научная электронная библиотека - <https://elibrary.ru/>
4. База данных ВИНТИ online - <http://www.viniti.ru/>
5. База данных журналов издательства Elsevier - <https://www.sciencedirect.com/>
6. Электронные ресурсы издательства Springer - <https://link.springer.com/>
7. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
8. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
9. Национальная электронная библиотека - <https://rusneb.ru/>
10. Журнал Science - <https://www.sciencemag.org/>

6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Криоцентр-102, Учебно-научная лаборатория теплообмена в ядерных и термоядерных реакторах	стул, оборудование учебное, техническая аппаратура, инвентарь специализированный
	Криоцентр-206, 207,	кресло рабочее, стол, стул, шкаф для

	Учебно-научная лаборатория теплообмена в ядерных и термоядерных реакторах	документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, многофункциональный центр, оборудование учебное, техническая аппаратура, компьютер персональный, принтер, инвентарь специализированный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	А-309, Аудитория для проведения практических занятий	стол преподавателя, стол, стул, доска меловая
Помещения для самостоятельной работы	А-110, Вычислительная лаборатория	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, доска интерактивная, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, указка лазерная, многофункциональный центр, сервер, компьютер персональный, принтер, наборы демонстрационного оборудования
Помещения для консультирования	А-208, Преподавательская	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, шкаф для документов, компьютерная сеть с выходом в Интернет, колонки, компьютер персональный, принтер
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	А-025, Кладовка лабораторного оборудования	стеллаж, оборудование специализированное

БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ

Теплообмен и гидродинамика в термоядерных установках

(название дисциплины)

2 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Защита лабораторной работы №1 "ИЗУЧЕНИЕ ОСНОВНЫХ СИСТЕМ ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКОГО КОНТУРА СТЕНДА ТВС", Защита лабораторной работы №2 "МЕТОДЫ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ДАВЛЕНИЯ НАСЫЩЕННОГО ПАРА ОТ ТЕМПЕРАТУРЫ НАСЫЩЕНИЯ" (Лабораторная работа)
- КМ-2 Расчет теплообмена в термоядерных установках (Контрольная работа)
- КМ-3 Защита лабораторной работы №3 "ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОВ ИЗМЕРЕНИЯ РАСХОДА ЖИДКОСТИ. ИЗМЕРЕНИЕ ПОТЕРЬ ДАВЛЕНИЯ ПРИ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ В КАНАЛАХ", защита лабораторной работы №4 ИЗУЧЕНИЕ СИСТЕМЫ НАГРЕВА СТЕНДА ТВС. РАСЧЕТ ТЕПЛООВОГО БАЛАНСА (Лабораторная работа)
- КМ-4 Защита расчетного задания (Доклад)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	12	14	15
1	Термоядерные экспериментальные установки и реакторы. Системы охлаждения и термостабилизации.					
1.1	Термоядерные экспериментальные установки и реакторы.		+			
1.2	Системы охлаждения и термостабилизации.		+			
2	Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.					
2.1	Основы экспериментальных методов исследования теплообмена и гидродинамики.				+	
3	Режимы течения и теплообмена. Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках. Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.					
3.1	Режимы течения и теплообмена.			+		
3.2	Особенности течения и теплообмена в термоядерных реакторах и установках.			+		
3.3	Методы интенсификации теплообмена и критических тепловых потоков при кипении.			+		
4	Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.					

4.1	Численное моделирование течения и теплообмена в элементах конструкций термоядерных реакторах и установках.				+
Вес КМ, %:		20	20	20	40