

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

---

Направление подготовки/специальность: 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника

Наименование образовательной программы: ТЭС: схемы, системы и агрегаты

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ВОДНО-ХИМИЧЕСКИЕ РЕЖИМЫ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ**  
**УСТАНОВОК**


<b>Блок:</b>	Блок 1 «Дисциплины (модули)»
<b>Часть образовательной программы:</b>	Часть, формируемая участниками образовательных отношений
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	Б1.Ч.07
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	2 семестр - 3;
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	108 часов
<b>Лекции</b>	2 семестр - 16 часов;
<b>Практические занятия</b>	2 семестр - 16 часов;
<b>Лабораторные работы</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Консультации</b>	2 семестр - 2 часа;
<b>Самостоятельная работа</b>	2 семестр - 73,5 часа;
<b>в том числе на КП/КР</b>	не предусмотрено учебным планом
<b>Иная контактная работа</b>	проводится в рамках часов аудиторных занятий
<b>включая:</b> <b>Контрольная работа</b> <b>Интервью</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	2 семестр - 0,5 часа;

**Москва 2022**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

(должность)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Горбуров Д.В.
	Идентификатор	R8caf099b-GorbuovDV-8346003e

(подпись)


Д.В. Горбуров

(расшифровка подписи)

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной  
программы

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Олейникова Е.Н.
	Идентификатор	R1baf83c5-OleynikovaYN-375dcd6j

(подпись)


Е.Н.

Олейникова

(расшифровка подписи)

Заведующий выпускающей  
кафедрой

(должность, ученая степень, ученое звание)

	<b>Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»</b>	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Рогалев Н.Д.
	Идентификатор	R618dc98f-RogalevND-c9225577

(подпись)

Н.Д. Рогалев

(расшифровка подписи)

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** Целью освоения дисциплины является изучение основных понятий, технологий и оборудования подготовки теплоносителя на ТЭС, воднохимических режимов на ТЭС, а также способов принятия и обоснования конкретных технических решений при последующем проектировании и эксплуатации установок по обработке теплоносителя для уменьшения отложений и коррозионных процессов на теплообменном оборудовании ТЭС.

### Задачи дисциплины

- - получение практических знаний по химическим и физическим процессам, происходящим в теплоносителях тепловой станции и системах теплоснабжения;;
- - умение принимать технические решения при эксплуатации систем химического и котлотурбинного отделения станции;;
- - умение выполнять расчеты по ведению водного режима ТЭС;.

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-1 Способен к проектно-конструкторской деятельности в сфере тепло-энергетики и теплотехники	ИД-бПК-1 Демонстрирует знание технологии и оборудования по ведению воднохимических режимов объектов профессиональной деятельности	знать: - - суть процессов коррозии, выпадения отложений и проведения химической очистки энергетического оборудования;; - – правила соблюдения экологической безопасности при эксплуатации и проведении ремонтов энергоустановок;; - – нормативно правовые документы своей профессиональной деятельности, знать основные положения ведения ВХР;.  уметь: - - проводить научные и исследовательские работы с целью уменьшения скорости коррозии оборудования, улучшения методов его консервации, а также химических очисток поверхностей нагрева от выпадающих отложений.; - – эксплуатировать в рамках нормативной документации оборудование ВПУ, СХТМ, аналитических лабораторий, средств измерения и контроля..

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе ТЭС: схемы, системы и агрегаты (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать Студент должен знать основы термодинамики, физической химии, устройство и принцип действия основного оборудования ТЭС
- уметь Студент должен уметь анализировать схемные решения тепловых электрических станций, разбирать в основных нормативных документах по эксплуатации ТЭС

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 3 зачетных единицы, 108 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	Физика и химия процессов в теплоносителе ТЭС	30	2	8	-	6	-	-	-	-	-	16	-	<p><b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Физика и химия процессов в теплоносителе ТЭС"</p> <p><b><u>Подготовка расчетных заданий:</u></b> Задания ориентированы на решения минизадоч по разделу "Физика и химия процессов в теплоносителе ТЭС". Студенты необходимо повторить теоретический материал, разобрать примеры решения аналогичных задач. провести расчеты по варианту задания и сделать выводы. В качестве задания используются следующие упражнения: <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 88 - 102 [2], 4-24</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 24-46</p> <p><b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [2], 46-68</p>	
1.1	Теплофизические и физико-химические свойства теплоносителя в пароводяном тракте ТЭС	6		2	-	2	-	-	-	-	-	-	2		-
1.2	Материальный баланс примесей и образование отложений в пароводяном тракте ТЭС	8		2	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
1.3	Управление водным режимом теплогидравлическим и методами	16		4	-	2	-	-	-	-	-	-	10		-
2	Коррозионные процессы в пароводяном тракте	13		4	-	3	-	-	-	-	-	-	6		-
2.1	Электрохимическая коррозия.	9		3	-	2	-	-	-	-	-	-	4		-
2.2	Другие виды коррозии	4		1	-	1	-	-	-	-	-	-	2		-
3	Водно-химические режимы ТЭС	29		4	-	7	-	-	-	-	-	-	18		-
3.1	Химические	10	1	-	3	-	-	-	-	-	-	6	-		

	промывки оборудования блоков, консервация оборудования												[3], 537 - 552
3.2	Водно-химические режимы (ВХР) блоков с прямоточными, и барабанными котлами. ВХР для ПГУ	11	2	-	2	-	-	-	-	-	7	-	
3.3	ВХР тепловых сетей и систем охлаждения конденсаторов турбин	8	1	-	2	-	-	-	-	-	5	-	
	Экзамен	36.0	-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>40</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>108.0</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>73.5</b>			

**Примечание:** Лек – лекции; Лаб – лабораторные работы; Пр – практические занятия; КПП – 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. Физика и химия процессов в теплоносителе ТЭС

1.1. Теплофизические и физико-химические свойства теплоносителя в пароводяном тракте ТЭС

Основные задачи водно-химических режимов теплоэнергетических установок. Принципиальные тепловые и вводно-режимные схемы КЭС, ТЭЦ с производственными и теплофикационными отборами. Водный баланс основного и вспомогательных контуров. Изменение температуры и давления в основном цикле ТЭС. Связь между параметрами и теплофизическими свойствами воды (вязкостью, плотностью, диэлектрической проницаемостью). Физико-химические свойства воды и водных растворов (ионное произведение воды, электрическая проводимость растворов, константы диссоциации растворов, применяемых на энергетических объектах. Химическая термодинамика. Понятие термодинамических потенциалов. Химический потенциал. Пример расчета термодинамических и химических потенциалов. Состав примесей в водном теплоносителе. Растворимость естественных примесей в водном теплоносителе. Растворимость в воде продуктов коррозии конструкционных материалов. Растворимость примесей в перегретом паре. Распределение примесей между кипящей водой и генерируемым из нее насыщенным паром..

1.2. Материальный баланс примесей и образование отложений в пароводяном тракте ТЭС

Поступление примесей с добавочной водой. Поступление примесей через неплотности в конденсаторе, сетевом подогревателе. Поступление продуктов коррозии. Образование отложений, состоящих из соединений кальция и магния, на теплопередающих поверхностях нагрева. Условия образования отложений продуктов коррозии железа и меди на парогенерирующих поверхностях. Образование отложений легкорастворимых соединений. Факторы, влияющие на скорость образования отложений. Химический состав отложений. Изменение во времени массы отложений на стенке трубы. Расчет межпромывочного периода..

1.3. Управление водным режимом теплогидравлическими методами

Теория продувки. Растворение примесей в воде и паре. Лучевая диаграмма. Макро и микрораспределение примесей. Явления хайдаута. Двухступенчатые схемы испарения. Паропроизводительности чистых и солевых отсеков. Многоступенчатые схемы испарения..

#### 2. Коррозионные процессы в пароводяном тракте

2.1. Электрохимическая коррозия.

Электрохимическая коррозия. Влияние внутренних и внешних факторов на протекание коррозионных процессов. Коррозия конденсатно-питательного тракта, парообразующих труб и барабанов котлов во время эксплуатации, пароперегревателей, конденсаторов турбин. Факторы, влияющие на образование защитных пленок на поверхности металла. Диаграмма состояний для соединений меди и железа в воде..

2.2. Другие виды коррозии

Классификация коррозионных повреждений. Физико-химические основы коррозии конструкционных материалов. Химическая коррозия..

#### 3. Водно-химические режимы ТЭС

3.1. Химические промывки оборудования блоков, консервация оборудования

Основное назначение химических промывок блоков с барабанными и прямоточными котлами. Технологические схемы промывок для барабанных котлов. Технологические схемы промывок для прямоточных котлов. Технология проведения промывок. Применяемые реагенты. Вопросы утилизации отработанных растворов. Оценка результатов химической очистки оборудования. Основные задачи консервации оборудования. Типы консерваций. Схемы подключения оборудования для консервации. Реагенты, применяемые для консервации оборудования. Анализ полученных защитных пленок.

### 3.2. Водно-химические режимы (ВХР) блоков с прямоточными, и барабанными котлами. ВХР для ПГУ

Гидразинно-аммиачный, гидразинный, нейтрально-кислородный, кислородно-аммиачный водно-химические режимы. Экспериментальные ВХР. Условия применения ВХР. Нормирование качества воды и пара. Применяемые реагенты, их свойства, схемы дозирования. Гидразинно-аммиачный и комплексонный ВХР. Фосфатирование котловой воды. Нормирование качества воды и пара. Применяемые реагенты, их свойства, схемы дозирования. Влияние водно-химических режимов блоков на работу турбин. Поведение примесей в проточной части турбины. Отложения на лопатках паровых турбин. Коррозионные повреждения лопаток паровых турбин. Зона Вильсона. Промывка и консервация паровых турбин. Основные подходы для выбора ВХР. Водно-режимные схемы для ПГУ. Реагенты для поддержания ВХР. Нормирование качества воды и пара.

### 3.3. ВХР тепловых сетей и систем охлаждения конденсаторов турбин

Основные задачи ВХР тепловых сетей. Тепловые сети с открытым и закрытым водоразбором. Нормирование качества сетевой и подпиточной воды. Карбонатный индекс. Применение комплексонов и антинакипинов в тепловых сетях. Работы и рекомендации ВТИ и МЭИ по выбору методов обработки воды для теплосети. Прямоточная и обратная системы охлаждения конденсаторов. Предотвращение биологического обрастания трубок конденсатора. Предотвращение образования кальциевых отложений. Выбор методов и реагентов для обработки воды обратной системы охлаждения конденсатора. Продувка системы.

### 3.3. Темы практических занятий

1. Процессы коррозии конструкционных материалов. Скорость коррозии.;
2. Основные показатели качества воды;
3. Константа диссоциации хим. Реакций;
4. Константа гидролиза химических реакций;
5. Произведение растворимостей;
6. Перенос примесей из воды в пар. Коэффициент распределения;
7. Диаграмма Пурбэ. Уравнение Нернста;
8. Изменение качества воды по ступеням обработки ВПУ.

### 3.4. Темы лабораторных работ

не предусмотрено

### 3.5 Консультации

#### Текущий контроль (ТК)

1. Консультации направлены на получение индивидуального задания студента по разделу "Физика и химия процессов в теплоносителе ТЭС". По результатам выполняемой самостоятельной работы в рамках индивидуальных консультаций



проводится защита выполненных работ. Консультации проводит преподаватель МЭИ, ответственный за организацию работы по текущему контролю результатов освоения программы студентом

### **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	
<b>Знать:</b>					
– нормативно правовые документы своей профессиональной деятельности, знать основные положения ведения ВХР;	ИД-6ПК-1	+			Интервью/Защита расчётного задания. Контрольная работа/Контрольная работа 2 Основные показатели качества воды, закон электронейтральности, ВПУ, предочистка
– правила соблюдения экологической безопасности при эксплуатации и проведении ремонтов энергоустановок;	ИД-6ПК-1			+	Контрольная работа/Контрольная работа 2 Основные показатели качества воды, закон электронейтральности, ВПУ, предочистка
- суть процессов коррозии, выпадения отложений и проведения химический очисток энергетического оборудования;	ИД-6ПК-1		+		Контрольная работа/Контрольная работа 3 Константы реакции, скорость коррозии, произведение растворимостей. Контрольная работа/Контрольная работа "Основные показатели качества воды"
<b>Уметь:</b>					
– эксплуатировать в рамках нормативной документации оборудование ВПУ, СХТМ, аналитических лабораторий, средств измерения и контроля.	ИД-6ПК-1			+	Интервью/Защита расчётного задания.
- проводить научные и исследовательские работы с целью уменьшения скорости коррозии оборудования, улучшения методов его консервации, а также химических очисток поверхностей нагрева от выпадающих отложений.	ИД-6ПК-1	+			Интервью/Защита расчётного задания.

## **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: Письменная работа

1. Контрольная работа "Основные показатели качества воды" (Контрольная работа)
2. Контрольная работа 2 Основные показатели качества воды, закон электронейтральности, ВПУ, предочистка (Контрольная работа)
3. Контрольная работа 3 Константы реакции, скорость коррозии, производство растворимостей. (Контрольная работа)

Форма реализации: Устная форма

1. Защита расчётного задания. (Интервью)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

### **4.2 Промежуточная аттестация по дисциплине**

Экзамен (Семестр №2)

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. Пильщиков А.П.- "Водно-химические режимы ТЭС и АЭС", Издательство: "МЭИ", Москва, 2009 - (240 с.)  
<https://www.studentlibrary.ru/book/ISBN9785383001455.html>;
2. Никитина, И. С. Водно-химические режимы тепловых электрических станций : учебное пособие по курсам "Водно-химические режимы ТЭС", "Водоподготовка и водно-химические режимы ТЭС" по направлениям 13.03.01, 13.04.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" / И. С. Никитина, И. А. Бураков, А. Е. Верховский, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" . – М. : ФИЛИНЪ, 2017 . – 74 с. - ISBN 978-5-9216-0539-8 .;
3. Липов, Ю. М. Котельные установки и парогенераторы : Учебник для вузов по специальности: 1005 - Тепловые и электрические станции / Ю. М. Липов, Ю. М. Третьяков . – Ижевск : РХД, 2003 . – 592 с. – (Науки о Земле) . - ISBN 5-939722-27-X ..

### **5.2 Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:**

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux.

### **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](http://biblioclub.ru/index.php?page=main_ub_red)
3. База данных Web of Science - <http://webofscience.com/>
4. База данных Scopus - <http://www.scopus.com>
5. ЭБС "Консультант студента" - <http://www.studentlibrary.ru/>
6. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>
7. Портал открытых данных Российской Федерации - <https://data.gov.ru>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	Т-508, Учебная аудитория	стол, шкаф, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер, учебно-наглядное пособие
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	Т-501, Учебная аудитория	стол, стул, доска меловая, мультимедийный проектор, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения лабораторных занятий	Т-512, Компьютерный класс	стол, стул, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, компьютер персональный
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	Т-520, Учебная аудитория	стол, стул, шкаф, мультимедийный проектор, доска маркерная, доска пробковая, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	Т-515б, Кабинет сотрудников	стол, шкаф, тумба, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер, книги, учебники, пособия
Помещения для консультирования	Т-500, Преподавательская	
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	Т-507, Архив, библиотека кафедры	стеллаж для хранения книг, стол, шкаф

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Водно-химические режимы теплоэнергетических установок**

(название дисциплины)

**2 семестр****Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:**

- КМ-1 Контрольная работа "Основные показатели качества воды" (Контрольная работа)  
 КМ-2 Контрольная работа 2 Основные показатели качества воды, закон электронейтральности, ВПУ, предпочистка (Контрольная работа)  
 КМ-3 Контрольная работа 3 Константы реакции, скорость коррозии, производство растворимостей. (Контрольная работа)  
 КМ-4 Защита расчётного задания. (Интервью)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	8	10	12	15
1	Физика и химия процессов в теплоносителе ТЭС					
1.1	Теплофизические и физико-химические свойства теплоносителя в пароводяном тракте ТЭС			+		+
1.2	Материальный баланс примесей и образование отложений в пароводяном тракте ТЭС			+		+
1.3	Управление водным режимом теплогидравлическими методами					+
2	Коррозионные процессы в пароводяном тракте					
2.1	Электрохимическая коррозия.		+		+	
2.2	Другие виды коррозии		+		+	
3	Водно-химические режимы ТЭС					
3.1	Химические промывки оборудования блоков, консервация оборудования			+		
3.2	Водно-химические режимы (ВХР) блоков с прямоточными, и барабанными котлами. ВХР для ПГУ					+
3.3	ВХР тепловых сетей и систем охлаждения конденсаторов турбин					+
Вес КМ, %:			20	20	20	40