

**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: Технология воды и топлива в энергетике

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Рабочая программа дисциплины**  
**ИОНИТЫ И ИОНООБМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОДОПОДГОТОВКЕ**

<b>Блок:</b>	<b>Блок 1 «Дисциплины (модули)»</b>
<b>Часть образовательной программы:</b>	<b>Часть, формируемая участниками образовательных отношений</b>
<b>№ дисциплины по учебному плану:</b>	<b>Б1.Ч.05</b>
<b>Трудоемкость в зачетных единицах:</b>	<b>2 семестр - 4;</b>
<b>Часов (всего) по учебному плану:</b>	<b>144 часа</b>
<b>Лекции</b>	<b>2 семестр - 32 часа;</b>
<b>Практические занятия</b>	<b>2 семестр - 16 часов;</b>
<b>Лабораторные работы</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Консультации</b>	<b>2 семестр - 2 часа;</b>
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>2 семестр - 93,5 часа;</b>
<b>в том числе на КП/КР</b>	<b>не предусмотрено учебным планом</b>
<b>Иная контактная работа</b>	<b>проводится в рамках часов аудиторных занятий</b>
<b>включая:</b>	
<b>Тестирование</b>	
<b>Промежуточная аттестация:</b>	
<b>Экзамен</b>	<b>2 семестр - 0,5 часа;</b>

**Москва 2024**

**ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:**

Преподаватель

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Громов С.Л.
	Идентификатор	Rb7dd97ab-GromovSL-e5b96e3b

С.Л. Громов

**СОГЛАСОВАНО:**

Руководитель  
образовательной программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Очков В.Ф.
	Идентификатор	Rd91184b2-OchkovVF-1531e2ff

В.Ф. Очков

Заведующий выпускающей  
кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В. Шацких

## 1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

**Цель освоения дисциплины:** определение круга задач водоподготовки решение которых невозможно без применения ионного обмена; изучение методов выбора ионообменных смол и разработки рациональных технологических схем водоподготовки для тепловых и атомных станций овладение алгоритмами проведения оценочных и детальных технологических расчетов с использованием современных программ компьютерного моделирования ионообменных процессов и оборудования формирование базы знаний для изучения курса «Проектирование водоподготовительных систем»

### Задачи дисциплины

- изучение основных областей применения ионного обмена в современных условиях его (ионного обмена) возможностей и ограничений достоинств и недостатков;
- формирование представлений о комплексе и взаимосвязи свойств ионитов;
- определение критических параметров ионитов для конкретной области применения;
- изучение влияния свойств ионитов на показатели экономической эффективности и эксплуатационной надежности водоподготовительных установок;
- формирование представлений об основных закономерностях работы слоев ионитов и подходах к конструированию ионообменных фильтров периодического действия;
- формирование навыков оптимизации технологических схем ионного обмена для задач водоподготовки в энергетике;
- анализ основных технологий периодической регенерации ионитов достоинств и недостатков технологий проточной и противоточной регенерации;
- формирование понимания неразрывности взаимосвязи технологического процесса и его аппаратного оформления для оптимизации эксплуатационных показателей;
- выработка навыков поиска решений проблем, которые могут возникать при эксплуатации ионообменных материалов и оборудования;
- освоение алгоритма упрощенного (оценочного) технологического расчета процессов ионного обмена и приобретение навыков использования программы CADIX для компьютерного моделирования периодических процессов ионного обмена.

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 Способность участвовать в проектировании водоподготовительных и водоочистительных установок и систем с использованием серийного оборудования	ИД-1 <sub>ПК-2</sub> Выбирает современные технологии подготовки воды и топлива для использования в энергетических установках	знать: - взаимосвязь между свойствами ионитов и их эксплуатационными показателями а также основные процедуры для контроля качества ионитов перед загрузкой и в процессе эксплуатации; - базовые критерии для сравнения технологий противоточной регенерации и основные требования к конструктиву современных ионообменных фильтров; - основные возможности и ограничения для существующих методов водоподготовки использующих технологии ионного обмена и принципиальные отличия между технологиями проточной и противоточной регенерации;

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Запланированные результаты обучения
		<p>- терминологию в области ионного обмена а также основные типы ионитов и их базовые свойства.</p> <p>уметь:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- выбирать оптимальную технологию регенерации ионитов для конкретных условий эксплуатации;</li> <li>- выбирать экономически эффективную технологическую схему ионного обмена для водоподготовки в энергетике для конкретных условий эксплуатации;</li> <li>- анализировать свойства ионитов и технологий их применения проводить выбор оптимального ионита путем сравнения характеристик в зависимости от условий поставленной задач;</li> <li>- анализировать конструкции основного технологического оборудования на соответствие требованиям поставленной задачи проводить оценочные технологические расчеты процессов ионного обмена и технологические расчеты процессов ионного обмена с использованием программы CADIX.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ ВО

Дисциплина относится к основной профессиональной образовательной программе Технология воды и топлива в энергетике (далее – ОПОП), направления подготовки 13.04.01 Теплоэнергетика и теплотехника, уровень образования: высшее образование - магистратура.

Требования к входным знаниям и умениям:

- знать программу бакалавриата по направлению "Технологии воды и топлива"

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 4 зачетных единицы, 144 часа.

№ 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	Иониты и их свойства	18	2	8	-	-	-	-	-	-	-	10	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Иониты и их свойства" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 104-132 [2], 78-117 [3], 104-132	
1.1	Иониты и их свойства	18		8	-	-	-	-	-	-	-	10	-		
2	Иониты: изготовление и принципы выбора	24		12	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Иониты: изготовление и принципы выбора" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 104-119 [3], 104-119
2.1	Иониты: изготовление и принципы выбора	24		12	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	
3	Технологии регенерации ионитов	22		10	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Технологии регенерации ионитов" <b><u>Изучение материалов литературных источников:</u></b> [1], 119-157 [2], 78-117 [3], 119-137
3.1	Технологии регенерации ионитов	22		10	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	
4	Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации	44		2	-	16	-	-	-	-	-	-	26	-	<b><u>Подготовка к текущему контролю:</u></b> Повторение материала по разделу "Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации" <b><u>Изучение материалов литературных</u></b>

4.1	Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации	44		2	-	16	-	-	-	-	-	26	-	<b><u>источников:</u></b> [1], 5-12, 119-157 [2], 14-35, 78-117 [3], 5-12, 119-157
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	<b>Всего за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>-</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>60</b>	<b>33.5</b>	
	<b>Итого за семестр</b>	<b>144.0</b>		<b>32</b>	<b>-</b>	<b>16</b>	<b>2</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>	<b>93.5</b>			

**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. Иониты и их свойства

#### 1.1. Иониты и их свойства

Определения ионного обмена и ионитов. Области применения. Структура и виды ионитов. Основные свойства ионитов. Кинетика процессов ионного обмена. Работа слоя загрузки. Понятия прямоточной и противоточной регенераций. Рабочий цикл в периодических процессах ионного обмена. Взаимосвязи между характеристиками и рабочими качествами ионитов. Динамическая и рабочая обменная емкость.

### 2. Иониты: изготовление и принципы выбора

#### 2.1. Иониты: изготовление и принципы выбора

Задачи в энергетике: умягчение, удаление щелочности, снижение содержания органики, деминерализация, конденсатоочистка. Органика в воде: природная и техногенная. Способы удаления органики из воды. Представление об органопоглотителях и их роли в водоподготовке. Механизмы удаления органики ионитами. Удаление органики из обессоленной воды. Представление о миграции зоны обмена. Понятия «острого фронта», «проскока» и «утечки» лимитируемых примесей в обработанную воду. Назначение слабо- и сильнофункциональных ионитов. Сравнение гелевых и макропористых, стиролдивинилбензолных и акриловых. Анализ информации из технических паспортов и практических руководств по применению ионитов.

### 3. Технологии регенерации ионитов

#### 3.1. Технологии регенерации ионитов

Технологии регенерации ионитов: прямоточные и противоточные – достоинства и недостатки. История возникновения и развития противоточных технологий. Их достоинства и недостатки. Основные принципы противоточной регенерации. Особенности реализации технологий ШВЕБЕБЕТТ и АПКОРЕ. Практические рекомендации по регенерации ионитов. Параметры оптимизации.

### 4. Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации

#### 4.1. Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации

Общие подходы к применению ионного обмена. Принципы построения схемы: «коллекторная» и «блочная» («цепочки»). Области применения. Варианты возможных схемных решений. Показатели качества обработанной воды. Сравнение действующих требований к качеству деминерализованной воды в разных странах. Частичная и глубокая деминерализация. Доочистка обратноосмотического пермеата. Концепции ионообменных загрузок в непрерывной электродеионизации. Принципы организации хранения и распределения воды. Рекомендации по проведению расчетов процессов обессоливания ионным обменом. Алгоритм оценочного расчета процессов ионообменного умягчения и обессоливания. Возможности UPCORE и единство аппаратурно-технологических решений. Получение глубоко обессоленной воды сочетанием методов обратного осмоса и противоточного ионного обмена. Соответствие аппаратурного оформления требованиям реализуемой технологии. Сравнение распредустройств. Статические и динамические нагрузки при эксплуатации. Примеры реализации и краткое сравнение возможностей прямотока, противотока и ФСД в условиях финишной очистки глубоко обессоленной воды. Программы компьютерного моделирования технологических расчетов ионного обмена. Интерфейсы CADIX и ее применение для технологических расчетов.

### **3.3. Темы практических занятий**

1. Применение CADIX для технологических расчетов ионного обмена;
2. Интерфейсы CADIX;
3. Оценочные расчеты процессов ионного обмена.

### **3.4. Темы лабораторных работ**

не предусмотрено

### **3.5 Консультации**

#### *Групповые консультации по разделам дисциплины (ГК)*

1. Консультации проводятся по разделу "Иониты и их свойства"
2. Консультации проводятся по разделу "Иониты: изготовление и принципы выбора"
3. Консультации проводятся по разделу "Технологии регенерации ионитов"
4. Консультации проводятся по разделу "Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации" и выполняемому индивидуальному расчетному заданию

### **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	
<b>Знать:</b>						
терминологию в области ионного обмена а также основные типы ионитов и их базовые свойства	ИД-1ПК-2	+				Тестирование/Иониты и их свойства
основные возможности и ограничения для существующих методов водоподготовки использующих технологии ионного обмена и принципиальные отличия между технологиями прямоточной и противоточной регенерации	ИД-1ПК-2	+	+	+		Тестирование/Технологии регенерации ионитов
базовые критерии для сравнения технологий противоточной регенерации и основные требования к конструктиву современных ионообменных фильтров	ИД-1ПК-2	+	+	+	+	Тестирование/Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации
взаимосвязь между свойствами ионитов и их эксплуатационными показателями а также основные процедуры для контроля качества ионитов перед загрузкой и в процессе эксплуатации	ИД-1ПК-2	+	+			Тестирование/Иониты: изготовление и принципы выбора
<b>Уметь:</b>						
анализировать конструкции основного технологического оборудования на соответствие требованиям поставленной задачи проводить оценочные технологические расчеты процессов ионного обмена и технологические расчеты процессов ионного обмена с использованием программы CADIX	ИД-1ПК-2	+	+	+	+	Тестирование/Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации
анализировать свойства ионитов и технологий их применения проводить выбор оптимального ионита путем сравнения характеристик в зависимости от условий поставленной задач	ИД-1ПК-2	+				Тестирование/Иониты и их свойства
выбирать экономически эффективную технологическую схему ионного обмена для водоподготовки в энергетике для	ИД-1ПК-2	+	+	+		Тестирование/Технологии регенерации ионитов

конкретных условий эксплуатации						
выбирать оптимальную технологию регенерации ионитов для конкретных условий эксплуатации	ИД-1ПК-2	+	+			Тестирование/Иониты: изготовление и принципы выбора

#### **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: Компьютерное задание

1. Иониты и их свойства (Тестирование)
2. Иониты: изготовление и принципы выбора (Тестирование)
3. Технологии регенерации ионитов (Тестирование)
4. Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации (Тестирование)

Балльно-рейтинговая структура дисциплины является приложением А.

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

*Экзамен (Семестр №2)*

в соответствии с действующей редакцией 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. Копылов, А. С. Водоподготовка в энергетике : учебное пособие для вузов по специальностям "Тепловые электрические станции" и "Технология воды и топлива на тепловых и атомных электрических станциях" направления "Теплоэнергетика" / А. С. Копылов, В. М. Лавыгин, В. Ф. Очков . – 2-е изд., стер . – М. : Издательский дом МЭИ, 2006 . – 309 с. - ISBN 5-903072-45-3 .;
2. Стерман, Л. С. Физические и химические методы обработки воды на ТЭС : учебник для вузов по специальности "Тепловые электрические станции" / Л. С. Стерман, В. Н. Покровский . – М. : Энергоатомиздат, 1991 . – 328 с. - ISBN 5-283-00041-9 .;
3. Копылов А.С. , Лавыгин В.М. , Очков В.Ф. - "Водоподготовка в энергетике", Издательство: "Издательский дом МЭИ", Москва, 2016 - (310 с.)  
[http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=72208](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=72208).

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

1. Office / Российский пакет офисных программ;
2. Windows / Операционная система семейства Linux;
3. CADIX;
4. WAVE.

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

1. Электронная библиотека МЭИ (ЭБ МЭИ) - <http://elib.mpei.ru/login.php>

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Тип помещения	Номер аудитории, наименование	Оснащение
Учебные аудитории для проведения лекционных занятий и текущего контроля	В-411, Учебная лаборатория «Вычислительный центр ТВТ»	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения практических занятий, КР и КП	В-411, Учебная лаборатория «Вычислительный центр ТВТ»	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, кондиционер
Учебные аудитории для проведения промежуточной аттестации	В-411, Учебная лаборатория «Вычислительный центр ТВТ»	стол преподавателя, стол компьютерный, стул, шкаф для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, мультимедийный проектор, экран, доска маркерная, доска маркерная передвижная, компьютер персональный, кондиционер
Помещения для самостоятельной работы	НТБ-201, Компьютерный читальный зал	стол компьютерный, стул, стол письменный, вешалка для одежды, компьютерная сеть с выходом в Интернет, компьютер персональный, принтер, кондиционер
Помещения для консультирования	В-413/1, Кабинет сотрудников каф. "ТОТ"	стул, шкаф для хранения инвентаря, стол письменный, холодильник
Помещения для хранения оборудования и учебного инвентаря	В-417, Помещение учебно-вспомогательного персонала каф. "ТОТ"	кресло рабочее, рабочее место сотрудника, стол, стул, шкаф для документов, шкаф для хранения инвентаря, компьютерная сеть с выходом в Интернет, доска маркерная, многофункциональный центр, компьютер персональный, принтер, кондиционер

**БАЛЛЬНО-РЕЙТИНГОВАЯ СТРУКТУРА ДИСЦИПЛИНЫ****Иониты и ионообменные технологии в водоподготовке**

(название дисциплины)

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

КМ-1 Иониты и их свойства (Тестирование)

КМ-2 Иониты: изготовление и принципы выбора (Тестирование)

КМ-3 Технологии регенерации ионитов (Тестирование)

КМ-4 Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации (Тестирование)

**Вид промежуточной аттестации – Экзамен.**

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4
		Неделя КМ:	4	8	12	16
1	Иониты и их свойства					
1.1	Иониты и их свойства		+	+	+	+
2	Иониты: изготовление и принципы выбора					
2.1	Иониты: изготовление и принципы выбора			+	+	+
3	Технологии регенерации ионитов					
3.1	Технологии регенерации ионитов				+	+
4	Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации					
4.1	Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации					+
Вес КМ, %:			10	15	25	50