

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

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

Москва 2026

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	Шацких Ю.В.
	Идентификатор	R6ca75b8e-ShatskikhYV-f045f12f

Ю.В. Шацких

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 _{ПК-2} Выбирает современные технологии подготовки воды и топлива для использования в энергетических установках	знать: - 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; - взаимосвязь между свойствами ионитов и их эксплуатационными показателями а также основные процедуры для контроля качества ионитов перед загрузкой и в процессе эксплуатации;

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"> - выбирать оптимальную технологию регенерации ионитов для конкретных условий эксплуатации; - анализировать свойства ионитов и технологий их применения проводить выбор оптимального ионита путем сравнения характеристик в зависимости от условий поставленной задач; - 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; - выбирать экономически эффективную технологическую схему ионного обмена для водоподготовки в энергетике для конкретных условий эксплуатации.

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	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Иониты и их свойства" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 196-220 [2], 78-117 [3], 104-132	
1.1	Иониты и их свойства	18		8	-	-	-	-	-	-	-	-	10		-
2	Иониты: изготовление и принципы выбора	24		12	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Иониты: изготовление и принципы выбора" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 196-235 [3], 104-119
2.1	Иониты: изготовление и принципы выбора	24		12	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	
3	Технологии регенерации ионитов	22		10	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Технологии регенерации ионитов" <u>Изучение материалов литературных источников:</u> [1], 220-253, 264-305 [2], 78-117 [3], 119-157
3.1	Технологии регенерации ионитов	22		10	-	-	-	-	-	-	-	-	12	-	
4	Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации	44		2	-	16	-	-	-	-	-	-	26	-	<u>Подготовка к текущему контролю:</u> Повторение материала по разделу "Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации" <u>Изучение материалов литературных</u>

4.1	Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации	44		2	-	16	-	-	-	-	-	26	-	источников: [1], 235-264 [2], 14-35,78-117 [3], 5-12,119-157
	Экзамен	36.0		-	-	-	-	2	-	-	0.5	-	33.5	
	Всего за семестр	144.0		32	-	16	-	2	-	-	0.5	60	33.5	
	Итого за семестр	144.0		32	-	16	2	-	-	0.5	93.5			

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. 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	
Знать:						
терминологию в области ионного обмена а также основные типы ионитов и их базовые свойства	ИД-1ПК-2		+			Тестирование/Иониты: изготовление и принципы выбора Тестирование/Иониты и ионообменные технологии в водоподготовке
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 и ионообменные технологии в водоподготовке 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/Иониты и ионообменные технологии в водоподготовке Тестирование/Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации
базовые критерии для сравнения технологий противоточной регенерации и основные требования к конструктиву современных ионообменных фильтров	ИД-1ПК-2	+				Тестирование/Иониты и ионообменные технологии в водоподготовке Тестирование/Технологии регенерации ионитов
Уметь:						
выбирать экономически эффективную технологическую схему ионного обмена для водоподготовки в энергетике для конкретных условий эксплуатации	ИД-1ПК-2		+			Тестирование/Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации
анализировать конструкции основного технологического оборудования на соответствие требованиям поставленной задачи проводить оценочные технологические расчеты	ИД-1ПК-2				+	Тестирование/Технологические схемы процессов ионного обмена и аппараты для их реализации

процессов ионного обмена и технологические расчеты процессов ионного обмена с использованием программы CADIX						
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: изготовление и принципы выбора Тестирование/Иониты и их свойства
выбирать оптимальную технологию регенерации ионитов для конкретных условий эксплуатации	ИД-1ПК-2			+		Тестирование/Технологии регенерации ионитов

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 ионообменные технологии в водоподготовке (Тестирование)
2. Иониты и их свойства (Тестирование)
3. Иониты: изготовление и принципы выбора (Тестирование)
4. Технологии регенерации ионитов (Тестирование)
5. 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. Водоподготовка в энергетике : учебное издание для реализации основных образовательных программ высшего образования по направлению 13.03.01 "Теплоэнергетика и теплотехника" / С. Л. Громов, Е. К. Долгов, К. А. Орлов, В. Ф. Очков, Нац. исслед. ун-т "МЭИ" (НИУ"МЭИ"). – Москва : Изд-во МЭИ, 2021. – 576 с. – Книга-победитель конкурса рукописей учебной, научно-технической и справочной литературы по энергетике, посвящ. 90-летию МЭИ и 100-летию плана ГОЭЛРО. – ISBN 978-5-7046-2439-4.

<http://elib.mpei.ru/elib/view.php?id=11789>;

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.

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-303, Лекционная аудитория	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)
- КМ-5 Иониты и ионообменные технологии в водоподготовке (Тестирование)

Вид промежуточной аттестации – Экзамен.

Номер раздела	Раздел дисциплины	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
		Неделя КМ:	5	7	9	13	15
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, %:			5	10	15	20	50