

**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**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Оптимизация химико-технологических процессов**

**Москва  
2023**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

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

В.Ф. Очков

## 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

## ОБЩАЯ ЧАСТЬ

Оценочные материалы по дисциплине предназначены для оценки: достижения обучающимися запланированных результатов обучения по дисциплине, этапа формирования запланированных компетенций и уровня освоения дисциплины.

Оценочные материалы по дисциплине включают оценочные средства для проведения мероприятий текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.

Формируемые у обучающегося компетенции:

1. ПК-2 Способность участвовать в проектировании водоподготовительных и водоочистительных установок и систем с использованием серийного оборудования
- ИД-3 Проводит расчеты по типовым методикам и расчетным программам, а также проектировать отдельные элементы водоподготовительных установок с использованием средств автоматизированного проектирования

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Компьютерное задание

1. Использование инструментов символьной математики при решении оптимизационных задач в области химико-технологических процессов и технологий в энергетике (Контрольная работа)
2. Константное обеспечение расчетов химико-технологических процессов (Контрольная работа)

Форма реализации: Письменная работа

1. Выбор оборудования ВПУ (Контрольная работа)
2. Расчет оптимальной дозы реагентов при коагуляции и известковании (Контрольная работа)
3. Расчет pH растворов различных солей, кислот, щелочей (Контрольная работа)

## БРС дисциплины

2 семестр

| Раздел дисциплины                                                                       | Веса контрольных мероприятий, % |      |      |      |      |      |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------|------|------|------|------|------|
|                                                                                         | Индекс КМ:                      | КМ-1 | КМ-2 | КМ-3 | КМ-4 | КМ-5 |
|                                                                                         | Срок КМ:                        | 4    | 7    | 11   | 13   | 15   |
| Проблема единиц измерения физико-химических и термических величин в задачах оптимизации |                                 |      |      |      |      |      |
| Проблема единиц измерения физико-химических и термических величин в задачах оптимизации |                                 | +    |      |      |      |      |
| Расчет и оптимизация процессов коагуляции и известкования                               |                                 |      |      |      |      |      |
| Расчет и оптимизация процессов коагуляции и известкования                               |                                 |      | +    |      |      |      |
| Задача нелинейного численного программирования на примере задачи о выборе фильтров      |                                 |      |      |      |      |      |
| Задача нелинейного численного программирования на примере задачи о выборе фильтров      |                                 |      |      | +    |      |      |

|                                                                           |    |    |    |    |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|----|----|----|----|
| Использование символьной математики при решении оптимизационных задач ХТП |    |    |    |    |    |
| Использование символьной математики при решении оптимизационных задач ХТП |    |    |    | +  |    |
| Константное обеспечение задач оптимизации ХТП                             |    |    |    |    |    |
| Константное обеспечение задач оптимизации ХТП                             |    |    |    |    | +  |
| Вес КМ:                                                                   | 10 | 30 | 30 | 20 | 10 |

\$Общая часть/Для промежуточной аттестации\$

## СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ

### *I. Оценочные средства для оценки запланированных результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с индикаторами достижения компетенций*

| Индекс компетенции | Индикатор                                                                                                                                                                                                  | Запланированные результаты обучения по дисциплине                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | Контрольная точка                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |
|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| ПК-2               | ИД-ЗПК-2 Проводит расчеты по типовым методикам и расчетным программам, а также проектировать отдельные элементы водоподготовительных установок с использованием средств автоматизированного проектирования | Знать:<br>инструменты математических программ для решения оптимизационных задач в области химико-технологических процессов и технологий в энергетике<br>прикладное программное обеспечение для расчета параметров и выбора серийного и разработки нового теплоэнергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования<br>Уметь:<br>создавать аппроксимирующие и интерполирующие зависимости справочных величин для использования в расчетах | Расчет pH растворов различных солей, кислот, щелочей (Контрольная работа)<br>Расчет оптимальной дозы реагентов при коагуляции и известковании (Контрольная работа)<br>Выбор оборудования ВПУ (Контрольная работа)<br>Использование инструментов символьной математики при решении оптимизационных задач в области химико-технологических процессов и технологий в энергетике (Контрольная работа)<br>Константное обеспечение расчетов химико-технологических процессов (Контрольная работа) |

|  |  |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
|  |  | <p>ХТП</p> <p>производить расчеты химико-технологических процессов</p> <p>проводить технические расчеты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектных решений, с использованием прикладного программного обеспечения для расчета параметров и выбора серийного и разработки нового теплоэнергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования</p> |  |
|--|--|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|

## **II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания**

### **КМ-1. Расчет pH растворов различных солей, кислот, щелочей**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Расчет pH растворов различных солей, кислот и оснований.

#### **Краткое содержание задания:**

Расчет pH растворов различных солей, кислот, щелочей

#### **Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                                                   |                                                                                                                            |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: инструменты математических программ для решения оптимизационных задач в области химико-технологических процессов и технологий в энергетике | 1. Что такое pH<br>2. Как рассчитывается pH раствора сильной кислоты?<br>3. Как рассчитывается pH раствора слабой кислоты? |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

#### **Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### **КМ-2. Расчет оптимальной дозы реагентов при коагуляции и известковании**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Расчет доз реагентов и концентраций примесей при коагуляции и известковании

#### **Краткое содержание задания:**

Рассчитать дозы реагентов при коагуляции и известковании для заданного качества исходной воды

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                             |                                                                                                                                                          |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: производить расчеты химико-технологических процессов | 1.С помощью расчета в Mathcad определите возможность осаждения $Mg(OH)_2$ .<br>2.С помощью расчета в Mathcad определите возможность осаждения $CaSO_4$ . |
|-------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-3. Выбор оборудования ВПУ**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 30

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Дается задача нелинейного численного программирования на примере задачи о выборе фильтров.

**Краткое содержание задания:**

Выберите оптимальное сочетание типоразмера и количества осветлительных фильтров.

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                                                                                                                                                                                                                                                                         |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: проводить технические расчеты по проектам, технико-экономического и функционально-стоимостного анализа эффективности проектных решений, с использованием прикладного программного обеспечения для расчета параметров и выбора серийного и разработки нового теплоэнергетического, теплотехнического и теплотехнологического | 1.Предложите вариант формулы в Mathcad для автоматического определения максимального количества фильтров исходя из заданного типоразмера.<br>2.Сделайте отбраковку неподходящих значений для условий задачи варианта при заполнении матрицы стоимости оборудования ВПУ. |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач*

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено*

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено*

**КМ-4. Использование инструментов символьной математики при решении оптимизационных задач в области химико-технологических процессов и технологий в энергетике**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 20

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Выдача задания для решения на персональном компьютере.

**Краткое содержание задания:**

Оптимизация размеров цилиндрического бака" с использованием инструментов символьной математики Mathcad

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                                                                                      |                                                                                                                                                                                                                                                                     |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Знать: прикладное программное обеспечение для расчета параметров и выбора серийного и разработки нового теплоэнергетического, теплотехнического и теплотехнологического оборудования | <p>1.Объясните понятия целевая функция, ограничения и переменные поиска на примере решения оптимизационных задач ХТП.</p> <p>2.В чем преимущество применения символьной математики Mathcad при решении задачи выбора размеров цилиндрического бака запаса воды?</p> |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания: Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно*

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

### **КМ-5. Константное обеспечение расчетов химико-технологических процессов**

**Формы реализации:** Компьютерное задание

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 10

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Разработать функции для расчета зависимостей различных справочных констант, используемых в расчетах, от температуры

**Краткое содержание задания:**

Разработайте функцию для расчета "Константы диссоциации угольной кислоты в зависимости от температуры".

**Контрольные вопросы/задания:**

|                                                                                                                     |                                                                                                                                                                                              |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Уметь: создавать аппроксимирующие и интерполирующие зависимости справочных величин для использования в расчетах ХТП | 1.Разработайте функцию для расчета долей различных форм угольной кислоты в зависимости от рН<br>2.Разработайте функцию для расчета произведение растворимости $\text{CaCO}_3$ от температуры |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка:* 5

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 70

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "отлично" выставляется если задание выполнено в полном объеме или выполнено преимущественно верно

*Оценка:* 4

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 60

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "хорошо" выставляется если большинство вопросов раскрыто. выбрано верное направление для решения задач

*Оценка:* 3

*Нижний порог выполнения задания в процентах:* 50

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "удовлетворительно" выставляется если задание преимущественно выполнено

*Оценка:* 2

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка "неудовлетворительно" выставляется если задание выполнено неверно или преимущественно не выполнено

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 2 семестр

**Форма промежуточной аттестации:** Экзамен

### Пример билета

1. Понятие целевая функция, ограничения и переменные поиска при решении оптимизационных задач ХТП.
2. Задача дискретного нелинейного программирования в ХТП

### Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа на вопросы билета. Время на подготовку - 45 минут.

### *1. Перечень компетенций/индикаторов и контрольных вопросов проверки результатов освоения дисциплины*

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-3<sub>ПК-2</sub> Проводит расчеты по типовым методикам и расчетным программам, а также проектировать отдельные элементы водоподготовительных установок с использованием средств автоматизированного проектирования

### Вопросы, задания

1. Параметры, влияющие на качество очистки воды методом известкования.
2. Параметры, влияющие на качество очистки воды методом коагуляции.
3. Расчет pH растворов различных солей, кислот, щелочей
4. Уравнения для решения задачи о показателях качества воды на основе состава природных вод для различных источников
5. Особенности применения символьной математики для решения оптимизационной задачи выбора размера бака
6. Определение оптимальной дозы извести, при которой жесткость известкованной воды минимальна
7. Построение кривой титрования буферного раствора в Mathcad
8. Выбор количества и типоразмера осветлительных фильтров для обеспечения заданной производительности
9. Решение в среде Mathcad задачи нелинейного численного программирования на примере задачи о выборе фильтров по минимальной стоимости варианта
10. Выбор количества и типоразмера ионитных фильтров при различных вариантах минимизации количества оборудования

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Что такое массовая доля?

Ответы:

- 1) отношение массы растворенного вещества к массе раствора 2) отношение массы растворенного вещества к массе растворителя 3) отношение массы растворителя к массе раствора 4) отношение массы растворителя к массе растворенного вещества

Верный ответ: 1

2. Дайте определение жесткости воды

Ответы:

1) содержание катионов кальция и магния, выраженное в миллиграмм-эквивалентах в кубическом дециметре 2) содержание катионов, находящихся в воде, выраженное в миллиграмм-эквивалентах в кубическом дециметре 3) содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными кислотами 4) содержание в воде веществ, вступающих в реакцию с сильными основаниями

Верный ответ: 1

3. В каких единицах измеряется молярная концентрация эквивалентов?

Ответы:

ммоль/кг 2) мг/дм<sup>3</sup> 3) мг-экв/дм<sup>3</sup> 4) г/100 г 5) % 6) мг/л 7) ммоль экв/л 8) н 9) ммоль/л 10) ммоль/дм<sup>3</sup> 11) кг/кг

Верный ответ: 3,7,8

4. Что такое молярность?

Ответы:

1) количество молей растворенного вещества в единице объема раствора 2) масса растворенного вещества в единице объема раствора 3) количество молей растворенного вещества в единице массы раствора 4) масса растворенного вещества в единице массы раствора 5) количество молей растворителя в единице массы раствора 6) масса растворителя в единице массы раствора 7) количество молей растворенного вещества на единицу объема растворителя 8) количество молей растворенного вещества на единицу массы растворителя

Верный ответ: 1

5. Как изменяется концентрация CO<sub>2</sub> в воде при коагуляции?

Ответы:

1) увеличивается 2) незначительно увеличивается 3) остается неизменной 4) незначительно уменьшается 5) уменьшается

Верный ответ: 1

6. Какой реагент используют в качестве коагулянта при известковании воды в осветлителе?

Ответы:

1) сернокислое железо 2) сернокислый алюминий

Верный ответ: 1

7. Объясните, почему выбор самого большого типоразмера фильтров не является самым оптимальным

Ответы:

-

Верный ответ: -

8. Какой критерий оптимальности используется при решении задачи о выборе типоразмера фильтров. Какие другие критерии оптимальности можно предложить.

Ответы:

-

Верный ответ: -

9. Какой вид функциональной зависимости наилучшим образом подходит для аппроксимации зависимости рабочей обменной емкости катионита от удельного расхода кислоты и почему

Ответы:

-

Верный ответ: -

## **II. Описание шкалы оценивания**

Оценка: 5

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, который показал при ответе на вопросы билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 70*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 50*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам, либо наметил правильный путь его выполнения, либо по указанию преподавателя решил другую задачу из того же раздела дисциплины.

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Работа не выполнена или выполнена преимущественно неправильно

### ***III. Правила выставления итоговой оценки по курсу***

Оценка определяется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе для студентов НИУ «МЭИ» на основании семестровой и экзаменационной составляющих.