

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

**Направление подготовки/специальность: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника**

**Наименование образовательной программы: Электроэнергетика**

**Уровень образования: высшее образование - бакалавриат**

**Форма обучения: Очная**

**Оценочные материалы  
по дисциплине  
Высоковольтные электротехнологии**

**Москва  
2024**

## ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ РАЗРАБОТАЛ:

Разработчик

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Темников А.Г.
	Идентификатор	Ra0abb123-TemnikovAG-2d4db00f

А.Г. Темников

## СОГЛАСОВАНО:

Руководитель  
образовательной  
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Кузнецов О.Н.
	Идентификатор	Rf1ad9303-KuznetsovON-34bc149f

О.Н.  
Кузнецов

Заведующий  
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Тулский В.Н.
	Идентификатор	R292b173d-TulskyVN-7e812984

В.Н.  
Тулский

## 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:

- ПК-1 Способен участвовать в проектировании объектов профессиональной деятельности
- ИД-2 Выбирает параметры электрооборудования, учитывая технические и экономические ограничения
- ИД-5 Анализирует результаты расчетов и исследований

и включает:

**для текущего контроля успеваемости:**

Форма реализации: Письменная работа

1. Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
2. Контрольная работа №2 ()

Форма реализации: Проверка задания

1. Лабораторная работа №1 (Лабораторная работа)
2. Лабораторная работа №2 (Лабораторная работа)
3. Лабораторная работа №3 (Лабораторная работа)

## БРС дисциплины

8 семестр

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	4	6	10	13	13
Электрофизические процессы в газах						
Электрофизические процессы в газах	+	+	+	+	+	
Зарядка и движение аэрозольных частиц в электрическом поле						
Зарядка и движение аэрозольных частиц в электрическом поле	+	+	+	+	+	
Процессы осаждения аэрозольных частиц в электрическом поле						
Процессы осаждения аэрозольных частиц в электрическом поле	+	+	+	+	+	
Процессы на осадительном электроде						
Процессы на осадительном электроде	+	+	+	+	+	

Коллективные процессы в аэрозольных системах					
Коллективные процессы в аэрозольных системах	+	+	+	+	+
Электротехнологии, основанные на применении сильных электрических полей					
Электротехнологии, основанные на применении сильных электрических полей	+	+	+	+	+
Высоковольтные плазмохимические технологии					
Высоковольтные плазмохимические технологии	+	+	+	+	+
Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества					
Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества	+	+	+	+	+
Высоковольтные электротехнологии импульсного воздействия на материалы					
Высоковольтные электротехнологии импульсного воздействия на материалы	+	+	+	+	+
Вес КМ:	14	28	14	14	30

\$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-1	ИД-2 <sub>ПК-1</sub> Выбирает параметры электрооборудования, учитывая технические и экономические ограничения	Знать: действующие подходы в области применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок, основные методы расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов. Уметь: осуществлять поиск и анализ научно-технической информации о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов;	Лабораторная работа №1 (Лабораторная работа) Контрольная работа №1 (Контрольная работа) Лабораторная работа №2 (Лабораторная работа) Лабораторная работа №3 (Лабораторная работа) Контрольная работа №2
ПК-1	ИД-5 <sub>ПК-1</sub> Анализирует	Знать:	Лабораторная работа №1 (Лабораторная работа)

	<p>результаты расчетов и исследований</p>	<p>основные источники научно-технической информации по физике процессов поведения аэрозольных частиц в сильных электрических полях, по плазмохимическим процессам, по процессам воздействия сильных электромагнитных полей на материалы, по принципам действия и конструкции высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок;  Уметь:  самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой высоковольтных электротехнологий, расчет высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок и анализ эффективности их применения.  самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их</p>	<p>Контрольная работа №1 (Контрольная работа)  Лабораторная работа №2 (Лабораторная работа)  Лабораторная работа №3 (Лабораторная работа)  Контрольная работа №2</p>
--	---	---	--

		для решения поставленной задачи;	
--	--	----------------------------------	--

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

### КМ-1. Лабораторная работа №1

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 14

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета, устная беседа

#### Краткое содержание задания:

Лабораторная работа направлена на изучение основ технологического применения озона и исследование работы озонатора на диэлектрическом барьерном разряде.

В ходе выполнения работы должно быть произведено:

- 1) Ознакомление с распространенными схемами технологического применения озона и конструкцией озонатора на диэлектрическом барьерном разряде, принципом его работы и выходными параметрами.;
- 2) Исследование выходных характеристик генератора озона, исследование режимов работы озонатора на диэлектрическом барьерном разряде, определение концентрации озона, активной мощности разряда.
- 3) Изучение процесса растворения (абсорбции) озона из озоно-воздушной смеси в воду и взаимодействия озона с загрязняющими примесями в воде в процессе ее обработки;
- 4) Получение навыков работы с генератором озона, измерителями концентрации озона в газе и жидкости, измерителем цвета жидкости (колориметром).

#### Контрольные вопросы/задания:

Знать: действующие подходы в области применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок, основные методы расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов.	1.Какие сильные окислители вы знаете? Область применения, недостатки. 2.Какие свойства озона первоначально использовались при подготовке питьевой воды? 3.Чем отличается технология очистки сточных вод от подготовки питьевой воды?
Знать: основные источники научно-технической информации по физике процессов поведения аэрозольных частиц в сильных электрических полях, по плазмохимическим процессам, по процессам воздействия сильных электромагнитных полей на материалы, по принципам действия и конструкции высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок;	1.Из каких основных этапов состоит подготовка питьевой воды? 2.Особенности синтеза озона в озонаторах с поверхностным разрядом? 3.Что такое напряжение горения разряда?
Уметь: осуществлять поиск и анализ научно-технической информации о существующих и	1.Каким образом производится очистка отходящих газов с помощью озона? 2.Методы измерения концентрации озона в газе и

новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов;	цветности воды.
Уметь: самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой высоковольтных электротехнологий, расчет высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок и анализ эффективности их применения.	1.Как определить производительность озонатора? 2.Как объясняется увеличение выхода озона с ростом приложенного к озонатору напряжения?
Уметь: самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их для решения поставленной задачи;	1.При каких условиях рост выхода озона прекращается? 2.Почему растет выход озона с частотой приложенного напряжения?

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 80*

*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: 60*

*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. Контрольная работа №1**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:** Контрольная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 28

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Вариант задания выдается студентам в аудитории, либо высылается почтой ОСЭП. За час обучающиеся должны в письменном виде подготовить своё решение и сдать его на проверку преподавателю (в дистанционном формате: выслать фото-отчет или отсканированное решение почтой ОСЭП).

### Краткое содержание задания:

Задания первой контрольной работы охватывают следующие разделы дисциплины:

1. Электрофизические процессы в газах.
2. Зарядка и движение аэрозольных частиц в электрическом поле.
3. Процессы осаждения аэрозольных частиц в электрическом поле.
4. Процессы на осадительном электроде.

Задание представляет из себя три задачи направленных на определение эффективности осаждения частиц из ламинарного и турбулентного потока; зарядки частиц на осадительном электроде; сил, действующие на частицы на осадительном электроде; сил, действующие на порошковый слой на электроде.

### Контрольные вопросы/задания:

<p>Знать: действующие подходы в области применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок, основные методы расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов.</p>	<p>1. В горизонтальный плоский канал шириной 0,03 м входит ламинарный аэрозольный поток со скоростью 0,9 м/с. Радиус частиц 25 мкм. Частицы проводящие и предварительно заряжены в поле коронного разряда с напряженностью 3 кВ/см. Плотность материала частиц 2,5 г/см<sup>3</sup>. Напряженность электрического поля в канале 2 кВ/см. Определить, на какой из стенок канала будет происходить осаждение и чему равна эффективность осаждения на длине 0,2 м под действием электрического поля и силы тяжести.</p>
<p>Знать: основные источники научно-технической информации по физике процессов поведения аэрозольных частиц в сильных электрических полях, по плазмохимическим процессам, по процессам воздействия сильных электромагнитных полей на материалы, по принципам действия и конструкции высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок;</p>	<p>1. В вертикальном плоском канале шириной 0,2 м частицы осаждаются под действием электрической силы из турбулентного потока. Частицы проводящие, радиуса 1,5 мкм, осаждаются в поле коронного разряда с напряженностью <math>E</math>. Скорость газа в канале 0,8 м/с. Найти напряженность поля в канале <math>E</math>, при которой можно считать, что частицы равномерно перемешиваются в потоке. Определить эффективность осаждения частиц на длине канала 0,5 м, если напряженность поля в канале уменьшится на 20 %.</p>
<p>Уметь: осуществлять поиск и анализ научно-технической информации о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов;</p>	<p>1. В вертикальном плоском канале шириной 0,25 м частицы осаждаются под действием электрической силы из турбулентного потока. Частицы проводящие, радиусом 20 мкм, осаждаются в поле коронного разряда с напряженностью <math>E</math>. Скорость газа в канале 0,95 м/с. Найти напряженность поля в канале <math>E</math>, при которой можно считать, что частицы осаждаются в режиме отсутствия перемешивания. Определить эффективность осаждения частиц на длине канала 0,4 м, если напряженность поля в канале увеличится на 15 %</p>
<p>Уметь: самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой</p>	<p>1. Частица (полуэллипсоид) лежит на горизонтальном электроде в поле коронного разряда с плотностью тока 100 мкА/м<sup>2</sup> и напряженностью поля у электрода</p>

<p>высоковольтных электротехнологий, расчет высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок и анализ эффективности их применения.</p>	<p>1 кВ/см. Параметры частицы: полуоси <math>a/b=a/c=2</math>; плотность материала частицы <math>2,5 \text{ г/см}^3</math>; <math>\epsilon_1 = 4</math>. Проводимость частицы: а) <math>g_{v1} = 10^{-11} \text{ 1/(Ом м)}</math>; б) <math>g_{v1} = 4 \cdot 10^{-9} \text{ 1/(Ом м)}</math>; в) <math>g_{v1} = 10^{-8} \text{ 1/(Ом м)}</math>. Определить диапазон значений <math>b</math> (размеров частицы), при которых частица будет отрываться от электрода через <math>0,1 \text{ с}</math>.</p>
<p>Уметь: самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их для решения поставленной задачи;</p>	<p>1. На горизонтальном электроде лежат два полуэллипсоида с полуосями <math>a/b = a/c = 2</math> и <math>b = 11 \text{ мкм}</math>. Поле коронного разряда характеризуется напряженностью <math>3,5 \text{ кВ/см}</math> и плотностью тока <math>2 \cdot 10^{-4} \text{ А/м}^2</math>. Параметры первой частицы: относительная диэлектрическая проницаемость <math>\epsilon = 3</math>; удельное сопротивление материала частицы <math>10^8 \text{ Ом м}</math>. Плотность материала частицы <math>2,5 \text{ г/см}^3</math>. Параметры второй частицы: относительная диэлектрическая проницаемость <math>\epsilon = 2</math>; удельное сопротивление материала частицы <math>10^{10} \text{ Ом м}</math>. Плотность материала частицы <math>1,5 \text{ г/см}^3</math>. Определить, через какие промежутки времени частицы оторвутся от электрода.</p>

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если решения всех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если решения двух из трех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам, а при решении третьей задачи допущены неточности в расчетах и непринципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если решения двух из трех задач выполнены в целом без принципиальных ошибок, но выводы по полученным расчетным результатам слабо аргументированы, а третья задача не решена или при ее решении допущены грубые ошибки

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* контрольная работа считается выполненной на оценку «Неудовлетворительно», если не решены две или три задачи

#### КМ-3. Лабораторная работа №2

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

## Вес контрольного мероприятия в БРС: 14

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проверка отчета, устная беседа

### Краткое содержание задания:

Лабораторная работа направлена на изучение принципа работы электростатического сепаратора, разделяющего материалы по проводимости, экспериментальное изучение процесса электросепарации на примере конструкции наклонного пластинчатого электростатического сепаратора.

В ходе выполнения работы необходимо:

1. Ознакомиться с конструкцией лабораторного сепаратора.
2. Провести измерения гравитационных вееров рутила и циркона.
3. Провести измерения вееров рутила и циркона при наличии напряжения на электродах для геометрических параметров сепаратора, заданных преподавателем.
4. По результатам измерений п. 2. и 3 построить графики вееров. Сравнить и объяснить полученные результаты.
5. Провести разделение смеси минералов в режиме п. 3
6. Построить веер по данным п. 5. Описать веера и объяснить результаты.

### Контрольные вопросы/задания:

Знать: действующие подходы в области применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок, основные методы расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов.	1.Что такое электрическая сепарация минералов? 2.Какие силы действуют на частицы на поверхности электрода в сепараторе?
Знать: основные источники научно-технической информации по физике процессов поведения аэрозольных частиц в сильных электрических полях, по плазмохимическим процессам, по процессам воздействия сильных электромагнитных полей на материалы, по принципам действия и конструкции высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок;	1.Каковы физические принципы электрической сепарации? 2.Что такое сепарация по электропроводности? 3.Какова роль коронного разряда в электрической сепарации
Уметь: осуществлять поиск и анализ научно-технической информации о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических	1.Поясните назначение основных элементов сепаратора. 2.Какие конструктивные параметры сепаратора и как влияют на разделение минералов?

аппаратов;	
Уметь: самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основной высоковольтных электротехнологий, расчет высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок и анализ эффективности их применения.	1.Какие характеристики частиц и как влияют на разделение минералов? 2.Как влияют режимы сепаратора на разделение минералов?
Уметь: самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их для решения поставленной задачи;	1.Поясните принцип работы сепаратора по проводимости.

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 80*

*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: 60*

*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. Лабораторная работа №3**

**Формы реализации:** Проверка задания

**Тип контрольного мероприятия:** Лабораторная работа

**Вес контрольного мероприятия в БРС:** 14

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Проверка отчета, устная беседа

#### **Краткое содержание задания:**

Лабораторная работа направлена на изучение принципа работы электрофильтра, экспериментальное определение степени очистки воздуха от частиц аэрозоля, ознакомление с конструкцией малогабаритного электрофильтра..

В ходе выполнения работы должно быть произведено исследование зависимости степени очистки от характерных параметров:

1. Ознакомиться с расположением элементов установки на стенде.
2. Ознакомиться с правилами техники безопасности.
3. Провести измерения осажденной пыли для напряжения  $U = 8, 10$  и  $12$  кВ для гладкого электрода. Взвешивание производить с точностью до четвертого знака, в граммах.

4. По результатам измерений п. 3 построить зависимость эффективности осаждения ликоподия и сравнить с расчетными данными. Объяснить полученные данные.
5. Описать характер осаждения частиц для промежутков с гладким и игольчатым проводом. Объяснить полученный результат.

**Контрольные вопросы/задания:**

<p>Знать: действующие подходы в области применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок, основные методы расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие бывают виды электрофильтров?</li> <li>2. Как определить степень очистки газа в электрофильтрах?</li> </ol>
<p>Знать: основные источники научно-технической информации по физике процессов поведения аэрозольных частиц в сильных электрических полях, по плазмохимическим процессам, по процессам воздействия сильных электромагнитных полей на материалы, по принципам действия и конструкции высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок;</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Виды зарядки аэрозольных частиц в электрофильтрах?</li> <li>2. Каковы основные конструктивные элементы в электрофильтрах?</li> <li>3. Что такое активная зона электрофильтра?</li> </ol>
<p>Уметь: осуществлять поиск и анализ научно-технической информации о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов;</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Что такое комбинированная очистка газа от дисперсной фазы с использованием электрофильтров?</li> </ol>
<p>Уметь: самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой высоковольтных электротехнологий, расчет высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок и анализ эффективности их применения.</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Как степень очистки зависит от приложенного напряжения, скорости потока, длины электрофильтра и параметров частиц?</li> <li>2. Построить зависимость степени очистки газа в электрофильтре от величины удельного сопротивления золы?</li> </ol>
<p>Уметь: самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных</p>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Какие частицы улавливаются в первую очередь: крупные или мелкие?</li> <li>2. Чем двухзонный электрофильтр отличается от</li> </ol>

электротехнологических установок и применять их для решения поставленной задачи;	однозонного?
--	--------------

**Описание шкалы оценивания:**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*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: 80*

*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: 60*

*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. Контрольная работа №2**

**Формы реализации:** Письменная работа

**Тип контрольного мероприятия:**

**Вес контрольного мероприятия в БРС: 30**

**Процедура проведения контрольного мероприятия:** Вариант задания выдается студентам в аудитории, либо высылается почтой ОСЭП. За час обучающиеся должны в письменном виде подготовить своё решение и сдать его на проверку преподавателю (в дистанционном формате: выслать фото-отчет или отсканированное решение почтой ОСЭП).

**Краткое содержание задания:**

Задания второй контрольной работы охватывают следующие разделы дисциплины:

1. Коллективные процессы в аэрозольных системах.
2. Электротехнологии, основанные на применении сильных электрических полей.
3. Высоковольтные плазмохимические технологии.
4. Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества.

Задание представляет из себя три задачи направленных на электростатическое рассеяние аэрозоля, эффективность очистки газов в электрофильтрах, электрическая сепарация частиц, порошковые распылители с внешней и внутренней зарядкой.

**Контрольные вопросы/задания:**

Знать: действующие подходы в области применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок, основные методы расчета высоковольтных электротехнологических	1. В круглую трубу со скоростью 0,55 м/с входит аэрозольный поток, содержащий частицы радиусом 25 мкм и зарядом 2,3 10 <sup>-14</sup> Кл. Плотность материала частиц 3 г/см <sup>3</sup> . Определить, на какой длине трубы концентрация аэрозольных частиц в результате электростатического рассеяния уменьшится на 75 %,
--	---

<p>процессов и аппаратов.</p>	<p>если массовая входная концентрация составляет 20 г/м<sup>3</sup>. Найти время образования обратной короны и силу, действующую на слой.</p>
<p>Знать: основные источники научно-технической информации по физике процессов поведения аэрозольных частиц в сильных электрических полях, по плазмохимическим процессам, по процессам воздействия сильных электромагнитных полей на материалы, по принципам действия и конструкции высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок;</p>	<p>1. Даны вольт-амперные характеристики, снятые в системе электродов «коаксиальные цилиндры» со слоем на осадительном электроде и без него. Радиус большего цилиндра 0,15 м. Толщина слоя 1,8 мм. Построить зависимость удельного сопротивления от плотности тока. Определить силу, действующую на слой, при линейном токе 0,25 мА/м, полагая, что напряженность поля у поверхности слоя равна 1,9 кВ/см, а относительная диэлектрическая проницаемость слоя <math>\epsilon = 2</math>.</p>
<p>Уметь: осуществлять поиск и анализ научно-технической информации о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов;</p>	<p>1. Четырехпольный пластинчатый электрофильтр характеризуется параметрами: расстояние между коронирующими и осадительными электродами 0,13 м; длина одного поля электрофильтра 3,0 м; напряженность поля у осадительных электродов 2,75 кВ/см; скорость потока газа в электрофильтре 1,2 м/с; коэффициент неравномерности поля скоростей 1,1; коэффициент вторичного уноса 0,8; относительная доля активной зоны 0,94; отношение концентрации пыли у осадительного электрода к средней концентрации по сечению 1,05; частицы диэлектрические, <math>\epsilon = 5,5</math>. Найти, учитывая вклад неактивных зон, фракционную степень очистки газа при следующих размерах частиц: <math>a = 5</math> мкм. Суммарная площадь осадительных электродов в одном поле электрофильтра 800 м<sup>2</sup>. Ток коронного разряда составляет 160 мА.</p>
<p>Уметь: самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой высоковольтных электротехнологий, расчет высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок и анализ эффективности их применения.</p>	<p>1. Твердые аэрозольные частицы двух сортов разделяются по электропроводности в коронном сепараторе. Разделяемые частицы имеют следующие параметры: <math>g(1)v_1 = 5 \cdot 10^{-6} \text{ 1/(Ом м)}</math>; <math>\epsilon(1)l = 80</math>; плотность 2,5 г/см<sup>3</sup>; радиус 50 мкм. <math>g(2)v_1 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ 1/(Ом м)}</math>; <math>\epsilon(2)l = 3</math>; плотность 2,5 г/см<sup>3</sup>; радиус 50 мкм. Радиус сепаратора барабана 0,14 м. Скорость вращения барабана 120 об/мин. Сила адгезии определяется <math>F_{ад} = K_1 m g</math>; где <math>K_1 = 1,15</math>. Напряженность поля на поверхности барабана равна 3 кВ/см. Требуется, с учетом сил зеркального отображения: 1) выбрать необходимую для разделения плотность тока коронного разряда;</p>

	<p>2) определить скорость вращения барабана <math>n</math>, при которой угол <math>\alpha</math> отрыва частицы с большей проводимостью от поверхности барабана составит 300;</p> <p>3) проверить возможность отрыва непроводящей частицы при <math>\alpha = 1500</math>, полагая, что зона коронного разряда распространена вплоть до этого угла.</p>
<p>Уметь: самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их для решения поставленной задачи;</p>	<p>1.Какая должна быть скорость конвейера, чтобы при напылении распылителем с внешней зарядкой на изделии получалось качественное покрытие (до возникновения интенсивной обратной короны – рациональное время напыления)? Какая толщина покрытия получается на изделии?</p> <p>Условия напыления: Расход порошкового материала через распылитель составляет 3,1 10<sup>-3</sup> кг/с; диаметр факела распыления 0,21 м; коэффициент осаждения 85 % для распылителей с внешней зарядкой; плотность упаковки порошкового слоя 0,63; удельный заряд частиц порошка 1,0 мКл/кг; средняя плотность тока коронного разряда на поверхность изделия 150 мкА/м<sup>2</sup>. Напыляется эпоксидный материал с плотностью 1300 кг/м<sup>3</sup> и относительной диэлектрической проницаемостью 4.</p>

#### Описание шкалы оценивания:

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Отлично», если решения всех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам

*Оценка: 4*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Хорошо», если решения двух из трех задач выполнены без ошибок и представлены аргументированные выводы по полученным расчетным результатам, а при решении третьей задачи допущены неточности в расчетах и непринципиальные ошибки

*Оценка: 3*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 60*

*Описание характеристики выполнения знания:* Контрольная работа считается выполненной на оценку «Удовлетворительно», если решения двух из трех задач выполнены в целом без принципиальных ошибок, но выводы по полученным расчетным результатам слабо аргументированы, а третья задача не решена или при ее решении допущены грубые ошибки

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* контрольная работа считается выполненной на оценку «Неудовлетворительно», если не решены две или три задачи

# СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

## 8 семестр

Форма промежуточной аттестации: Экзамен

### Пример билета

1. Виды электротехнологий с использованием сильных электрических полей и импульсных токов. Основные особенности и характеристики, области использования.
2. Модификация поверхности материалов в плазме газового разряда. Воздействие активных частиц на поверхность материалов. Процессы модификация поверхности полимерных материалов и соответствующие технологические эффекты.
3. В плоский горизонтальный канал входит ламинарный аэрозольный поток. Скорость потока газа  $u_{\text{ср}} = 1$  м/с; высота канала  $H = 0,03$  м; радиус частиц  $a = 12$  мкм; частицы диэлектрические с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4,5$  и предварительно заряжены в поле коронного разряда с напряженностью  $E_{\text{зар}} = + 2$  кВ/см; плотность материала частиц  $\rho = 2$  г/см<sup>3</sup>. Определить эффективность осаждения частиц под действием электрического поля и силы тяжести на длине  $L = 0,18$  м при приложенном к верхней стенке канала напряжении  $U = - 2,2$  кВ.

### Процедура проведения

Проводится в устной форме по билетам в виде подготовки и изложения развернутого ответа. Время на подготовку ответа – 60 минут.

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

**1. Компетенция/Индикатор:** ИД-2ПК-1 Выбирает параметры электрооборудования, учитывая технические и экономические ограничения

### Вопросы, задания

- 1.1. Начальные и разрядные напряжения при разных полярностях напряжения. Понятие коронного разряда. Вольтамперная характеристика коронного разряда.
  2. Понятие электросепарации. Классификация электросепараторов. Сепарация по электропроводности. Барабанный электростатический сепаратор. Барабанный коронно-электростатический сепаратор
  3. В вертикальном плоском канале шириной  $H = 0,15$  м частицы осаждаются из турбулентного потока. Частицы диэлектрические с относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 3$ , радиуса  $a = 9$  мкм, осаждаются в поле коронного разряда с напряженностью  $E$ . Скорость газа  $u = 1,1$  м/с. Определить напряженность поля  $E$ , при которой можно не учитывать турбулентного перемешивания. Определить эффективность осаждения частиц на длине канала  $L = 0,25$  м, если напряженность поля возрастет на 40 %.
- 2.1. Характеристика аэрозольных систем: понятие аэрозолей, виды аэрозолей.

2. Технологии конверсии газов в плазме газового разряда. Понятие G-фактора. Особенности конверсии летучих органических соединений. Конверсия оксидов азота и серы в плазме импульсного разряда. Очистка топочных газов от окислов азота и серы.

3. Частицы двух сортов разделяются по электропроводности в коронном электросепараторе. Разделяемые частицы имеют соответственно следующие параметры:

$g(1)v_1 = 10^{-6} \text{ 1/(Ом}\times\text{м)}$ ;  $\epsilon(1)l = 80$ ;  $g(1)\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$ ;  $r_1 = 40 \text{ мкм}$ .

$g(2)v_1 = 10^{-12} \text{ 1/(Ом}\times\text{м)}$ ;  $\epsilon(2)l = 4$ ;  $g(2)\rho = 2,5 \text{ г/см}^3$ ;  $r_1 = 40 \text{ мкм}$ .

Радиус барабана  $R = 0,12 \text{ м}$ ; скорость вращения  $n = 120 \text{ об/мин}$ . Сила адгезии определяется выражением  $F_{ад} = K_1 m g$ ; где  $K_1 = 1,4$ . Напряженность поля на поверхности барабана равна  $E = 2,75 \text{ кВ/см}$ . Требуется:

1. Найти угол  $\alpha$  отрыва частицы с большей проводимостью.

2. Проверить возможность отрыва непроводящей частицы при  $\alpha = 90^\circ$ , полагая, что зона коронного разряда распространена вплоть до этого угла.

3.1. Силы, действующие на частицу на поверхности электрода. Силы адгезии частиц к электроду.

2. Озон и его свойства. Способы получения озона. Электросинтез озона.

Технологические применения озона. Подготовка питьевой воды с использованием озона.

3. Рассчитать степень очистки газов в трехпольном электрофилт্রে: длина одного поля  $L_{п1} = 3,0 \text{ м}$ ; площадь осадительных электродов в одном поле электрофилтра  $S_{ос} = 800 \text{ м}^2$ ; расстояние между коронирующими и осадительными электродами  $H = 0,13 \text{ м}$ ; скорость потока газа в электрофилт্রে  $u = 1,0 \text{ м/с}$ ; коэффициент неравномерности поля скоростей  $ku = 1,2$ ; относительная доля активных зон  $0,9$ ; коэффициент вторичного уноса  $k_{ун} = 0,7$ ; напряженность поля у осадительных электродов  $E_{ос} = 3 \text{ кВ/см}$ ; радиус частиц  $a = 2,5 \text{ мкм}$ ; относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon = 4$ . Расчет провести в предположении  $s = 1,1$  и для значения тока, потребляемого каждым из полей электрофилтра  $I_{кр} = 200 \text{ мА}$ . Вязкость газа  $\eta = 1,45 \times 10^{-5} \text{ кг/(м}\times\text{с)}$ .

4.1. Поведение частицы на электроде в электрическом поле. Заряд, приобретаемый частицей на электроде. Силы, действующие на частицу на электроде со стороны электрического поля коронного разряда.

2. Очистка газов электрофилтрами: преимущества по сравнению с другими способами очистки. Принципиальная схема электрофилтра. Конструкция электрофилтров. Основные элементы электрофилтра. Требования к коронирующим и осадительным электродам.

3. Какая должна быть скорость конвейера, чтобы при напылении распылителем с внешней зарядкой на изделии получалось качественное покрытие ( $t_{напыл} < t_{рац}$ )? Какая толщина покрытия получается на изделии?

Условия напыления: расход порошкового материала через распылитель  $Q = 3,5 \times 10^{-3} \text{ кг/с}$ ; диаметр факела распыления  $d_{ф} = 0,22 \text{ м}$ ; коэффициент осаждения  $h = 80 \%$  для распылителей с внешней зарядкой; плотность упаковки порошкового слоя  $K_{уп} = 0,65$ ; удельный заряд частиц порошка  $q_{уд} = 1,1 \text{ мКл/кг}$ ; средняя плотность тока коронного разряда  $j_i = 130 \text{ мкА/м}^2$ . Напыляется эпоксидный материал с плотностью  $\rho = 1350 \text{ кг/м}^3$  и относительной диэлектрической проницаемостью  $\epsilon = 4$ .

5.1. Обратная корона с порошкового слоя. Время возникновения обратной короны.

Влияние слоя на электроде на вольт-амперную характеристику коронного разряда. Сила, действующая на порошковый слой на электроде в поле коронного разряда.

2. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация.

3. Даны характеристики порошкового слоя: толщина  $H = 3$  мм; удельное сопротивление  $r_v = 1011$  Ом×м; относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_1 = 1,5$ . Плотность тока на слой  $j = 1,5 \times 10^{-4}$  А/м<sup>2</sup>. Относительная плотность воздуха  $d = 0,9$ . Напряженность поля у поверхности слоя  $E_k = 3$  кВ/см.

Найти время образования обратной короны и силу, действующую на слой.

6.1. Ламинарный и турбулентный режим движения. Характеристика турбулентного режима течения. Коэффициент турбулентной диффузии. Осаждение монодисперсных частиц из турбулентного потока поле постоянных внешних сил. Случаи преобладания направленного движения и преобладания турбулентного перемешивания.

Эффективность осаждения из турбулентного потока.

2. Статическая электризация и ее последствия. Методы измерения основных параметров, характеризующих статическую электризацию. Статическое электричество при перекачке нефти по трубопроводам.

3. В круглую трубу со скоростью  $u = 0,75$  м/с входит аэрозольный поток, содержащий частицы радиусом  $a = 10$  мкм и зарядом  $q = 1 \times 10^{-14}$  Кл. Плотность материала частиц  $\rho = 3$  г/см<sup>3</sup>.

Определить, на какой длине трубы концентрация аэрозольных частиц в результате электростатического рассеяния уменьшится на 50 %, если входная концентрация составляет  $\rho_0 = 20$  г/м<sup>3</sup>.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. К какому виду высоковольтных электротехнологий относится электросепарация?

Ответы:

- 1 - Технологии на основе применения сильных электрических полей
- 2 - Плазмохимические технологии
- 3 - Электроимпульсные технологии

Верный ответ: 1

2. От чего зависит степень очистки газа в электрофилт্রে?

Ответы:

- 1 - проводимость частиц
- 2 - атмосферных условий
- 3 - размера частиц
- 4 - цвета частиц

Верный ответ: 1,3

3. В каких высоковольтных электротехнологиях не используется коронный разряд?

Ответы:

- 1 - электросепарация
- 2 - электромагнитная штамповка
- 3 - электрофилтры
- 4 - нейтрализация статического электричества

Верный ответ: 2

4. Какой вид нейтрализаторов статического электричества применяется при производстве кино-фотографических пленок и пластин?

Ответы:

- 1 - пассивный
- 2 - радиоактивный
- 3 - высоковольтный активный
- 4 - аэродинамический

Верный ответ: 4

## 2. Компетенция/Индикатор: ИД-5<sub>ПК-1</sub> Анализирует результаты расчетов и исследований

### Вопросы, задания

1.1. Плазмохимические технологии. Основы плазмохимических преобразований: химически активные частицы, скорость химической реакции, константа скорости реакции, энергия активации. Особенности плазмохимических реакций.

2. Степень очистки газов в электрофильтрах. Особенности определения эффективности осаждения частиц в электрофильтрах. Способы борьбы с обратной короной в электрофильтрах.

3. Даны характеристики порошкового слоя: толщина  $H = 4$  мм; удельное сопротивление  $r_v = 1012$  Ом $\times$ м; относительная диэлектрическая проницаемость  $\epsilon_1 = 1,8$ . Плотность тока на слой  $j = 1,5 \times 10^{-4}$  А/м<sup>2</sup>. Относительная плотность воздуха  $d = 1,25$ . Напряженность поля у поверхности слоя  $E_k = 2$  кВ/см.

Найти время образования обратной короны и силу, действующую на слой.

2.1. Ламинарный и турбулентный режим движения. Характеристика турбулентного режима течения. Коэффициент турбулентной диффузии. Осаждение монодисперсных частиц из турбулентного потока поле постоянных внешних сил. Случаи преобладания направленного движения и преобладания турбулентного перемешивания. Эффективность осаждения из турбулентного потока.

2. Принцип действия барьерного озонатора. Влияние зазора, диэлектрического барьера, частоты питающего напряжения на выходные характеристики озонатора.

3. Частица (полуэллипсоид) лежит на горизонтальном электроде в поле коронного разряда с плотностью тока  $j = 100$  мкА/м<sup>2</sup> и напряженностью поля у электрода  $E_k = 1$  кВ/см.

Параметры частицы: полуоси  $a/b = a/c = 2$ ; плотность материала частицы  $2$  г/см<sup>3</sup>;  $\epsilon_1 = 4$ .

Проводимость частицы: а)  $g_{v1} = 10^{-11}$  1/(Ом $\times$ м); б)  $g_{v1} = 4 \times 10^{-9}$  1/(Ом $\times$ м); в)  $g_{v1} = 10^{-8}$  1/(Ом $\times$ м).

Определить диапазон значений  $b$  (размеров частицы), при которых частица будет отрываться от электрода.

3.1. Порошковый слой и его основные характеристики. Зарядка и разрядка порошкового слоя на электроде в электрическом поле коронного разряда.

2. Барабанный трибоэлектростатический сепаратор. Сепараторы с кипящим слоем (трибоэлектростатические флюидизационные сепараторы). Трибоэлектростатический сепаратор свободного падения.

3. В вертикальном плоском канале шириной  $H = 0,2$  м частицы осаждаются под действием электрической силы из турбулентного потока.

Частицы проводящие, радиуса  $a = 2,5$  мкм, предварительно заряжены в поле коронного разряда с напряженностью  $E_{зар} = 2,5$  кВ/см. Скорость газа в канале  $u = 1,15$  м/с.

Найти напряженность поля в канале  $E_1$ , при которой можно считать, что частицы равномерно перемешиваются в потоке.

Определить эффективность осаждения частиц на длине канала  $L = 3,0$  м, если напряженность поля в канале составляет  $E = 0,9 \times E_1$ .

4.1. Ламинарный и турбулентный режим движения. Характеристика турбулентного режима течения. Коэффициент турбулентной диффузии. Осаждение монодисперсных

частиц из турбулентного потока поле постоянных внешних сил. Случаи преобладания направленного движения и преобладания турбулентного перемешивания.  
Эффективность осаждения из турбулентного потока.

2. Статическая электризация и ее последствия. Методы измерения основных параметров, характеризующих статическую электризацию. Статическое электричество при перекачке нефти по трубопроводам.

3. В круглую трубу со скоростью  $u = 0,75$  м/с входит аэрозольный поток, содержащий частицы радиусом  $a = 10$  мкм и зарядом  $q = 1 \times 10^{-14}$  Кл. Плотность материала частиц  $\rho = 3$  г/см<sup>3</sup>.

Определить, на какой длине трубы концентрация аэрозольных частиц в результате электростатического рассеяния уменьшится на 50 %, если входная концентрация составляет  $\rho_0 = 20$  г/м<sup>3</sup>.

### Материалы для проверки остаточных знаний

1. Какой вид зарядки частиц применяется при диэлектрической сепарации?

Ответы:

- 1 - зарядка в поле коронного разряда
- 2 - индукционная зарядка
- 3 - статическая электризация
- 4 - никакой

Верный ответ: 4

2. Какие вещества образуются при плазмохимическом синтезе?

Ответы:

- 1 - вода
- 2 - озон
- 3 - аммиак
- 4 - золото

Верный ответ: 2

3. Частицы какого диапазона размера практически не улавливаются в электрофильтре?

Ответы:

- 1 - 1-20 мкм
- 2 - 20-200 мкм
- 3 - 200-2000 мкм
- 4 - 2000-20000 мкм

Верный ответ: 4

4. При каких числах Рейнольдса течение в канале будет иметь турбулентный характер?

Ответы:

- 1 - 0,1
- 2 - 30
- 3 - 1000
- 4 - 20000

Верный ответ: 4

5. Какая сила всегда прижимает частицу к поверхности электрода?

Ответы:

- 1 - сила зеркального отображения
- 2 - сила тяжести
- 3 - центробежная сила

Верный ответ: 1

6. Какой вид зарядки используется в технологиях нанесения полимерных порошковых покрытий в электрическом поле?

Ответы:

1 - зарядка в поле коронного разряда

2 - индукционная зарядка

3 - статическая электризация

Верный ответ: 2

## **II. Описание шкалы оценивания**

*Оценка: 5*

*Нижний порог выполнения задания в процентах: 90*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание, который показал при ответе на вопросы экзаменационного 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: 80*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «ХОРОШО» выставляется студенту, правильно выполнившему практическое задание и 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: 60*

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

*Оценка: 2*

*Описание характеристики выполнения знания:* Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы экзаменационного билета и не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из билета; б) не смог решить, либо наметить правильный путь решения задачи из экзаменационного билета и другой задачи на тот же раздел дисциплины, выданной взамен нее; в) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

## **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 аттестационной составляющих.