

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

Направление подготовки/специальность: 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

Наименование образовательной программы: Техника и электрофизика высоких напряжений

Уровень образования: высшее образование - магистратура

Форма обучения: Очная

**Оценочные материалы
по дисциплине
Техника и электрофизика высоких напряжений в электротехнологиях**

**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-2d4db008

А.Г. Темников

СОГЛАСОВАНО:

Руководитель
образовательной
программы

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Лебедева Н.А.
	Идентификатор	R75716a03-LebedevaNA-99306648

Н.А.
Лебедева

Заведующий
выпускающей кафедрой

	Подписано электронной подписью ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»	
	Сведения о владельце ЦЭП МЭИ	
	Владелец	Темников А.Г.
	Идентификатор	Ra0abb123-TemnikovAG-2d4db008

А.Г.
Темников

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 Способен применять методы анализа, разрабатывать и обосновывать технические решения при проектировании объектов профессиональной деятельности (техники и электрофизики высоких напряжений)

ИД-5 Демонстрирует понимание возможности использования высоких напряжений для новых и перспективных проектных и технологических решений

и включает:

для текущего контроля успеваемости:

Форма реализации: Защита задания

1. Защита лабораторных работ №1 и №2 (Лабораторная работа)
2. Защита лабораторных работ №3 и №4 (Лабораторная работа)
3. Защита лабораторных работ №5 и №6 (Лабораторная работа)

Форма реализации: Письменная работа

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

БРС дисциплины

3 семестр

Перечень контрольных мероприятий текущего контроля успеваемости по дисциплине:

- КМ-1 Контрольная работа №1 (Контрольная работа)
КМ-2 Контрольная работа №2 (Контрольная работа)
КМ-3 Защита лабораторных работ №1 и №2 (Лабораторная работа)
КМ-4 Защита лабораторных работ №3 и №4 (Лабораторная работа)
КМ-5 Защита лабораторных работ №5 и №6 (Лабораторная работа)

Вид промежуточной аттестации – Зачет с оценкой.

Раздел дисциплины	Веса контрольных мероприятий, %					
	Индекс КМ:	КМ-1	КМ-2	КМ-3	КМ-4	КМ-5
	Срок КМ:	7	15	4	9	14
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	+	+	+	+	+
Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей					
Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей	+	+	+	+	+
Высоковольтные плазмохимические технологии, процессы и аппараты					
Высоковольтные плазмохимические технологии, процессы и аппараты	+	+	+	+	+
Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества					
Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества	+	+	+	+	+
Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты импульсного воздействия на материалы					
Высоковольтные электротехнологические процессы и аппараты импульсного воздействия на материалы	+	+	+	+	+
Аэрозольные электрогазодинамические устройства и аппараты					
Аэрозольные электрогазодинамические устройства и аппараты	+	+	+	+	+
Вес КМ:	14	28	14	14	30

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-5ПК-2 Демонстрирует понимание возможности использования высоких напряжений для новых и перспективных проектных и технологических решений	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 конструкциям высоковольтных электротехнологических аппаратов действующие подходы в области проектирования и применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок основные методы и	КМ-1 Защита лабораторных работ №1 и №2 (Лабораторная работа) КМ-2 Контрольная работа №1 (Контрольная работа) КМ-3 Защита лабораторных работ №3 и №4 (Лабораторная работа) КМ-4 Защита лабораторных работ №5 и №6 (Лабораторная работа) КМ-5 Контрольная работа №2 (Контрольная работа)

		методики расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов Уметь: осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой высоковольтных электротехнологий, расчеты высоковольтных электротехнологических аппаратов и анализ эффективности их применения самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их	
--	--	--	--

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

II. Содержание оценочных средств. Шкала и критерии оценивания

КМ-1. Контрольная работа №1

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 14

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Контрольная работа №1 охватывает первые два раздела дисциплины ("*Процессы осаждения аэрозольных частиц в электрическом поле*" и "*Процессы на осадительном электроде*") и затрагивает следующие темы:

1. Эффективность осаждения частиц из ламинарного и турбулентного потока;
2. Силы, действующие на частицы на осадительном электроде;
3. Силы, действующие на порошковый слой на электроде.

Контрольная работа содержит три задачи.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов	1. В горизонтальный плоский канал шириной $0,03$ м входит ламинарный аэрозольный поток со скоростью $0,8$ м/с. Радиус частиц 20 мкм. Частицы проводящие и предварительно заряжены в поле коронного разряда с напряженностью 3 кВ/см. Плотность материала частиц: $2 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Напряженность электрического поля в канале 2 кВ/см. Определить, на какой из стенок канала будет происходить осаждение и чему равна эффективность осаждения на длине $0,15$ м под действием электрического поля и силы тяжести. 2. На горизонтальном электроде лежат два полуэллипсоида с полуосями $a/b = a/c = 2$ и $b = 10$ мкм. Поле коронного разряда характеризуется напряженностью 4 кВ/см и плотностью тока 2×10^{-4} А/м². Параметры первой частицы: относительная диэлектрическая проницаемость 3; удельное сопротивление материала частицы 10^8 Ом м. Плотность материала частицы $2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$.

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	Параметры второй частицы: относительная диэлектрическая проницаемость 2; удельное сопротивление материала частицы 10^{10} Ом м. Плотность материала частицы $1,3 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Определить, через какие промежутки времени частицы оторвутся от поверхности электрода.
Уметь: самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой высоковольтных электротехнологий, расчеты высоковольтных электротехнологических аппаратов и анализ эффективности их применения	1. Частица (полуэллипсоид) лежит на горизонтальном электроде в поле коронного разряда с плотностью тока $100 \frac{\text{мкА}}{\text{м}^2}$ и напряженностью поля у электрода 1 кВ/см. Параметры частицы: полуоси $a/b = a/c = 2$; плотность материала частицы $2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$; $\varepsilon_1 = 4$. Проводимость частицы: а) $\gamma_{v_1} = 10^{-11} \frac{1}{\text{Омм}}$; б) $\gamma_{v_1} = 4 \times 10^{-9} \frac{1}{\text{Омм}}$; в) $\gamma_{v_1} = 10^{-8} \frac{1}{\text{Омм}}$. Определить диапазон значений b (размеров частицы), при которых частица будет отрываться от электрода через $0,1$ с. 2. В вертикальном плоском канале шириной $0,22 \text{ м}$ частицы осаждаются под действием электрической силы из турбулентного потока. Частицы проводящие, радиуса 16 мкм, осаждаются в поле коронного разряда с напряженностью E. Скорость газа в канале $0,95 \text{ м/с}$. Найти напряженность поля в канале E, при которой можно считать, что частицы осаждаются без перемешивания. Определить эффективность осаждения частиц на длине канала $0,25 \text{ м}$, если напряженность поля в канале увеличится на 20%.
Уметь: самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их для решения поставленной задачи	1. В вертикальном плоском канале шириной $0,18 \text{ м}$ частицы осаждаются под действием электрической силы из турбулентного потока. Частицы проводящие, радиуса 1 мкм, осаждаются в поле коронного разряда с

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	напряженностью E. Скорость газа в канале 1 м/с. Найти напряженность поля в канале E, при которой можно считать, что частицы равномерно перемешиваются в потоке. Определить эффективность осаждения частиц на длине канала 3 м, если напряженность поля в канале уменьшится на 10%. 2. В плоский горизонтальный канал входит ламинарный аэрозольный поток. Скорость потока газа $1,2 \text{ м/с}$; высота канала $0,025 \text{ м}$; радиус частиц 14 мкм; частицы диэлектрические с относительной диэлектрической проницаемостью 3 и предварительно положительно заряжены в поле коронного разряда с напряженностью 3 кВ/см; плотность материала частиц $3,4 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}$. Определить эффективность осаждения частиц под действием электрического поля и силы тяжести на длине $0,2 \text{ м}$ при приложенном к верхней стенке канала напряжении 3 кВ.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 не принципиальные ошибки.

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

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 («неудовлетворительно»)

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

КМ-2. Контрольная работа №2

Формы реализации: Письменная работа

Тип контрольного мероприятия: Контрольная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 28

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде изложения развернутого ответа на вопросы задания. Время на подготовку ответа – 60 минут.

Краткое содержание задания:

Тема контрольной работы №2: «Электростатическое рассеяние аэрозоля; эффективность очистки газов в электрофильтрах; электрическая сепарация частиц; порошковые распылители с внешней и внутренней зарядкой».

Контрольная работа состоит из трёх задач, для решения которых, студенту нужно применить знания по следующим разделам дисциплины: "Коллективные процессы в аэрозольных системах", "Электротехнологические процессы и аппараты, основанные на применении сильных электрических полей", "Высоковольтные плазмохимические технологии, процессы и аппараты", "Процессы статической электризации и методы борьбы с проявлениями статического электричества " и "Аэрозольные электрогазодинамические устройства и аппараты".

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Уметь: осуществлять поиск и анализировать научно-техническую информацию о существующих и новых направлениях применения высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов и выбирать необходимые конструкционные элементы высоковольтных электротехнологических аппаратов	1. Какая должна быть скорость конвейера, чтобы при напылении распылителем с внешней зарядкой на изделии получалось качественное покрытие (до возникновения интенсивной обратной короны)? Какая толщина покрытия получается на изделии? Условия напыления: Расход порошкового материала через распылитель 3×10^{-3} кг/с; диаметр факела распыления 0,22 м; коэффициент осаждения 85 % для распылителей с внешней зарядкой; плотность упаковки порошкового слоя 0,5; удельный заряд частиц порошка 1,1 мКл/кг; средняя плотность тока коронного разряда $125 \frac{\text{мкА}}{\text{м}^2}$. Напыляется эпоксидный материал с плотностью 1300 кг/м³ и относительной диэлектрической проницаемостью 4.
Уметь: самостоятельно выполнять расчеты процессов, являющихся основой высоковольтных электротехнологий, расчеты высоковольтных электротехнологических аппаратов и анализ эффективности их применения	1. В круглую трубу со скоростью 0,65 м/с входит аэрозольный поток, содержащий частицы радиусом 15 мкм и зарядом 1×10^{-14} Кл. Плотность материала частиц 3 г/см³. Определить, на какой длине трубы концентрация аэрозольных частиц в результате электростатического рассеяния уменьшится на 80 %, если массовая входная концентрация составляет 25 г/м³.

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	Найти время образования обратной короны и силу, действующую на слой. 2. Частицы двух сортов разделяются по электропроводности в коронном сепараторе. Разделяемые частицы имеют следующие параметры: $\gamma_{v_1}^{(1)} = 5 \times 10^{-6} \frac{1}{\text{Омм}}; \varepsilon^{(1)}_1 = 80; \text{плотность } 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \text{радиус } 45 \text{ мкм. } \gamma_{v_1}^{(2)}$ $= 10^{-12} \frac{1}{\text{Омм}}; \varepsilon^{(2)}_1 = 3; \text{плотность } 2,5 \text{ г/см}^3; \text{радиус } 45 \text{ мкм.}$ Радиус сепаратора барабана $0,14 \text{ м}$. Скорость вращения барабана 110 об/мин. Сила адгезии определяется $F_{\text{ад}} = K_1 \times m \times g$; где $K_1 = 1,2$. Напряженность поля на поверхности барабана равна $2,5 \text{ кВ/см}$. Требуется, с учетом сил зеркального отображения: 1) выбрать необходимую для разделения плотность тока коронного разряда; 2) определить скорость вращения барабана n, при которой угол α отрыва частицы с большей проводимостью от поверхности барабана составит 450; 3) проверить возможность отрыва непроводящей частицы при $\alpha = 1500$, полагая, что зона коронного разряда распространена вплоть до этого угла.
Уметь: самостоятельно разбираться в методиках расчета высоковольтных электротехнологических установок и применять их для решения поставленной задачи	1. Даны вольт-амперные характеристики, снятые в системе электродов «коаксиальные цилиндры» со слоем и без него. Радиус большего цилиндра $0,14 \text{ м}$. Толщина слоя 2 мм. Построить зависимость удельного сопротивления от плотности тока. Определить силу, действующую на слой, при линейном токе $0,2 \text{ мА/м}$, полагая, что напряженность поля у поверхности слоя равна 2 кВ/см, а относительная диэлектрическая проницаемость слоя равна 2. 2. Частицы двух сортов разделяются по электропроводности в коронном электросепараторе. Разделяемые частицы имеют соответственно следующие параметры:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
	$\gamma_{v_1}^{(1)} = 10^{-6} \frac{1}{\text{Омм}}; \varepsilon^{(1)}_1$ $= 80; \text{плотность } 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \text{радиус } 40 \text{ мкм. } \gamma_{v_1}^{(2)}$ $= 10^{-12} \frac{1}{\text{Омм}}; \varepsilon^{(2)}_1$ $= 3; \text{плотность } 2,5 \frac{\text{г}}{\text{см}^3}; \text{радиус } 40 \text{ мкм.}$ Радиус барабана $0,1 \text{ м}$; скорость вращения 100 об/мин. Сила адгезии определяется выражением $F_{\text{ад}} = K_1 \times m \times g$; где $K_1 = 1,5$. Напряженность поля на поверхности барабана равна $3,2 \text{ кВ/см}$. Требуется, с учетом сил зеркального отображения: Выбрать необходимую для эффективного разделения плотность тока коронного разряда. Найти угол отрыва частицы с большей проводимостью. Проверить возможность отрыва непроводящей частицы при угле 135°, полагая, что зона коронного разряда распространена вплоть до этого угла. 3. Четырехпольный пластинчатый электрофильтр характеризуется параметрами: расстояние между коронирующими и осадительными электродами $0,14 \text{ м}$; длина одного поля электрофильтра $2,5 \text{ м}$; напряженность поля у осадительных электродов 3 кВ/см; скорость потока газа в электрофильтре $1,2 \text{ м/с}$; коэффициент неравномерности поля скоростей $1,1$; коэффициент вторичного уноса $0,8$; относительная доля активной зоны $0,9$; отношение концентрации пыли у осадительного электрода к средней концентрации по сечению $1,0$; частицы диэлектрические, $\varepsilon = 5$. Найти, учитывая вклад неактивных зон, фракционную степень очистки газа при следующих размерах частиц: $a = 4 \text{ мкм}$. Суммарная площадь осадительных электродов в одном поле электрофильтра 1000 м^2. Ток коронного разряда составляет 150 мА.

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

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 («неудовлетворительно»)

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

КМ-3. Защита лабораторных работ №1 и №2

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 14

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в устной форме в виде подготовки и изложения развернутого ответа на поставленные вопросы. Время на подготовку ответа – 45 минут.

Краткое содержание задания:

Лабораторная работа №1.

*Изучение основ технологического применения озона
(2 часа)*

Цель работы:

- 1) Ознакомление с распространенными схемами технологического применения озона;
- 2) Исследование выходных характеристик генератора озона;
- 3) Изучение процесса растворения (абсорбции) озона из озono-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).

Описание установки

Лабораторный стенд состоит из следующих основных узлов (рис. 1):

- микрокомпрессор 1, номинальный расход воздуха - 5 л/мин, максимальное давление 1,5 ати;
- блок осушки воздуха 2: принцип осушителя основан на адсорбции молекул воды на поверхности гранул сорбента, которым в работе является силикагель;
- измеритель расхода газа (ротаметр) 3;
- генератор озона 4 с поверхностным разрядом: электросинтез озона происходит в плазме поверхностного разряда; на лицевой панели установки находятся тумблер включения, ручки регулировки режима работы озонатора “Грубо”, “Плавно” и стрелочный прибор, показывающий значения напряжений, подаваемых на генератор озона;
- барботажная камера 7 (объем камеры - 2л); основные штуцера камеры:
 - подача воды (находится на верхней части стенда и имеет герметичную пробку);
 - штуцер подачи озона в газовый распылитель 8;
 - штуцер газосброса;
 - вентиль слива воды;
- разложитель озона 12: предотвращает выброс озона в атмосферу;

- измерители концентрации озона в газовой 6 и жидкой 10 фазах;
- измеритель светопоглощения в воде (колориметр) 9;
- коммутатор 5.

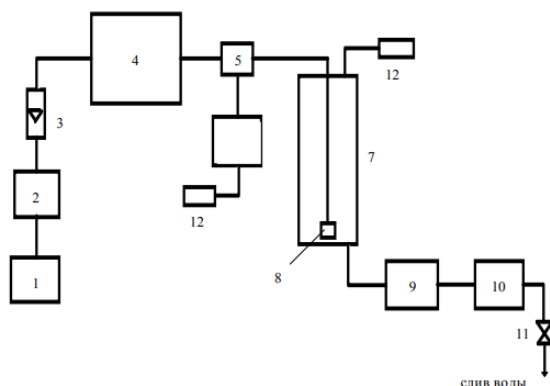


Figure 1 Рис. 1.

- | | |
|--|---|
| 1 - микрокомпрессор | 7 - барботажная камера |
| 2 - осушитель воздуха | 8 - распылитель |
| 3 - ротаметр | 9 - колориметр |
| 4 - генератор озона | 10 - измеритель концентрации озона в жидкости |
| 5 - коммутатор | 11 - вентиль |
| 6 - измеритель концентрации озона в газе | 12 - деструктор озона |

Стенд функционирует следующим образом: воздух, нагнетаемый микрокомпрессором 1, через блок осушки 2 поступает в генератор озона 4, где в плазме поверхностного разряда происходит синтез озона. Расход газовой фазы контролируется ротаметром 3, а концентрация озона - измерителем 6. Далее в барботажной камере 7 происходит растворение озона в воде, неиспользованная часть которого через газосброс и разложитель 12 выбрасывается в атмосферу. После насыщения воды она через штуцер слива заполняет кювету колориметра 9 для измерения прозрачности воды. При необходимости измерять остаточный озон в воде последовательно колориметру подсоединяется измеритель концентрации озона в жидкости 10.

Необходимо постоянно помнить о том, что озон - крайне ядовитое и опасное вещество, и соблюдение техники безопасности - основополагающий фактор всей работы. Поэтому при проведении измерений запрещается открывать пробку входного патрубка!

Задание на предварительную подготовку

1. Рассчитать концентрацию озона на выходе озонатора и построить ее зависимость от напряжения, приложенного к озонатору (до 5 кВ), при трех расходах газа: 0,5 л/мин, 1 л/мин и 2 л/мин. Считать, что напряжение возникновения разряда $U_{г} = 2,1$ кВ, емкость диэлектрического барьера $C_{б} = 320$ пФ, емкость разрядного промежутка $C_{п} = 100$ пФ, частота питающего напряжения 13 кГц. При расчете использовать зависимость концентрации озона от фактора удельной энергии.
2. Построить зависимость производительности озонатора от приложенного напряжения для указанных трех расходов газа. Определить оптимальный для обработки воды режим работы озонатора при расходе газа $V_{г} = 0,5$ л/мин.
3. Определить время барботажного озono-воздушной смеси, необходимое для обработки воды объемом $V_{в} = 1,5$ л с дозой озона, растворенного в воде, $DO_{з} = 0,5$ мг/л. При расчете принять высоту водяного столба в барботажной камере $h_{в} = 0,37$ м, диаметр пузырьков при их всплытии считать неизменным и равным $d = 3$ мм. Расход воздуха при барботаже составляет $V_{г} = 0,5$ л/мин, а концентрация озона в газе не меняется и равна значению, найденному в предыдущем пункте. Температура обрабатываемой воды $t_{в} = +20^{\circ}\text{C}$, которой соответствует коэффициент распределения $R_t = 0,22$.

Порядок проведения экспериментов

1. Кнопкой “Вкл” подать напряжение на лабораторный стенд.
2. Включить для прогрева измерительные приборы.
3. Провести измерения выходных характеристик озонатора. Для этого необходимо:
 - 3.1. Тумблер коммутатора газового тракта перевести в положение “1”.
 - 3.2. Включить микрокомпрессор и установить расход воздуха 0,5 л/мин.
 - 3.3. Установить переключатель регулировки напряжения на генераторе озона “Трубо” и “Плавно” в крайнее левое положение.
 - 3.4. Включить тумблером “Вкл.” генератор озона.
 - 3.5. Установить ноль на измерителе озона.
 - 3.6. Ручками регулировки изменить напряжение, подаваемое на генератор озона.
 - 3.7. При помощи измерителя определить концентрацию озона в газе.
 - 3.8. Пункты 3.2.-3.7. повторить для расходов воздуха 1 л/мин и 2 л/мин.
 - 3.9. Построить графики выходных характеристик генератора озона σ и G от напряжения для трех расходов газа.
 - 3.10. Исходя из полученных результатов, выбрать оптимальные значения подаваемого напряжения и расхода газа.
4. Изучить взаимодействие озона с загрязняющими примесями в воде. Для этого необходимо:
 - 4.1. Убедиться, что генератор озона выключен.
 - 4.2. Тумблер коммутатора газового тракта перевести в положение “II”.
 - 4.3. Установить показания стрелочного измерительного прибора колориметра в положение “100” ($A_0 = 100$).
 - 4.4. Подготовить 1,5 л раствора загрязненной воды и залить его через входной патрубок в барботажную камеру. Плотнo закрыть пробку заливного патрубка.
 - 4.5. Открыть сливной вентиль и установить расход 0,05 л/мин.
 - 4.6. По стрелочному прибору колориметра определить значения A , соответствующие начальному световому потоку Φ , проходящему через раствор загрязненной воды.
 - 4.7. Включить генератор озона и для выбранных параметров работы генератора озона провести барботаж газа через воду. Один раз в 1 мин. регистрировать показания A стрелочного прибора колориметра, соответствующие световому потоку Φ , проходящего через загрязненную воду. Эксперимент считать завершенным, если показания A стрелочного прибора изменились не более, чем на 5 % от предыдущего измерения.
 - 4.8. Отключить генератор озона и компрессор.
 - 4.9. Пункты 4.4. - 4.8. повторить для режима работы озонатора с два раза меньшей производительностью по озону.
- 5* . Изучить процесс насыщения озоном воды. Для этого необходимо:
 - 5.1. Промыть барботажную камеру чистой водой.
 - 5.2. После сливного вентиля подсоединить к водяной магистрали измеритель концентрации озона в жидкости. Подсоединить измеритель к сетевому питанию и включить прибор для прогрева.
 - 5.3. Убедиться, что генератор озона выключен.
 - 5.4. Проверить, что тумблер коммутатора газового тракта находится в положении “II”.
 - 5.5. Залить 1,5 л воды через входной патрубок в барботажную камеру. Плотнo закрыть пробку входного патрубка.
 - 5.6. Открыть сливной вентиль и установить расход воды 0,05 л/мин.
 - 5.7. Установить показания измерителя концентрации озона в жидкости в положение “0”.
 - 5.8. Включить генератор озона и для выбранных параметров работы генератора озона провести барботаж газа через воду. Один раз в 1 мин. производить измерения концентрации озона в воде. Эксперимент считать завершенным, если концентрация озона изменилась не более чем на 5 % по отношению к предыдущему измерению.
 - 5.9. Отключить генератор озона и компрессор.
6. Отключить генератор озона, микрокомпрессор, измерительные приборы.

Обработка экспериментальных данных

1. Построить зависимость коэффициента пропускания света от времени обработки загрязненной воды озono-воздушной смесью. Сделать выводы по результатам эксперимента.
- 2* . Построить зависимость концентрации озона в воде от времени барботирования озonoвоздушной смеси. Сделать вывод по результатам эксперимента.
- 3* . Определить коэффициент распределения и постоянную Генри.
4. Сделать общие выводы.

Лабораторная работа №2.

Исследование работы барьерного озонатора

(2 часа)

Цель работы

1. Ознакомление с конструкцией барьерного озонатора, принципом его работы и выходными параметрами.
2. Исследование режимов работы барьерного озонатора, определение концентрации озона, активной мощности разряда.

Описание установки

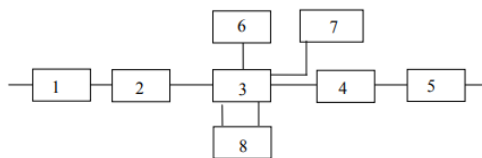


Figure 2 Рис. 1. Блок - схема установки

1 - компрессор; 2 - осушитель воздуха; 3 - озонатор; 4 - измеритель концентрации O_3 ; 5 - разложитель озона; 6 - источник высокого напряжения; 7 - блок электрических измерений; 8 - водяное охлаждение.

На рис. 1 представлена блочная схема установки, включающая, помимо электрической части вспомогательные устройства для осушки газа, водяного охлаждения, компрессор, разложитель озона и измеритель концентрации озона. Измерение концентрации озона осуществляется по спектру поглощения при пропускании света ртутной лампы через специальную кварцевую кювету, внутри которой проходит поток газа с озоном. Выходным прибором измерителя концентрации служит микроамперметр, пересчет показаний которого дает значение концентрации озона. Вся шкала прибора (100 делений) соответствует концентрации озона в газе 20 мг/л или примерно 1 % объемный. Осушка газа осуществляется пропусканием воздуха через осушитель с силикагелем. Расход газа измеряется ротаметром в делениях, пересчитываемых затем в л/мин. Для уничтожения озона в выходящем из озонатора потоке газа, что необходимо в целях безопасности для предотвращения отравления (озон является мощным окислителем, и вдыхание воздуха с высокой концентрацией озона приводит к ожогу дыхательных путей) используется разложитель с цианитом, при взаимодействии с которым происходит разложение озона.

Задание на предварительную подготовку

1. Ознакомиться с данным описанием.
2. Рассчитать максимальное значение переменного напряжения на электродах озонатора, при котором произойдет пробой промежутка. Озонатор представляет собой

коаксиальную систему электродов с диаметром электродов $D_n = 43$ мм и $D = 40$ мм; это создает промежуток длиной 1.5 мм. Электрическое поле в воздушном промежутке можно считать однородным. Для такого поля максимальное значение пробивного напряжения в кВ:

$$U_{пр} = 24.5 \cdot \delta l + 6.4 \sqrt{\delta l},$$

где δ - относительная плотность воздуха; l - расстояние между электродами, см.

3. Рассчитать энергозатраты на получение озона в следующем режиме работы озонатора: объемный расход газа 1 л/мин, концентрация озона $CO_3 = 20$ г/м³, активная мощность разряда $P = 15$ Вт.

Задание на проведение работы

Внимание! Первое включение установки на высокое напряжение и переключение с одной частоты на другую осуществляется только преподавателем!

1. Убедиться в том, что установка готова к работе: на пульт подано напряжение и горит сигнальная лампа Л1, включен компрессор и ротаметр, показывает расход воздуха 40 делений, что соответствует 1 л/мин, включено водяное охлаждение озонатора, включен измеритель концентрации озона и его выходной прибор показывает "0".
2. Убедиться в том, что переключатель источников питания находится в положении 1000 Гц, закрыта дверца на левой боковой панели пульта, горит сигнальная лампа источника 1000 Гц, его переключатель напряжения П1 находится в крайнем левом положении, включен рубильник "видимого разрыва" на правой боковой панели пульта. Включить кнопку "ВКЛ" магнитного пускателя. На пульте загорается лампа Л2 "высокое напряжение". Установка готова к работе.
3. Записать значение тока через озонатор и напряжения при первом положении переключателя П2. Убедиться в том, что концентрация озона равна "0". Поставить переключатель в положение 2, записать значения напряжения и тока и проверить значение концентрации озона. Если концентрация начала расти, убедиться в наличии разряда, посмотрев в торец озонатора через окошко на пульте. Выждать, пока не установится неизменное значение концентрации (примерно 1 мин.) и записать его.
4. Повторить п.3 переключив переключатель П2 в положение 3, 4, 5. При каждом напряжении записывать значения концентрации озона после того, как показания микроамперметра М1 перестанут изменяться. Записать значения тока и напряжения при каждом положении переключателя.
5. Для одного из значений напряжения (например в 4-ом положении переключателя) изменить расход газа и убедиться, что происходит изменение концентрации озона. Записать значение расхода газа и соответствующее значение концентрации озона.
6. Перевести переключатель П2 в первое положение и нажать кнопку "ВЫКЛ". Высокое напряжение отключается от озонатора.
7. Выключить рубильник "видимого разрыва", и перейти к работе с источником 600 Гц. После подключения источника 600 Гц включить "видимый разрыв". Включить кнопку высокого напряжения. Повторить измерения по пункту 4 в положениях 1, 2, 3 переключателя П1.
8. Повторить пункты 5 и 6 задания для частоты 1500 Гц.
9. По найденным значениям токов и напряжений для частоты 1000 Гц построить кривую $I_{ср} = f(U)$ в виде двух пересекающихся прямых. Найти значения $I_{кр}$ и $U_{гор}$. С помощью полученной кривой рассчитать значения активной мощности разряда и построить кривую зависимости концентрации озона от мощности разряда.

10. Для одного значения напряжения на озонаторе построить кривую зависимости концентрации озона от частоты напряжения.

11. Для частоты 1000 Гц, расхода газа 1 л/мин и максимального напряжения рассчитать производительность озонатора и затраты энергии на получение озона. Оценить полученные результаты.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: действующие подходы в области проектирования и применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок	1. Какие сильные окислители вы знаете? Область применения, недостатки. 2. Какие свойства озона первоначально использовались при подготовке питьевой воды? 3. Из каких основных этапов состоит подготовка питьевой воды? 4. В чем преимущества комбинированной очистки “озонирование-фильтрация на активированных углях”? 5. Особенности применения озона в здравоохранении. 6. Какие основные величины характеризуют работу озонатора?
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 конструкциям высоковольтных электротехнологических аппаратов	1. Чем отличается технология очистки сточных вод от подготовки питьевой воды? 2. Особенности синтеза озона в озонаторах с поверхностным разрядом? 3. Каким образом влияет на растворение озона диаметр барботажной камеры? 4. Что такое напряжение горения разряда?
Знать: основные методы и методики расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов	1. Как определить производительность озонатора? 2. Каким образом в условиях данной работы можно улучшить процесс очистки воды? 3. Как объясняется увеличение выхода озона с ростом приложенного к озонатору напряжения? При каких условиях рост выхода озона прекращается? 4. Почему растет выход озона с частотой приложенного напряжения?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-4. Защита лабораторных работ №3 и №4

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 14

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде подготовки и изложения развернутого ответа на поставленные вопросы. Время на подготовку ответа – 45 минут.

Краткое содержание задания:

Лабораторная работа №3

Магнитно-импульсная обработка металлов

(2 часа)

Цель работы

Ознакомление с принципом деформирования проводящих заготовок в импульсном магнитном поле, с узлами и элементами установок для магнитноимпульсной обработки металлов, а также ознакомление с методами расчетов процессов в разрядной цепи установки

Описание установки

Работа выполняется на стенде, принципиальная электрическая схема которого приведена на рис. 1. Стенд состоит из следующих элементов: система индуктор-заготовка 3, коммутатор 2, емкостной накопитель энергии 6, зарядное устройство 5, блок поджигающих импульсов 1 и пульт управления 4. Питание установки осуществляется от сети переменного тока напряжением 220 В через предохранители ПР и пакетный выключатель П. Регулирование напряжения на первичной обмотке трансформатора Т осуществляется автотрансформатором АТ. Зарядка емкостного накопителя энергии осуществляется от вторичной обмотки Т через выпрямитель В и ограничивающие резисторы Rз и Rр. Включение коммутатора 2 осуществляется от блока 1 после нажатия кнопки КЗ. Сигнализация о наличии напряжения питания стенда, на первичной обмотке АТ и блока 1 осуществляется лампами Л1 и Л2 соответственно. Контроль напряжения на выходе АТ осуществляется по вольтметру V. Величина зарядного напряжения накопителя 6 определяется по прибору, проградуированному в киловольтах и

включенному через делитель напряжения $R1 - R2$. Регистрация тока в разрядной цепи накопителя осуществляется при помощи шунта $R_{ш}$. Аварийный разряд накопителя энергии и снятие остаточного напряжения после отключения установки производится включением короткозамыкателя $K4$ с электромагнитным приводом.

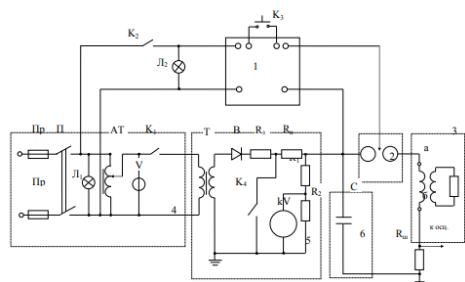


Figure 3 Рис. 1 Электрическая схема лабораторного стенда

Задание на домашнюю подготовку

1. Изучить описание лабораторной работы, рекомендуемую литературу.
2. Рассчитать максимальное значение тока разряда магнитно-импульсной установки при следующих параметрах разрядной цепи: $C = 300 \text{ мкФ}$; $U = 4 \text{ кВ}$; индуктивность установки $L_y = 0,05 \text{ мГн}$; сопротивление $R_y = 5 \text{ мОм}$.
3. Рассчитать глубину проникновения магнитного поля, изменяющегося по синусоидальному закону с $\omega = 3 \cdot 10^5 \text{ с}^{-1}$, в материал с $\rho = 1,7 \cdot 10^{-8} \text{ Ом} \cdot \text{м}$ и расстоянии между ними $\Delta r = 1 \text{ мм}$. Определить погонную индуктивность этой системы. Найти погонную dL/dx .
4. Определить электродинамическую силу взаимодействия двух проводников с током длиной 100 мм , шириной $a = 40 \text{ мм}$ при максимальном значении тока, вычисленном в п.2. Рассчитать давление магнитного поля в данной системе проводников ($\Delta r \ll a$).

Задание на проведение работы

1. Установить заготовку между клеммами а - б в разрядной цепи установки. При зарядном напряжении $U = 4 \text{ кВ}$ получить осциллограмму тока в разрядной цепи. Рассчитать индуктивность установки L_y .
2. Установить между клеммами а - б индуктор. Снять осциллограмму тока разряда. По осциллограмме с учетом результатов п.1 определить величину индуктивности индуктора.
3. Поместить в индуктор заготовку №1. По осциллограмме тока разряда определить индуктивность системы индуктор-заготовка №1.
4. Прodelать такие же эксперименты с заготовками №2, №3, №4 и №5.
5. Построить зависимость индуктивности системы индуктор-заготовка, определенной в п.4, от величины радиуса заготовки.
6. Установить между клеммами а-б систему из двух проводников для магнитно-импульсной обработки с пропусканием тока по заготовке. Установить матрицу рядом с обрабатываемым проводником. При зарядном напряжении $U = 4 \text{ кВ}$ произвести деформирование заготовки. По осциллограмме тока определить величину тока и рассчитать давление магнитного поля на заготовку. Сравнить полученный результат с рассчитанным в п.5 предварительной подготовки.

Лабораторная работа №4

Нанесение порошковых полимерных покрытий в камерах с электрическим кипящим слоем

(2 часа)

Цель работы

Ознакомление с технологией и устройствами для нанесения порошковых полимерных покрытий в электрическом поле. Изучение процесса нанесения покрытий на изделия в камерах с электрическим кипящим слоем.

Описание установки

Лабораторный стенд, схема которого приведена на рис.1, включает камеру с электрическим кипящим слоем 1, выполненную из оргстекла и установленную в вытяжном боксе стенда. Под воздухопроницаемой крышкой камеры установлено заземленное изделие - круг из алюминия $\varnothing$ 115 мм. Высокое напряжение в камеру 1 подается от высоковольтного источника 2, включаемого через реле времени 3. Источник 2 снабжен регистрирующими приборами напряжения и тока нагрузки и регулятором этих параметров. Воздух в камеру 1 подается от компрессора 4 марки С0-45Б, который установлен под лабораторным стендом. Воздух из вытяжного бокса установки забирается пылесосом 5. Для оплавления покрытий в установке предусмотрена электропечь 6 марки СНОЛ 2.5×2.5×2.5. На пульте управления установки смонтированы коммутирующие аппараты, а также аппаратура контроля включения отдельных электрических цепей в соответствии с ПУЭ.

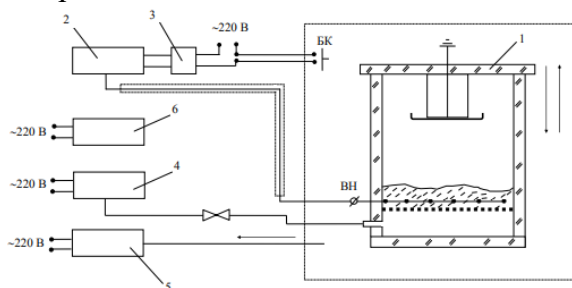


Figure 4 Рис. 1. Схема лабораторного стенда

Задание на предварительную подготовку

1. Ознакомиться с данным описанием.
2. Какие виды зарядки частиц используются при электростатическом напылении?
3. Рассчитать время возникновения обратного коронного разряда для распылителя с плотностью тока $j = 20$ мкА/м² и камеры, с плотностью тока 15 мкА/м². Порошок марки П-ЭП-219, диэлектрическая проницаемость материала $\epsilon_m = 4$, $\gamma_m = 1.4$ г/см³. Считать $K_{уп} = 0.4$.

Задание на проведение работы

1. Ознакомиться с лабораторным стендом, изучить инструкцию по эксплуатации. Включить печь.
2. Изучить наглядные пособия. Определить, для каких изделий, выпускаемых известными вам производствами и предприятиями целесообразно использовать технологию порошкового напыления.
3. Открыть вытяжной бокс, снять верхнюю крышку камеры, замерить высоту h порошкового слоя. Если $h < 2$ см, досыпать порошок в камеру.
4. Включить компрессор. Отрегулировать зажимом расход воздуха таким образом, чтобы в камере существовал кипящий слой порошка. Обратить внимание на следующие показатели кипения порошка:
 - объем, заполненный порошком при кипении должен составить 1.3 - 1.5 от первоначального;
 - на поверхности кипящего слоя должны отсутствовать местные локальные прорывы воздуха;
 - при покачиваниях камеры порошок в ней должен легко "переливаться", сохраняя поверхность практически горизонтальной.
5. Выключить компрессор.

6. Установить деталь на заземленном держателе, закрыть камеру, дверцу вытяжного бокса, включить источник высокого напряжения, нажать кнопку РВ и держать ее одной рукой. Другой рукой установить напряжение 25 - 30 кВ, ток 0 - 1 мкА. Отпустить кнопку.
7. Произвести пробное напыление, включив для этого пылесос, компрессор, источник высокого напряжения, нажать кнопку РВ и держать ее в нажатом положении до загорания лампочки, установленной над кнопкой РВ. Кнопку отпустить, отключить все цепи, кроме печи и пылесоса. Снять верхнюю крышку камеры, счистить щеткой порошок с держателя детали в камеру. Запомнить какого вида был напыленный слой.
8. Установить съемную деталь $\varnothing 115$ мм на систему крепления. Произвести все операции по п. 7. Изделие аккуратно снять и поместить в печь покрытием вверх. Засечь время. Через 15 минут деталь с покрытием вынуть из печи.
9. Установить новую деталь и выполнить п. 7 и 8, установив время напыления (время нажатия кнопки РВ) 10 с. Зафиксировать изменение внешнего вида покрытия до и после оплавления для каждой напыляемой детали.
10. Напылить покрытие на деталь в течение 10 - 30 с. Визуально определить, каким образом меняется характер движения частиц а объеме камеры, когда возникает и как распространяется свечение в камере, каким образом меняются ток и напряжение в различные моменты времени напыления. Оценить время возникновения обратной короны. Счистить порошок с образца обратно в камеру.
11. Увеличить напряжение до 30 - 36 кВ, ток 5 - 10 мкА и проанализировать по приборам, как изменяются во времени электрические параметры процесса, как изменяется внешний вид покрытия при фиксированных $t = 1; 2; 4; 6; 10$ с.
12. Измерить толщины покрытия δ микрометром в 6 точках для каждой детали, определить среднее значение толщины покрытия и среднеквадратичное отклонение.
13. Оформить результаты измерений и визуальных исследований в виде отчета.

Контрольные вопросы/задания:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: действующие подходы в области проектирования и применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок	1. Чем определяются требования к параметрам магнитно-импульсных установок? 2. Возможно ли сочетание различных методов зарядки порошкового материала в устройствах для нанесения покрытий? 3. Существуют ли ограничения по габаритам изделия при нанесении покрытия в камерах с электрическим кипящим слоем?
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 конструкциям высоковольтных электротехнологических аппаратов	1. Какие электрофизические явления используются в установках для магнитно-импульсной обработки материалов? 2. Чем определяется глубина проникновения электромагнитного поля в материал?
Знать: основные методы и методики расчета	1. Как рассчитывается

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов	электродинамическая сила в системе проводников с токами? 2.Как определяется давление импульсного магнитного поля на проводящую преграду? 3.Как рассчитывается механическая работа при перемещении проводников с током? 4.Как меняется коэффициент упаковки слоя порошка при возникновении в нем обратного коронного разряда?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

КМ-5. Защита лабораторных работ №5 и №6

Формы реализации: Защита задания

Тип контрольного мероприятия: Лабораторная работа

Вес контрольного мероприятия в БРС: 30

Процедура проведения контрольного мероприятия: Проводится в письменной форме в виде подготовки и изложения развернутого ответа на поставленные вопросы. Время на подготовку ответа – 45 минут.

Краткое содержание задания:

Лабораторная работа №5

Электросепарация

(2 часа)

Цель работы

Изучение принципа работы электростатического сепаратора, разделяющего материалы по проводимости. Экспериментальное изучение процесса электросепарации на примере конструкции наклонного пластинчатого электростатического сепаратора.

Описание установки

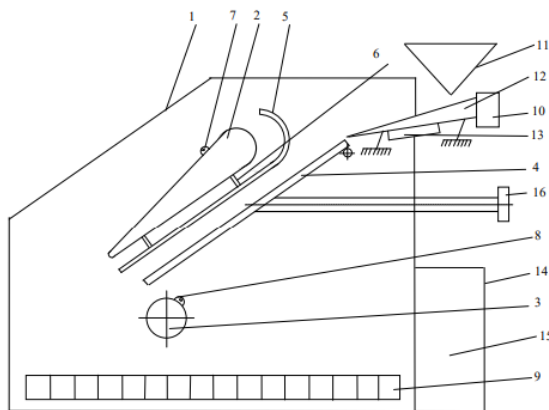


Figure 5 Рис.1 Схема лабораторного пластинчатого электростатического сепаратора

1 - корпус, 2 - верхний электрод - крыло, 3 - нижний электрод - цилиндр,
4 - заземленный электрод - плоскость, 5 - прокладка диэлектрическая, 6 - винты
диэлектрические, 7 - клемма верхнего электрода, 8 - клемма нижнего электрода,
9 - приемники продуктов разделения, 10 - вибратор, 11 - бункер загрузочный,
12 - вибродоток, 13 - нагреватель лотка, 14 - блок питания, 15 - панель управле-
ния, 16 - ручка регулирования наклона электродной системы.

Экспериментальная часть работы проводится на стенде, основу которого составляет лабораторный сепаратор. В состав сепаратора входит: корпус, электродная система, приемник продуктов разделения, вибропитатель, источник высокого напряжения, пульт управления. Все составляющие сепаратора объединены конструктивно в одном корпусе (рис. 1). Корпус I сепаратора имеет смотровое окно для обеспечения хорошего визуального контроля всех этапов сепарации, дверь для обеспечения удобства эксплуатации и ремонта. Дверь снабжена запором и блокировочными контактами, отключающими электрическое питание источника высокого напряжения сепаратора при открывании двери. Электродная система содержит три электрода: между двумя высоковольтными электродами 2 и 3 разной полярности размещен заземленный электрод 4. Верхний электрод 2 выполнен из проводящего материала в виде крылообразного клина с полусферическими закруглениями краев. Крепление крыла обеспечивает изменение угла его наклона, продольное и вертикальное перемещение относительно заземленного электрода-плоскости 4. Диапазоны регулирования: угол наклона - $\pm 200^\circ$, продольное перемещение - 100 мм, вертикальное перемещение - 25 мм. Размеры электрода 200 x 200 x 25 мм. Электрод снабжен диэлектрической прокладкой 5. Электрод снабжен клеммой 7 для подключения кабеля источника высокого напряжения. Нижний электрод 3 выполнен в виде цилиндра из проводящего материала с возможностью регулирования его положения относительно заземленного электрода-пластины 4. Размер электрода $\varnothing 75 \times 200$ мм. Заземленный электрод-пластина 4 выполнен из проводящего материала - графитопласта. Габаритные размеры 220 x 200 x 10 мм. Электрод выполнен с возможностью изменения угла наклона относительно горизонтали в пределах от 300 до 600°. Приемники 9 продуктов разделения расположены под нижним электродом 3 на расстоянии не менее 50 мм. Приемники 9 выполнены в виде отдельных секций размером 370 x 30 x 30 мм каждая, скрепляемых друг с другом и размещенных на общем выдвижном поддоне. Вибропитатель 10 выполнен с бункером 11 и лотком 12 шириной 80 мм. Скорость подачи разделяемого материала в сепаратор изменяется путем регулировки напряжения питания вибропитателя. Лоток 12 питателя снабжен нагревателем 13 с регулировкой температуры. Источник 14 высокого напряжения выполняется с двумя выходами различной полярности. Максимальное выходное напряжение - 15 кВ, регулирование напряжения - плавное. Тип выходного напряжения - постоянное. Источник выполняется встроенным в корпус сепаратора. Приборы контроля и регулирования вынесены на общий пульт управления 15. Для

заземления корпуса сепаратора предусмотрена клемма, расположенная на задней стороне корпуса. Пульт управления 15 включает прибор контроля высокого напряжения, регуляторы, сигнальные лампочки и тумблеры включения и отключения высокого напряжения, нагрева лотка питателя и вибратора. Имеется общий тумблер включения и отключения сети. Предохранитель и шнур питания с вилкой вынесены на заднюю стенку корпуса сепаратора. В состав лабораторного стенда входят аналитические весы для взвешивания минералов, прошедших разделение и емкости с демонстрационными пробами минералов проводника и диэлектрика. В качестве исследуемых минералов используются рутил, циркон и их смесь. Рутил - природный минерал TiO_2 , циркон - $\text{Zr}[\text{SiO}_4]$. Типичные представители проводникового и диэлектрического минералов.

Порядок проведения работы

1. Навеску минерала массой 70 - 100 г и засыпать в бункер.
2. Установить по указанию преподавателя геометрические параметры сепаратора: угол наклона и взаимное расположение электродов (угол 35 - 40°, высота крыла 20 - 30 мм, отклонение барабана от вертикали 10 - 15 мм).
3. Закрыть дверцу сепаратора.
4. Включить тумблер "сеть".
5. Включить нагрев лотка питателя. Нагрев осуществляется 5 - 10 мин.
6. Включить тумблер высокого напряжения. Установить необходимый уровень напряжения на электродах (7 - 10 кВ).
7. Включить вибропитатель. Ручкой регулировки установить скорость ссыпания порошка, соответствующую монослойной подаче частиц.
8. После ссыпания всего порошка установку отключить в обратной последовательности.
9. Вынуть лоток с ячейками приемника продуктов разделения. Произвести взвешивание порошка из каждой ячейки на аналитических весах с точностью до 0,001 г.
10. Лоток с приемниками продуктов очистить кисточкой и установить на место.

Задание на предварительную подготовку

1. Ознакомиться с настоящим описанием и рекомендованной литературой.
2. Ознакомиться с назначением элементов сепаратора и последовательностью выполнения измерений.

Задание на проведение работы

1. Ознакомиться с конструкцией лабораторного сепаратора.
2. Провести измерения гравитационных вееров рутила и циркона. Геометрические параметры задаются преподавателем.
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.

Лабораторная работа №6

Исследование работы электрофильтра

(2 часа)

Цель работы

Изучение принципа работы электрофильтра. Экспериментальное определение степени очистки воздуха от частиц аэрозоля. Ознакомление с конструкцией малогабаритного электрофильтра.

Описание установки

Экспериментальная установка для исследования работы электрофильтра состоит из следующих элементов (рис.1): – экспериментальный электрофильтр; – источник высокого напряжения (ИВН); – генератор аэрозоля (частиц, вибр.) – вентилятор; – контрольно-измерительные приборы. Основным элементом лабораторного стенда является двухзонный малогабаритный электрофильтр. Экспериментальный электрофильтр (см. рис. 1) состоит из корпуса 1 с входным 2 и выходным 3 патрубками. В корпусе установлены последовательно друг за другом газораспределительная решетка 4, сетка 5, зарядная камера 6, осадительная камера 7 и всасывающий вентилятор 8. Зарядная камера выполнена в виде заземленных параллельных друг другу пластин 9, образующих между собой каналы для очищаемого газа. Всего каналов – в разных вариантах шесть и восемь. Между пластинами натянуты цилиндрические и игольчатые провода 10. На провод подается напряжение U , при этом в межэлектродном промежутке возникает коронный разряд. Осадительная камера выполнена в виде параллельных плоских электродов 11, на которые подается напряжение. Зарядная камера двухзонного электрофильтра моделирует один модуль пластинчатого электрофильтра. В работе используются два канала зарядного устройства. В одном канале установлен цилиндрический провод диаметром 250 10-6 м. В другом канале установлен провод с игольчатыми электродами. Вместе с осадительной камерой двухзонный электрофильтр является самостоятельным газоочистным аппаратом, который широко применяется для очистки воздуха на рабочих местах, например, при электросварке, шлифовании, пересыпке пылящих продуктов и т. п. Высоковольтный блок питания (источник высокого напряжения – ИВН) включает в себя узел управления (расположен на торцевой части корпуса) и высоковольтного узла – трансформатора и умножителя напряжения (расположен на задней стенке корпуса). Напряжение на зарядном устройстве электрофильтра регулируется ступенчато: $U = 8, 10$ и 12 кВ. Напряжение на осадительной камере $U_k = 0,5U_{ст}$. Для измерения напряжения используется микроамперметр “мкА” с добавочным сопротивлением “Рд”. На выходном патрубке установлен матерчатый фильтр (3) для улавливания частиц после электрофильтра. В экспериментальном стенде используется вентилятор (8) ВВД. Двигатель вентилятора питается трехфазным напряжением 380 В. Кнопки включения и отключения расположены на торцевой части корпуса вентилятора. Одновременно с включением двигателя вентилятора подается трехфазное напряжение 220 В на блок управления высоковольтного источника. При этом на пульте источника загорается зеленая лампа. С помощью системы управления на выходе источника высокого напряжения устанавливается напряжение от 8 до 12 кВ.

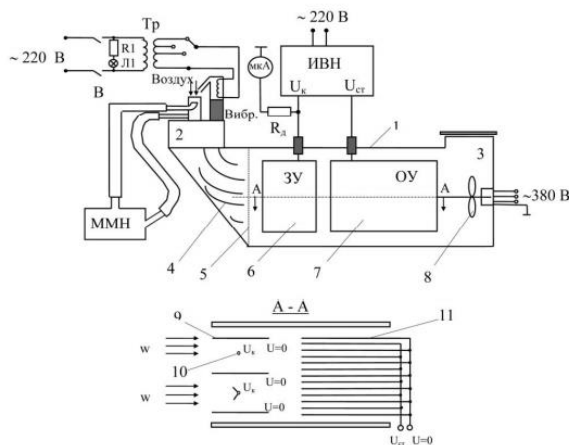


Figure 6 Рис.1 Принципиальная схема установки

В качестве улавливаемой пыли используется порошок ликоподия, состоящий из мелкодисперсных частиц. Подача частиц осуществляется с помощью вибрационного питателя (вибр. на рис. 1), обеспечивающего равномерную длительную подачу. Регулировка 10 производительности осуществляется ступенчато от трансформатора Тр. Включение вибропитателя осуществляется тумблером В, при этом на лицевой панели фильтра загорается лампочка.

Порядок проведения экспериментов

1. Засыпать ликоподий в вибропитатель.
2. Взвесить пробоотборник. Закрепить датчик пылеотбора на заземленном осадительном электроде зарядного устройства.
3. Вставить кассету зарядного устройства в корпус. Внимание! Обратить внимание на правильность установки зарядной камеры.
4. Запереть дверцу электрофильтра.
5. Включить вентилятор.
6. Включить источник высокого напряжения. Установить необходимое напряжение на коронирующих электродах зарядной камеры.
7. Зафиксировать показания микроманометра при открытом и закрытом клапане.
8. Включить тумблер вибропитателя, начав отсчет времени.
9. Через 5 минут отключить вибропитатель. Отключить источник высокого напряжения. Отключить вентилятор.
10. Открыть дверцу электрофильтра. Вынуть кассету зарядной камеры.
11. Снять пробоотборник с пластин зарядной камеры.
12. Взвесить пробоотборник.
13. Очистить электроды и пробоотборник от осевшей пыли.
14. Повторить опыт начиная с п.1.

Задание на предварительную подготовку

1. Изучить описание.
2. Ознакомиться с описанием установки и порядком проведения испытаний.
3. Рассчитать эффективность осаждения частиц ликоподия для следующих условий:

$$2h = 58 \text{ мм}, U = 8, 10 \text{ и } 12 \text{ кВ}, w = 4.1 \text{ м/с}, a = 15 \cdot 10^{-6} \text{ м}, l = 78 \cdot 10^{-3} \text{ м}, \varepsilon = 3.$$

Расчет провести для гладкого провода радиусом $125 \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

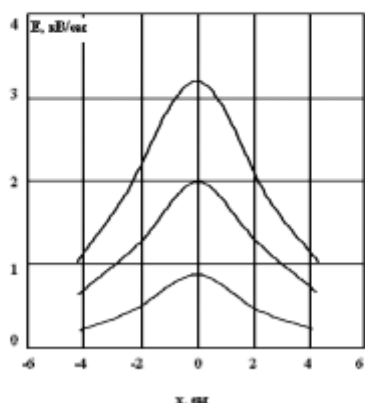
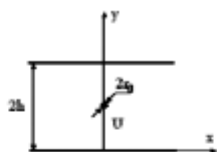


Figure 7 Рис.2.Распределение напряженности электрического поля по поверхности осадительного электрода $y = 0$, $r_0 = 125$ мкм, $h = 29$ мм

Задание на измерения

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:

Запланированные результаты обучения по дисциплине	Вопросы/задания для проверки
Знать: действующие подходы в области проектирования и применения высоковольтных электротехнологических аппаратов и установок	1.Поясните назначение основных элементов сепаратора. 2.Какие конструктивные параметры сепаратора и как влияют на разделение минералов?
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 конструкциям высоковольтных электротехнологических аппаратов	1.Поясните понятие веер минералов и почему он образуется. 2.Поясните принцип работы сепаратора по проводимости. 3.Какие характеристики частиц и как влияют на разделение минералов?
Знать: основные методы и методики расчета высоковольтных электротехнологических процессов и аппаратов	1.Как влияют режимы сепаратора на разделение минералов? 2.Поясните последовательность проведения измерения. 3.Как степень очистки зависит от приложенного напряжения, скорости потока, длины электрофильтра и параметров частиц? 4.Какие частицы улавливаются в первую очередь: крупные или мелкие?

Описание шкалы оценивания:

Оценка: 5 («отлично»)

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 («хорошо»)

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 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

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

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

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

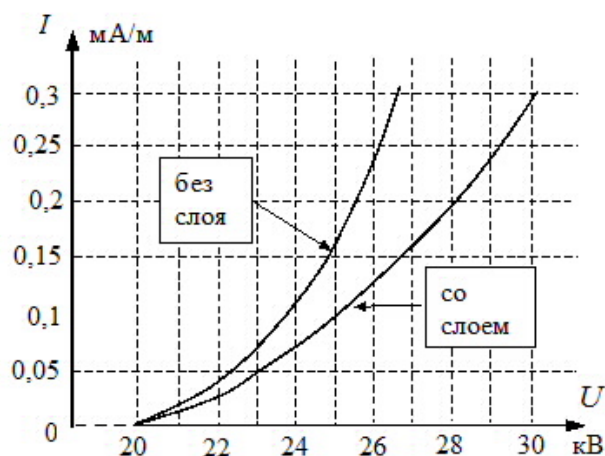
СОДЕРЖАНИЕ ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

3 семестр

Форма промежуточной аттестации: Зачет с оценкой

Пример билета

1. Обезвоживание нефтепродуктов. Физические основы обезвоживания нефтепродуктов. Технологии обезвоживания нефтепродуктов.
2. Виды электротехнологий с использованием сильных электрических полей и импульсных токов. Основные особенности и характеристики, области использования.
3. Даны вольт-амперные характеристики, снятые в системе электродов «коаксиальные цилиндры» со слоем и без него. Радиус большего цилиндра $R = 0,15$ м. Толщина слоя $H = 3$ мм. Построить зависимость удельного сопротивления ρ_{v1} от плотности тока j . Определить силу, действующую на слой, при $I = 0,25$ мА/м, полагая, что напряженность поля у поверхности слоя равна $E_k = 1,75$ кВ/см, а относительная диэлектрическая проницаемость слоя $\varepsilon = 2$.



Процедура проведения

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

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

1. Компетенция/Индикатор: ИД-5ПК-2 Демонстрирует понимание возможности использования высоких напряжений для новых и перспективных проектных и технологических решений

Вопросы, задания

1. Виды электротехнологий с использованием сильных электрических полей и импульсных токов. Основные особенности и характеристики, области использования.
2. Степень очистки газов в электрофильтрах. Особенности определения эффективности осаждения частиц в электрофильтрах. Способы борьбы с обратной короной в электрофильтрах.
3. Очистка газов электрофильтрами: преимущества по сравнению с другими способами очистки. Принципиальная схема электрофильтра. Конструкция электрофильтров.

Основные элементы электрофильтра. Требования к коронирующим и осадительным электродам.

4. Влияние дисперсной фазы на характеристики коронного разряда в случае движения частиц вдоль силовых линий и при движении частицы поперек силовых линий.

5. Коллективные процессы в аэрозольных системах. Электростатическое рассеяние монодисперсного аэрозоля. Влияние концентрации частиц на характеристики коронного разряда.

6. 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.

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

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

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

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

11. Ламинарный и турбулентный режим движения. Осаждение монодисперсных частиц из турбулентного потока. Характеристика турбулентного режима течения. Коэффициент турбулентной диффузии.

12. Осаждение частиц аэрозоля из ламинарного потока под действием центробежной силы. Осаждение под действием сил зеркального отображения.

13. Осаждение частиц монодисперсного аэрозоля из ламинарного потока. Эффективность осаждения. Осаждение частиц в плоском канале. Осаждение на горизонтальном участке круглой трубы.

14. Понятие коронного разряда. Коронный разряд в коаксиальной системе электродов. Вольтамперная характеристика коронного разряда.

15. Модификация поверхности материалов в плазме газового разряда. Воздействие активных частиц на поверхность материалов. Процессы модификации поверхности полимерных материалов и соответствующие технологические эффекты.

16. 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.

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

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

Технологические применения озона. Подготовка питьевой воды с использованием озона.

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

20. Магнитно-импульсная обработка материалов. Индукторы. Концентраторы магнитного потока.

21. Технологии импульсного воздействия на материал. Электрогидравлические технологии. Электроэрозионная обработка материалов.

22. Способы защиты от разрядов статического электричества. Нейтрализация зарядов статического электричества. Типы нейтрализаторов.

23. Статическая электризация и ее последствия. Методы измерения основных параметров, характеризующих статическую электризацию. Статическое электричество при перекачке нефти по трубопроводам.
24. Нанесение порошковых покрытий: преимущества и область применения. Нанесение порошковых покрытий в электрическом кипящем слое. Электропневмораспылители. Распылители с внутренней и внешней зарядкой.
25. Электроокраска. Процесс распыления жидкости в электрическом поле. Электростатические, центробежные и электропневмораспылители.
26. Электропечать. Электрофотография. Электрокаплеструйная печать.
27. Обезвоживание нефтепродуктов. Физические основы обезвоживания нефтепродуктов. Технологии обезвоживания нефтепродуктов.
28. Пироэлектрическая сепарация. Диэлектрическая сепарация.
29. Понятие электросепарации. Классификация электросепараторов. Сепарация по электропроводности. Барабанный электростатический сепаратор. Барабанный коронно-электростатический сепаратор.
30. Барабанный трибоэлектростатический сепаратор. Сепараторы с кипящим слоем (трибоэлектростатические флюидизационные сепараторы). Трибоэлектростатический сепаратор свободного падения.

Материалы для проверки остаточных знаний

1. Коэффициент неоднородности электрического поля, при котором возможно формирование коронного разряда?

Ответы:

- 1 - 0,5
- 2 - 1,0
- 3 - 3,0
- 4 - 5,0

Верный ответ: 4

2. Какое число Рейнольдса характерно для ламинарного потока?

Ответы:

- 1 - 500
- 2 - 3000
- 3 - 6500
- 4 - 10000

Верный ответ: 1

3. Какой способ зарядки не подходит для аэрозольных частиц из диэлектрического материала?

Ответы:

- 1 - в поле коронного разряда
- 2 - индукционный
- 3 - трибоэлектростатический

Верный ответ: 2

4. Для частиц каких размеров силы адгезии к электроду будут существенными по сравнению с другими действующими силами?

Ответы:

- 1 – единицы микрон
- 2 – десятки микрон
- 3 – сотни микрон
- 4 – тысячи микрон

Верный ответ: 1

5. Характерные времена возникновения обратной короны в полимерном порошковом слое?

Ответы:

- 1 – микросекунды
- 2 – миллисекунды
- 3 – секунды
- 4 – минуты

Верный ответ: 3

6. При каком значении удельного сопротивления золы будет наибольшая степень очистки топочного газа в электрофилтре?

Ответы:

- 1 – 100 Ом*м
- 2 – 1000000 Ом*м
- 3 – 10 миллиардов Ом*м
- 4 – 10000 миллиардов Ом*м

Верный ответ: 2

7. Какой вид электросепарации применяется для разделения смесей веществ, содержащих кварц?

Ответы:

- 1 – диэлектрическая
- 2 – пьезоэлектрическая
- 3 – по электропроводности
- 4 – трибоэлектростатическая

Верный ответ: 2

8. Какой из электрораспылителей жидких красок обладает наибольшей производительностью?

Ответы:

- 1 – электростатический
- 2 – центробежный
- 3 – гидравлический
- 4 – пневматический

Верный ответ: 4

9. Какой вид нейтрализаторов статического электричества используется в трубопроводах при транспортировке нефти и нефтепродуктов?

Ответы:

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

Верный ответ: 3

10. При какой концентрации озона возможна полная инаktivация микроорганизмов в воде?

Ответы:

- 1 – 1 мкг/л
- 2 – 10 мкг/л
- 3 – 100 мкг/л
- 4 – 1000 мкг/л

Верный ответ: 4

11. Какой газ добавляется к топочному газу для обеспечения плазмохимической конверсии оксидов азота и серы?

Ответы:

- 1 – водород
- 2 – гелий
- 3 – аммиак

4 – озон

Верный ответ: 3

II. Описание шкалы оценивания

Оценка: 5 («отлично»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 90

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

Оценка: 4 («хорошо»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 80

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

Оценка: 3 («удовлетворительно»)

Нижний порог выполнения задания в процентах: 60

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который в ответах на вопросы зачетного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам при ответах на дополнительные вопросы.

Оценка: 2 («неудовлетворительно»)

Описание характеристики выполнения знания: Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется студенту, который: а) не ответил на вопросы зачетного билета; б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

III. Правила выставления итоговой оценки по курсу

Оценка за освоение дисциплины определяется на основании семестровой составляющей и экзаменационной (зачетной) составляющей.