



Министерство образования Республики Беларусь

Учреждение образования  
«Гомельский государственный технический  
университет имени П.О. Сухого»

Кафедра «Машины и технология литейного производства»

## **ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ**

**ПРАКТИЧЕСКОЕ ПОСОБИЕ  
по выполнению лабораторных работ  
по одноименному курсу для студентов  
специальности 1-36 02 01 «Машины  
и технология литейного производства»  
дневной и заочной форм обучения**

Гомель 2006

УДК 621.745.3(075.8)  
ББК 20.1я73  
О-86

Автор-составитель: *Л. Н. Русая*

Рецензент: канд. техн. наук, доц., зав. каф. «Гидропневмоавтоматика» ГГТУ им. П. О. Сухого  
*А. В. Михневич*

**Отраслевая экология** : практ. пособие по выполнению лаб. работ по одноим. курсу  
О-86 для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства»  
днев. и заоч. форм обучения / авт.-сост.: Л. Н. Русая. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого,  
2006. – 35 с. – Систем. требования: PC не ниже Intel Celeron 300 МГц ; 32 Mb RAM ; сво-  
бодное место на HDD 16 Mb ; Windows 98 и выше ; Adobe Acrobat Reader. – Режим дос-  
тупа: <http://gstu.local/lib>. – Загл. с титул. экрана.

Практическое пособие содержит методические указания по выполнению и оформлению лабораторных работ, теоретическое обоснование использования методов приборов и устройств, применяемых для расчетов, исследований, проведения инструментальных замеров в области охраны окружающей среды.

Для студентов специальности 1-36 02 01 «Машины и технология литейного производства» дневной и заочной форм обучения.

УДК 621.745.3(075.8)  
ББК 20.1я73

© Учреждение образования «Гомельский  
государственный технический университет  
имени П. О. Сухого», 2006

## ВВЕДЕНИЕ

Целью практического пособия к выполнению лабораторных работ при изучении курсов: «Отраслевая экология», «Промышленная экология», является: закрепление и углубление студентами теоретических и практических навыков курсов; приобретение опыта исследования условий труда в цехах отрасли машиностроения; освоение методов исследований по определению вредных воздействий литейного производства; ознакомление с существующими приборами, аппаратурой и инструментами, применяемыми для анализа вредных веществ в атмосфере и сточных водах, приобретение навыков работы с ними; экспериментальное определение свойств пыли, исследование движения частиц пыли и их осаждение.

### 1. Основные правила техники безопасности

1.1. При проведении лабораторных работ запрещается:

- Самостоятельно включать в электрическую сеть все виды механизмов и приборов (оборудование, электрические печи) во избежание травм и повреждений аппаратуры.
- Касаться корпуса работающих электродвигателей и электропечей во избежание ожогов и поражения электрическим током.
- Находиться в плоскости вращения рабочих колес и приводных механизмов установок при проведении испытаний.
- Находиться за предохранительными щитками при работе с паром и горячей водой.
- Работать на установках с накинутыми шарфами, платками, длинными распущенными волосами.
- Проводить работы на неподготовленном стенде с неисправным, поврежденным оборудованием, а так же ремонт оборудования во время работы.

1.2. При аварийном состоянии установки студент обязан немедленно отключить ее от сети, сообщить об этом преподавателю или лаборанту и действовать по их указанию.

1.3. Все работы в лаборатории должны начинаться и заканчиваться в установленное время.

1.4. Нахождение в лаборатории сотрудников и студентов в верхней одежде категорически запрещается.

1.5. Свое ознакомление с правилами техники безопасности в лаборатории студент подтверждает на первом занятии подписью в специальном журнале, хранящемся на кафедре.

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 1 ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИСПЕРСНОСТИ ПЫЛИ

1. Цель работы – ознакомление с методами определения дисперсности пыли, определение ее методом ситового анализа и методом микроскопии.

2. Теоретические сведения.

Пыль является одним из видов веществ в измельченном (дисперсном) состоянии, взвешенных в газовой, в частности, в воздушной среде. Понятию пыль близки понятия туман, дым, которые вместе с пылью объединяются общим термином аэрозоль. На практике трудно провести четкую границу между различными видами аэрозолей (пыль, туман, дым). Это объясняется тем, что часто возникают аэрозольные системы, состоящие из частиц различного происхождения. Кроме того, происходит непрерывное взаимодействие этих частиц, осаждение малых частиц на более крупных.

Интервал дисперсности аэрозольных частиц велик – от  $10^{-7}$  до  $10^{-1}$  см. Нижний предел определяется возможностью длительного самостоятельного существования малых частиц, верхний предел ограничен тем, что крупные частицы быстро осаждаются под действием силы тяжести и во взвешенном состоянии практически не наблюдаются.

Пыль – совокупность мелкораздробленных частиц твердого вещества, находящегося во взвешенном состоянии а также совокупность осевших частиц. Пылевые частицы имеют разнообразную форму, в основном неправильную.

Пыль может быть классифицирована по нескольким признакам, в том числе по своему происхождению и по материалу, из которого она образована.

В зависимости от способа получения, пыль бывает естественного и антропогенного происхождения (промышленная пыль).

К пыли естественного происхождения относят пыль, образованную в результате эрозии почвы, при выветривании горных пород и т. д. Естественное происхождение имеют органические пылевидные частицы – пыльца, споры растений. К пыли естественного происхождения близка по составу пыль, возникающая при выветривании строительных конструкций, дорог и других сооружений.

Промышленная пыль образуется в процессе производства. Почти каждому виду производства сопутствует характерный для него вид пыли. Большая часть видов пыли возникает при процессах, связанных

с обработкой материалов (сортировка, резание, шлифование), процессах литейного производства, при транспортировании материалов и связанных с этим операциях - погрузке, выгрузке, перегрузке.

В зависимости от материала, из которого пыль образована, она может быть органической и неорганической.

Органическая пыль бывает растительного (мучная, табачная, сахарная, чайная, хлопковая) и животного происхождения (шерстяная, костяная).

Неорганическая пыль подразделяется на минеральную (кварцевая, цементная и др.) и металлическую (стальная, чугунная, медная, алюминиевая и др.).

Пыли рассматривают как дисперсные системы: монодисперсные – состоящие из частиц примерно одинаковой величины, и полидисперсные - в состав которых входят частицы различной величины. Промышленные пыли, как правило, полидисперсны.

Для правильного выбора пылеочистного оборудования, разработки новых и совершенствования существующих пылеочистных устройств, для проведения технологических мероприятий по уменьшению пылеобразования и пылевыделения необходимо знать основные свойства пыли.

Основные физико-химические свойства пыли: дисперсность, т. е. степень измельчения, строение частиц, плотность, химический и минералогический состав, удельная поверхность, электрические свойства, смачиваемость, взрывоопасность, пожароопасность и др.

Знание этих свойств позволяет судить о степени опасности данной пыли в санитарно-гигиеническом отношении, способности пыли образовывать взрывоопасные концентрации с воздухом, более или менее длительное время находиться в воздухе во взвешенном состоянии. Знание этих характеристик пыли необходимо для выбора методов и устройств для пылеулавливания.

Под понятием дисперсности пыли подразумевается распределение пыли по классам (фракциям) крупности; при этом под крупностью понимают наибольший или средний поперечный размер (диагональ частиц).

Дисперсность в значительной мере определяет свойства пыли.

В результате измельчения изменяются некоторые качества вещества и приобретаются новые. Это связано с тем, что при диспергировании (измельчении) вещества во много раз увеличивается его суммарная поверхность. Например, при измельчении тела, имевшего форму куба и размеры 1х1х1 см, и превращении его в частицы также

кубической формы, но с размерами 1 мкм, суммарная поверхность материала куба возрастет в 10000 раз и станет равной 6 м<sup>3</sup>.

В результате резкого увеличения поверхности вещества очень сильно увеличивается его химическая активность. Вещества, которые в обычном состоянии очень пассивно реагируют с окружающим кислородом воздуха, находясь в измельченном состоянии, становятся химически активными. Химические реакции окисления этих веществ протекают быстро и интенсивно.

Физическая активность вещества тоже резко возрастает. Например, измельченные вещества растворяются во много раз быстрее, чем исходный материал.

Кроме физических и химических свойств, дисперсный состав определяет характер и условия распространения пыли в воздушной среде. При тонкой дисперсности пыль более долговечна, так как осаждается значительно медленнее или практически совсем не осаждается. Таким образом, сфера рассеивания пылевых частиц зависит от дисперсного состава пыли. Основной вопрос пылеулавливания – выбор эффективного пылеочистного оборудования - определяется дисперсным составом улавливаемой пыли.

Поэтому, дисперсный состав пыли имеет важное значение, без него вопросы эффективного пылеулавливания не решают.

Дисперсный состав пыли определяется путем лабораторного исследования различными методами.

Обычно, пылевые частицы имеют неправильную форму. Поэтому важно выразить размер пылевой частицы так, чтобы он был более характерен. Существует несколько способов определения размеров пылевых частиц: по размеру в свету наименьших отверстий сита, через которые проходят данные частицы; по диаметру шарообразных частиц или по наибольшему линейному размеру частиц неправильной формы; по диаметру условных шарообразных частиц, обладающих при одинаковой плотности скоростью витания, равной скорости витания данной пылевой частицы. Скорость витания – это скорость осаждения частицы пыли в неподвижном воздухе.

Так как промышленные пыли полидисперсны, при определении дисперсного состава следует распределять пылевые частицы по размерам. Весь диапазон размеров частиц, который встречается в данной пыли, разбивают на фракции. Фракция объединяет пылевые частицы, находящиеся в пределах одного интервала значений размеров рекомендуемой шкалы. Например, применяется следующая шкала разме-

ров пылевых частиц: 1-1,3-1,6-2,0-2,5-3,2-4,0-5,0-6,3-8,0-10-16-20-25-32-40-50-63 мкм.

Различные по размерам частицы подчиняются различным физическим законам. Перемещение частиц различных размеров происходит по законам гравитации, закону Стокса, законам броуновского движения.

Для улавливания частиц малых размеров необходимо специальное пылеочистное оборудование.

Для определения дисперсного состава пыли используется ряд методов, которые основаны на различных физических принципах. Выбор метода определяется видом пыли, требуемой точностью, наличием соответствующего оборудования и другими факторами.

Применяют следующие методы определения дисперсного состава пыли:

ситовый анализ – разделение частиц на фракции путем последовательного просеивания навески пыли через лабораторные сита с отверстиями различных размеров;

седиментометрия – разделение навески пыли на отдельные фракции путем ее осаждения в жидкой или газообразной среде;

микроскопический метод - рассмотрение пылевых частиц с помощью оптического или электронного микроскопа, определение формы частиц, их размера и количества по фракциям;

центробежная сепарация - разделение пыли на фракции с помощью центробежной силы в специальном аппарате.

Ситовый анализ. Пробу (навеску) пыли разделяют на фракции последовательно просеивая ее через сито с отверстиями разного размера.

Наименьший размер отверстий в ситах – 40 мкм. Таким образом, ситовым методом можно определить дисперсный состав пыли с размером частиц выше 40 мкм и невозможно определить распределение пылевых частиц в области более тонких фракций, представляющих наибольшую опасность. В этом недостаток ситового метода. Применяют ручной и механический просев. Ручной просев обычно используют при исследовательской работе, а также для ответственных производственных анализов.

Седиментометрический метод анализа. Основан на том, что время осаждения пылевых частиц в жидкой среде зависит от их размера, выраженного через эквивалентный диаметр. Эквивалентный диаметр - это диаметр шара, имеющего такую же массу и плотность, как и данная частица.

Если известно время осаждения частиц на определенную глубину, расчетным путем можно определить эквивалентный диаметр частиц. Последовательное взвешивание осадка позволяет определить процентное содержание этих частиц в пробе пыли.

Микроскопический метод. Применение этого метода позволяет рассмотреть пылевые частицы размером до 1 мкм. Можно изучить строение пылевых частиц, сделать микрофотографии пыли, определить размеры пылевых частиц и их количество.

При применении микроскопического метода дисперсный состав пыли определяют, измеряя частицы и определяя количество частиц каждой фракции. Метод трудоемок, но для некоторых видов пыли является единственно возможным методом исследований.

Метод центробежной сепарации. Последовательное отделение фракций от исследуемой навески пыли осуществляется под действием центробежной силы. Возникающая в аппарате центробежная сила в сотни раз больше силы тяжести, на использовании которой основан метод седиментометрии. В результате, время проведения анализа значительно сокращается.

Для анализа пыли по методу центробежной сепарации применяется аппарат «Бако» (рис. 1). Суть действия этого прибора состоит в том, что в вихревое поле, которое имеет траекторию плоской спирали, вводят исследуемую пыль. Происходит разделение пыли на две фракции, затем отделяют следующую фракцию и т. д. Таким образом, последовательно разделяют исследуемую навеску пыли на восемь фракций.

Аппарат «Бако» не применяется для анализа слипающихся и волокнистых пылей, так как они забивают камеру разделения прибора и нарушают его работу.

Дисперсный состав пыли, полученный аналитическим путем, может быть представлен в табличной форме или в виде графика. Графическое изображение дисперсного состава более наглядно. Дисперсный состав пыли часто изображают в вероятностно-логарифмической системе координат. На оси абсцисс откладывают логарифмы диаметров частиц, на оси ординат - массу данной пыли соответствующего размера в процентах.

Распределение массы пыли по диаметрам выражается прямой или близкой к ней линией.

Академиком Л. П. Колмогоровым теоретически обосновано, что дисперсность частиц, образующихся при измельчении материала в течение достаточно длительного времени, подчиняется логарифмическому нормальному закону распределения.

Справедливость этого положения была неоднократно подтверждена экспериментально.

Существует следующая характеристика классификационных групп пыли: I - очень крупнодисперсная; II - крупнодисперсная; III - среднедисперсная; IV - мелкодисперсная; V - очень мелкодисперсная.

### 3. Приборы и оборудование.

Применяется следующее оборудование и приборы: механический ситовый анализатор 028М, лабораторные весы; оптический микроскоп, окулярный и объективный микрометры, предметное стекло.

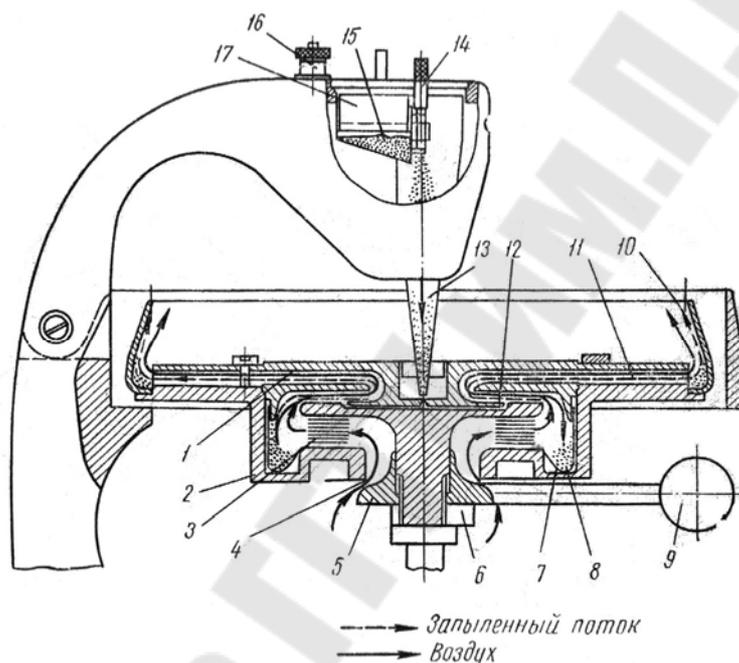


Рис. 1. Схема центробежного сепаратора «Бако»:

- 1 - верхняя часть ротора; 2 - нижняя часть ротора; 3 - выпрямитель воздушного потока; 4 - кольцевая щель; 5 - коллектор; 6 - подкладка; 7 - пылесборник; 8 - пыль (крупная фракция); 9 - рукоятка тормоза; 10 - борт ротора; 11 - крыльчатка вентилятора; 12 - камера сепарации; 13 - питающая воронка; 14 - винт заслонки; 15 - исследуемая пыль; 16 - винт вибропитателя; 17 - вибропитатель

### 4. Порядок проведения работы

4.1. Определить дисперсный состав пыли методом ситового анализа с помощью ситового анализатора, состоящего из 11 сит (рис. 2.).

4.1.1. Приготовить навеску пыли 200 г.

4.1.2. Высыпать пыль на верхнее сито прибора; закрыть крышку.

4.1.3. Включить анализатор, провести встряхивание в течение 8-ми минут.

4.1.4. Выключить установку и разобрать сита.

4.1.5. Взвесить остатки пыли на каждом сите.

4.1.6. Определить процентное содержание пыли на каждом сите и сделать заключение о распределении данной пробы пыли по фракциям.

4.2. Определить дисперсный состав пыли методом микроскопии.

4.2.1. Приготовить препараты пыли для рассмотрения под микроскопом. Их можно приготовить двумя способами: по методу осветления фильтров или запылением предметного стекла. В первом случае запыленный фильтр из материала ФПП-15 подвергают воздействию паров ацетона. Материал фильтра расплавляется, образуя прозрачную пленку, и фиксирует частицы пыли. Для приготовления препарата пылей, которые взаимодействуют с растворителем, этот метод непригоден.

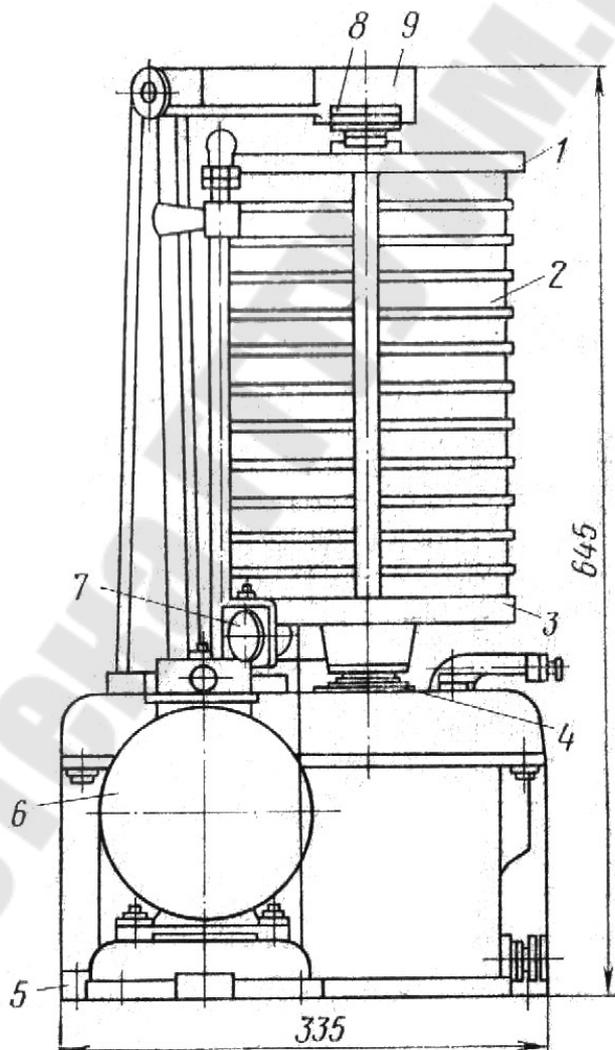


Рис. 2. Механический ситовый анализатор 028М:

1 - крышка; 2 - набор сит; 3 - столик; 4 - эксцентриковый вал;  
5 - станина прибора; 6 - электродвигатель; 7 - кулиса; 8 - винты; 9 - рычаг

В данной работе препарат для микроскопирования приготовлен другим способом: предметное стекло, сухое или покрытое липким прозрачным веществом (желатин из агар-агара), запыляют, а затем накрывают покровным стеклом.

4.2.2. Определить цену деления окулярной микрометрической линейки по шкале объективного микрометра.

Объективный микрометр представляет собой прямоугольную стеклянную пластинку с нанесенной на ней шкалой. Размеры делений шкалы обозначаются на пластинке объективного микрометра. В работе используется объективный микрометр со шкалой в 1 мм, разделенной на сто частей, т.е. так, что каждое деление равно 0,001 мм или 10 мкм.

На предметный столик микроскопа помещают объективный микрометр.

4.2.3. При слабом увеличении устанавливают шкалу объективного микрометра в центре поля зрения, затем изменяют установку на большее увеличение и в окуляр микроскопа вставляют окулярный микрометр.

4.2.4. Двигая объективный или окулярный микрометр, добиваются совпадения их шкал (рис. 3).

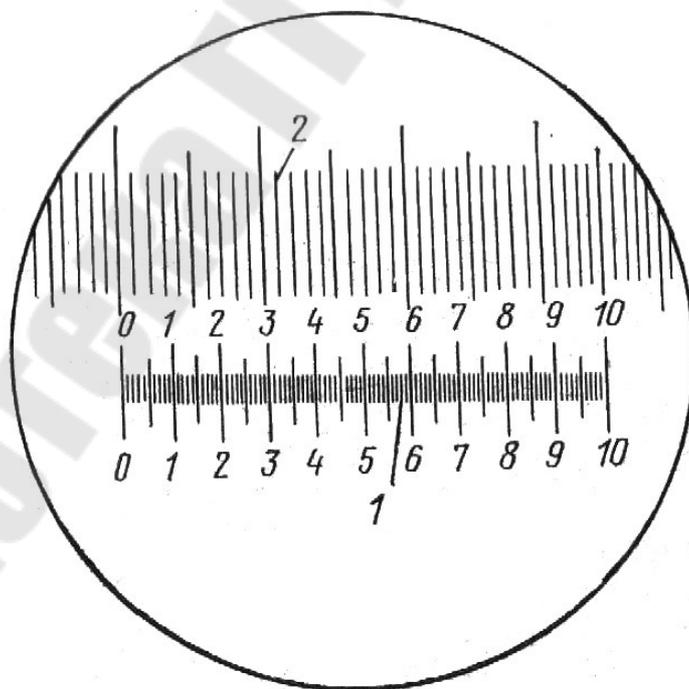


Рис. 3. Измерение величины окулярной микрометрической линейки:  
1 - окулярная микрометрическая линейка; 2 - объектив-микрометр.

4.2.5. Определить цену деления окулярного микрометра. Например, 30 делений шкалы окулярного микрометра соответствуют 10 делениям шкалы объектива. Т.к. одно деление объективной шкалы соответствует 10 мкм, каждое деление будет равно  $10 \cdot 10 / 30 = 3,33$  мкм.

4.2.6. Определить размер частицы пыли следующим образом: препарат установить так, чтобы интересующий поперечник данной пылинки совпадал со шкалой окулярного микрометра, подсчитать, сколько делений занимает поперечник пылинки. Умножив число делений на найденную цену деления, получаем размер пылинки.

4.2.7. Подсчитать в поле зрения микроскопа число частиц, имеющих размеры в следующих интервалах (фракции): < 1 мкм; от 1 до 5 мкм; от 5 до 10 мкм; от 10 до 25 мкм; выше 25 мкм.

При работе с пылями, частицы которых не очень отличаются по размерам, измеряют 300-500 частиц; при значительной полидисперсности пыли делают измерения не менее 1000 частиц.

4.2.8. После подсчета числа частиц каждой фракции, результаты выразить в процентах от числа частиц:  $d = n / n_0 \cdot 100 \%$ , где  $d$  – доля частиц определенной фракции;  $n$  – число частиц определенной фракции, шт;  $n_0$  - общее число замеренных частиц, шт. Результаты занести в таблицу 1.

Таблица 1

Результаты измерения размеров частиц пыли

Размер частиц, мкм	< 1	1 - 5	5 - 10	10 - 25	> 25
Число частиц фракции $n$ , шт					
Доля частиц определенной фракции $d$ , %					

5. Требования к отчету. Отчет должен содержать:

- 5.1. Цель работы и краткое изложение теории.
- 5.2. Порядок проведения работы и результаты в таблице 1.
- 5.3. Анализ полученных результатов и вывод.

6. Контрольные вопросы.

- 6.1. Что представляет собой пыль? В чем ее опасность?
- 6.2. Каковы основные физико-химические характеристики пыли?

- 6.3. С какой целью необходимо знать физико-химические характеристики пыли?
- 6.4. Что такое дисперсность пыли и какими методами она определяется?
- 6.4. В чем суть ситового анализа и порядок его проведения?
- 6.5. В чем суть седиментометрического метода?
- 6.6. Суть центробежного метода воздушной сепарации? Аппарат для его проведения?
- 6.7. Суть микроскопического метода, почему он называется счетным?
- 6.8. Какие аппараты используются для очистки атмосферы от пыли?
- 6.9. Как пыль классифицируют по происхождению?
- 6.10. Каков интервал дисперсности аэрозольных частиц?
- 6.11. Как пыль классифицируют по размерам?

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 2 ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ ОСАЖДЕНИЯ ЧАСТИЦ

1. Цель работы - определение опытных значений скорости осаждения и сравнение с расчетными.

2. Теоретические сведения.

Для правильного проектирования пылеулавливающих аппаратов (и пылеотборных устройств) необходимо знать, как движутся частицы под действием внешних сил.

Пылевая частица, осаждающаяся под действием гравитационной силы, испытывает сопротивление газообразной среды. Вектор этой силы направлен в сторону, обратную движению частицы. Режим движения среды может быть вязким и турбулентным, что характеризуется соответствующей величиной числа Рейнольдса -  $Re$ . Принято весь диапазон чисел  $Re$  от 0 до  $\infty$  делить на три области. В каждой такой области сопротивление движению частицы  $F_c$  имеет определенную закономерность: область закона Стокса, область закона Ньютона, промежуточная область. Скорость осаждения частиц также зависит от величины  $Re$  и рассчитывается по соответствующим формулам.

### Сопротивление среды в зависимости от числа Рейнольдса - $Re$

При медленном движении частицы увлекаемые ею слои среды имеют строго ламинарный, слоистый характер движения. Сопротивление среды при этом складывается из суммы сил внутреннего трения между этими слоями и выражается законом Стокса. Для сферической частицы сила сопротивления по Стоксу равна

$$F_c = 3 \cdot \pi \cdot \mu \cdot d \cdot w, \quad (1)$$

где  $d$  – диаметр частицы, м;

$\mu$  – вязкость среды, Па;

$w$  – скорость движения частиц, м/с.

Формула Стокса справедлива для  $Re < 1$ .

Увеличение скорости движения частицы вызывает турбулизацию среды. Силы инерции становятся значительно больше сил вязкости.

Среда приближается по своим свойствам к идеальной жидкости. Для больших скоростей ( $Re > 500$ ) сопротивление среды будет обусловлено только инерцией ее перехода из спокойного состояния в движение под действием движущейся частицы. Это сопротивление среды можно определить по закону Ньютона для идеальной, не имеющей вязкости жидкости. В общем виде для частицы диаметром

$d$ , расположенной в потоке, сила сопротивления среды плотностью  $\rho_r$ , Н, равна

$$F = \zeta \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{w^2}{2} \rho_r; \quad (2)$$

где  $\zeta$  – коэффициент сопротивления, зависящий от режима движения и формы тела.

В области  $Re > 500$  опыт показывает, что для диска, расположенного перпендикулярно потоку,  $\zeta = 1,12$ ; для шара -  $\zeta = 0,44$ . Следовательно, для сферической частицы турбулентное сопротивление среды (по Ньютону), Н, можно записать следующим образом:

$$F_H = 0,44 \frac{\pi d^2}{4} \frac{w^2}{2} \rho_r; \quad (3)$$

В опытах также установлено, что формула Ньютона справедлива для относительно крупных частиц.

По многочисленным экспериментальным данным построена зависимость  $\zeta = f(Re)$  для сферических тел (рис.4.) (т.н. стандартная кривая). Для области действия закона Стокса, т.е. для области ламинарного сопротивления, пропорционального скорости движения частицы в первой степени, коэффициент сопротивления можно выразить так:

$$\zeta = \pi \mu d / \left( \frac{\pi d^2}{4} \frac{w^2}{2} \rho_r \right) = 24/Re \quad (4)$$

Формула (4) верна, если  $Re < 1$  и размеры частиц  $d \geq 1$  мкм. В промежуточной области значений  $Re$  от 1 до 500 нельзя пренебречь турбулентным сопротивлением среды. Здесь коэффициент сопротивления изменяется пропорционально  $w^n$ . С увеличением числа  $Re$  значение  $n$  непрерывно возрастает от единицы до двух. Хорошие результаты дает формула  $\zeta = A^m/Re$ , где  $A = 24 \dots 5,8$   $m = 1 \dots 0,37$ . При  $Re > 500$  можно полностью пренебречь вязким сопротивлением. В этой области для шарообразных тел  $\zeta = 0.44$ .

При дальнейшем увеличении числа  $Re$  до  $10^5$  коэффициент сопротивления  $\zeta$  остается примерно постоянной величиной (рис.4).

Применимость закона Стокса имеет и нижний предел, определяемый такими мелкими частицами ( $d \ll 1$  мкм), что они становятся

чувствительными к ударам молекул и находятся в броуновском движении. Здесь вводится поправка Каннингема.

#### Скорость осаждения частиц

Знание законов сопротивления среды при осаждении частиц, как сказано выше, необходимо для определения скорости их осаждения. Известно, что под действием любой силы тело движется ускоренно. Так как с увеличением скорости движения увеличивается и сопротивление среды, то в ходе осаждения неизбежно должен наступать такой момент, когда сопротивление среды  $F$  станет равным движущей силе  $P$ , т.е. когда вся движущая сила расходуется только на преодоление сопротивления среды, и движение становится установившимся, а ускорение равным нулю. С этого момента частица осаждается с постоянной установившейся скоростью.

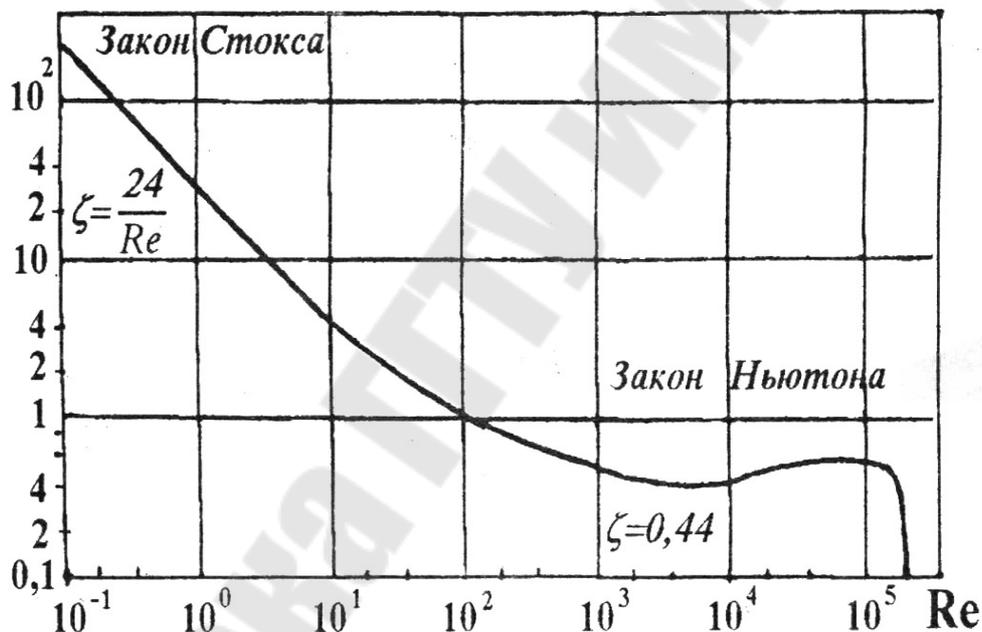


Рис. 4. Зависимость  $\zeta = f(Re)$  для сферических частиц

Из сказанного следует, что скорость осаждения определяется путем приравнивания силы сопротивления среды движущей силе  $F = P$ .

При осаждении сферических частиц под действием тяжести в условиях применимости закона Стокса возникает равенство:

$$3\pi\mu d w = \frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho_r) g, \quad (5)$$

откуда

$$w_c = \frac{(\rho - \rho_r)d^2 g}{18\mu} = \tau \cdot g, \quad (6)$$

где  $\tau$  – постоянная времени или время релаксации.

Это выражение справедливо, когда число  $Re \leq 1$ .

При осаждении сферических частиц под действием силы тяжести в условиях применимости закона Ньютона ( $Re < 500$ ) записывается аналогично

$$0,44 \frac{\pi d^2}{4} \frac{w^2}{2} \rho_r = \frac{\pi d^3}{6} (\rho - \rho_r) g \quad (7)$$

Выражение справедливо только тогда, когда  $Re > 500$ .

Скорость осаждения частиц в промежуточной области  $1 < Re < 500$  можно определять по формуле

$$Re = \frac{Ar}{18 + 0.61\sqrt{Ar}} \quad (8)$$

где  $Ar$  – критерий Архимеда,

$$Ar = d^3 (\rho - \rho_r) \rho_r g \mu^{-2},$$

Порядок расчета скорости: определив значение числа  $Ar$ , по формуле (8) находят число  $Re$  и далее искомую скорость осаждения

$$w = Re \mu / (d \rho_r), \quad (9)$$

### Влияние формы частицы на процесс осаждения.

Все приведенные выражения для сопротивления среды, а следовательно, и скорости осаждения справедливы для шарообразных частиц. В технике, как правило, частицы пыли неправильной формы. Коэффициент сопротивления среды  $\zeta$  является функцией не только числа  $Re$ , но и формы частицы. В то же время влияние формы на коэффициент сопротивления также зависит от режима движения среды, вызванного движением частицы, т.е. от числа  $Re$ . Из-за влияния формы расчет скорости осаждения частиц в технологических аппаратах является приближенным, т.к. вводится их эквивалентный диаметр.

В большинстве случаев скорость осаждения частиц несферической формы меньше, чем сферической при равных эквивалентных диаметрах. Эквивалентный диаметр частицы определяется по ее массе  $m$ .

$$d_{\text{эк.в.}} = \sqrt[3]{6m/\pi \cdot \rho}, \quad (10)$$

Если влиянием формы можно пренебречь, то скорость осаждения таких частиц рассчитывают по формуле (6) или (9) с учетом (10). Для учета влияния формы на скорость осаждения можно применять следующие теоретические формулы:

$$F_C = -2\pi\mu w l \left( \ln \frac{2l}{d} - 0,72 \right)^{-1}, \quad (11)$$

для диска радиусом  $r$ , падающего

$$\text{плашмя } F_C = -5,1\pi\mu w r, \quad (12)$$

$$\text{ребром } F_C = -3,3\pi\mu w r, \quad (13)$$

### Влияние стесненности движения осаждающейся частицы на скорость осаждения

Стесненность движения осаждающейся частицы возникает при прохождении ее траектории вблизи вертикальной стенки. Величину поправки ( $k$ ) на скорость осаждения ( $k \cdot w_c$ ) можно определить по одной из формул: при прохождении частицы  $d$  на расстоянии  $l$  от плоской стенки  $k_1 = 1 - 0,56(d/l)$ ; при осаждении частицы между двумя плоскими стенками, находящимися на расстоянии  $l$  друг от друга,  $k_2 = 1 - 1,004(d/l) + 0,418(d/l)^3$ , или при осаждении частицы  $d$  по оси трубки диаметром  $D$

$$k_3 = 1 - 2,104\left(\frac{d}{D}\right) + 2,09\left(\frac{d}{D}\right)^3.$$

В данной лабораторной работе определяется опытная и расчетная скорость осаждения в глицерине стальных шариков разных диаметров и частиц сложной формы типа тонких цилиндров и дисков.

### 3. Описание установки

Лабораторная установка для определения скорости осаждения частиц состоит из стеклянного цилиндра с нанесенными на нем метками (ниже участка установления равномерной скорости), расстояние между которыми равно 0,1 м. Цилиндр заполнен глицерином до уровня примерно 1 м от его дна.

В комплект оборудования входит микрометр для определения диаметра шариков, ареометр для определения плотности глицерина, секундомер для замера времени осаждения частиц, весы для определения массы частиц несферической формы.

#### 4. Порядок проведения работы

1. Перед началом работы на установке получить допуск у преподавателя по знанию техники безопасности.
2. Микрометром измерить диаметры всех шариков, выданных преподавателем или лаборантом.
3. Каждый шарик поочередно осторожно опустить на поверхность глицерина ближе к центру цилиндра. При прохождении шариком верхней метки включить секундомер и следить за движением шарика. При достижении нижней метки выключить секундомер и таким образом засечь продолжительность  $t$  прохождения шариком пути  $h = 0,7...0,8$  м (расстояние уточнить).
4. Ареометром измерить плотность глицерина.
5. На весах определить массу несферических частиц.
6. Определить время осаждения двух одинаковых шариков на расстоянии  $d$  и  $2d$  от стенки цилиндра.
7. Результаты всех замеров внести в табл. 2 и приступить к обработке результатов.

#### 5. Обработка результатов опыта.

1. Опытную скорость осаждения всех шариков определить так же, как и скорость осаждения самого маленького шарика:  $w_{on} = h/t$  м/с. Результаты вычисления внести в табл. 3.
2. По опытному значению скорости осаждения самого маленького шарика  $w_{on}$ , используя уравнение (6), определить вязкость глицерина  $\mu = (\rho - \rho_r)d^2g/(18w_{on})$  Па.с.  
Полученное значение занести в табл. 2

Таблица 2

## Результат опытов по осаждению частиц

№ п/п	Размер частиц, $d$ , м	Путь осаждения, $h$ , м	Время осаждения, $t$ , с	Наименование измеряемых величин	Единица измер.	Величина
1 2				Плотность частиц, $\rho$	кг/м <sup>3</sup>	7800
3 4				Плотность глицерина, $\rho$	кг/м <sup>3</sup>	1250
5 6				Вязкость глицерина, $\mu$	кг/м <sup>3</sup>	Опред-ся в опыте

Таблица 3

## Расчетная скорость осаждения частиц

№ п/п	Размер частиц, $d$ или $d_{эkv}$ , м	Опытная скорость осаждения $w_{он}$ , м/с	$A_r = d^3 \rho_r (\rho - \rho_r) g \mu^{-2}$	Re	Теоретическая скорость осаждения $w_t$ , м/с	$\delta$ , %
1 2						

3. Проверить справедливость закона Стокса для данного шарика путем вычисления числа  $Re = w_{он} d \rho_r \mu^{-1}$ , которое должно быть меньше единицы.

4. Определить теоретическую скорость осаждения других шариков и частиц. Очевидно, что теоретическая скорость осаждения самого маленького шарика должна совпадать с опытной величиной, поскольку последняя была использована для определения вязкости  $\mu$  на основании применимости закона Стокса. Для определения теоретической скорости осаждения остальных частиц необходимо найти значение критерия Архимеда  $A_r = d^3 \rho_r (\rho - \rho_r) g \mu^{-2}$ .

По численному значению критерия  $Ar$  по формуле (8) определить число  $Re = w_t d \rho_r \mu^{-1}$  и отсюда искомую скорость осаждения  $w_t = Re \mu d^{-1} \rho_r^{-1}$  м/с.

5. Найти величину отклонения теоретической скорости осаждения от скорости, определенной в опыте:

$$\delta = \frac{w_{on} - w_m}{w_{on}} \cdot 100\%.$$

Результаты вычислений внести в табл. 3.

6. Требования к отчету. Отчет должен содержать:

- 6.1. Краткое изложение теории и цель работы.
- 6.2. Заполненные табл. 107 и 108.
- 6.3. Расчет вязкости для табл. 107 и расчет одной-двух строк из табл. 108.
- 6.4. Анализ полученных результатов и выводы.

7. Контрольные вопросы

- 7.1. Какова область применимости закона Стокса и закона Ньютона для определения силы сопротивления при осаждении частицы?
- 7.2. Каков вид обобщенного закона сопротивления среды?
- 7.3. Чему равен коэффициент сопротивления для шара при  $Re \leq 1$ ; при  $Re > 500$  и  $1 < Re < 500$  ?
- 7.4. Чему равна скорость осаждения сферической частицы при  $Re \leq 1$  (закон Стокса); при  $Re > 500$  (закон Ньютона)?
- 7.5. Как определяется скорость осаждения для промежуточной области  $Re(1 < Re < 500) r >$
- 7.6. Какова цель работы?
- 7.7. Расскажите порядок проведения экспериментальной части работы?
- 7.8. Как рассчитать теоретическую скорость осаждения частицы?
- 7.9. В чем заключается метод определения вязкости жидкости, основанный на законе Стокса?

### ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 3

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫДЕЛЕНИЙ ОКСИДА УГЛЕРОДА ПРИ ТЕРМОДЕСТРУКЦИИ СВЯЗУЮЩИХ РАЗНЫХ КЛАССОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ФОРМ И СТЕРЖНЕЙ

#### 1. Цель работы

Освоение экспрессного метода определения концентрации оксида углерода в воздухе рабочей зоны при термодеструкции связующих формовочных и стержневых смесей.

#### 2. Теоретические сведения

Литейное производство является одним из источников загрязнения объектов окружающей среды (атмосферы, гидросферы и литосферы). Практически все технологические этапы изготовления отливок сопровождаются вредными воздействиями на окружающую среду. К ним относятся: выделения пыли (оксиды металлов, составляющие шлаков, пыль кремнесодержащая и др.), вредных газов (неорганические - оксид углерода, диоксид серы, оксиды азота и др.; органические - фенол, формальдегид, бензол, фурфурол и др.), загрязнение сточных вод механическими и химическими примесями и образование твердых отходов; тепловое и электромагнитное излучения, шум и вибрация.

На атмосферный воздух приходится более 70 % всех вредных выбросов литейного производства.

Например, производство 1 т чугунных отливок сопровождается выделением 20-30 кг пыли, 200 - 300 кг оксида углерода, 1-2 кг оксидов серы и оксидов азота, 0,5-1,5 кг других вредных веществ (фенола, формальдегида, ароматических углеводородов, аммиака, цианидов и др.)

Оксид углерода (СО), взаимодействуя с гемоглобином крови, образует карбоксигемоглобин, который препятствует поступлению в кровь кислорода, и в соответствии с “Санитарными правилами литейного производства” концентрация его в рабочей зоне и в атмосфере на территории предприятия и в зоне жилой застройки регулярно контролируется.

Предельно допустимая концентрация СО в рабочей зоне (ПДКр.з.) - 20 мг/м<sup>3</sup>, предельно допустимая концентрация СО населенных мест (ПДКн.м.) - 3,000 мг/м<sup>3</sup>.

Для обеспечения безопасных условий труда работающих, а также для проверки условий работы в данном производственном помещении на соответствие санитарным нормам и правилам (в том числе ПДКр.з. требованиям ГОСТ 12.1.005-88) применяют различные методы анализа загрязнений воздуха.

Метод газовой хроматографии является одним из наиболее точных и распространенных. Он дает возможность определить наличие нескольких веществ в одной пробе воздуха. Разделение газовой смеси происходит при пропускании ее через колонку, заполненную сорбентом. Компоненты смеси распределяются между движущейся фазой, которая может быть жидкой или твердой. Регистрация разделенных компонентов смеси осуществляется хроматографическим детектором в результате преобразования в электрический сигнал изменения физико-химических свойств газового потока, выходящего из хроматографической колонки. Результатом измерения является хроматограмма, на которой представлена зависимость величины сигнала детектора от времени или от объема газа-носителя. Площадь каждого хроматографического пика пропорциональна концентрации компонента, соответствующего этому пику, что позволяет провести количественное определение содержания компонента, входящего в состав смеси.

Колориметрический метод основан на измерении ослабления светового потока, происходящего вследствие избирательного поглощения света в видимой области спектра специальными растворами. Определяемый компонент переводят в окрашенное соединение при помощи специфической химической реакции и определяют интенсивность окраски раствора по его оптической плотности.

Приборы: фотоколориметры, спектрофотометры.

Химические методы применяются в условиях, когда требуется высокая точность измерений. Определение содержания СО химическим методом основано на его окислении до СО<sub>2</sub> йодноватым ангидридом, поглощении СО<sub>2</sub> баритом и микротитровании избытка барита соляной кислотой.

Кондуктометрический метод основан на измерении электропроводности раствора сорбента при поглощении определяемой примеси из пробы исследуемого воздуха. Изменение электропроводности раствора характеризует количество примеси.

Кулонометрический метод предполагает определение количества электричества; необходимого для осуществления электрохимиче-

ского процесса выделения на электроде или образования в электролите вещества, по которому проводят анализ исследуемой пробы.

Акустический метод основан на способности газов и паров поглощать инфракрасные лучи и, следовательно, нагреваться, вследствие чего в измерительном сосуде повышается давление. Если исследуемый воздух подвергают воздействию инфракрасного излучения, прерываемого со звуковой частотой, в сосуде возникает пульсация давления, т.е. возникает звук по силе и высоте которого судят о концентрации определяемой примеси.

Термохимический метод заключается в измерении теплового эффекта химической реакции, протекающей на поверхности нагревателя из каталитически активного материала.

Ионометрический метод позволяет измерять изменения ионной проводимости твердого электролита при пропускании исследуемого газа при высокой температуре (более 700 °С) через чувствительный элемент. Возникающая разность химических потенциалов на чувствительном элементе из твердого электролита позволяет судить о непрерывном изменении концентрации исследуемого компонента (в частности СО) в воздухе.

В данной работе определение концентрации СО проводят ионометрическим методом с помощью измерителя, разработанного А.Г. Фохтиным.

### 3. Описание установки

Измеритель концентрации СО представляет собой непрерывно действующий электронно-цифровой прибор, предназначенный для измерения объемной концентрации окиси углерода в составе отходящих газов теплотехнических установок.

Рабочие условия применения:

- температура анализируемого газа от 650 до 1500°С;
- атмосферное давление в топочном отделении от 666,5 Па до 106,4кПа;
- объемное содержание оксида углерода в составе отходящих газов от 10 до 20%;
- основная относительная погрешность газоанализатора не более 4 % для диапазона 1х10 - х10 и не более 3 % для диапазона 1 - 20 %.
- расход анализируемого газа через чувствительный элемент - 2,5 ±0,125см<sup>3</sup>/с.
- напряжение питания газоанализатора 220± 22 В частотой 50 Гц.

- потребляемая мощность не превышает 30 Вт.

Время подготовки прибора к работе после включения составляет около 10 минут.

#### 4. Порядок проведения работы

Чувствительным элементом газоанализатора является гальваническая ячейка, обладающая при высокой температуре ионной проводимостью, возникающей вследствие разности химических потенциалов на поверхности ячейки. ЭДС, возникающая на электродах, пропорциональна разности химических потенциалов на внешней и внутренней поверхности ячейки; на внешней поверхности ячейки формируемая величина химического потенциала, пропорциональная концентрации анализируемого газа, а на внутренней поверхности ячейки величина потенциала определяются потоком кислорода через структуру электролита и избыточным содержанием графита.

Разность электродных потенциалов связана с парциальными давлениями оксида углерода в анализируемом газе и сравнительной среде соотношением Нернста:

$$E = \frac{RT}{4F} \ln \frac{P_x''}{P_x'}, \quad (14)$$

где  $E$  – разность электродных потенциалов (ЭДС ячейки), В;

$R$  – газовая постоянная, равная 8,314 Дж/(моль·К);

$T$  – температура газа, К;

$4F$  – количество электричества,  $4 \times 96500$  Кл/моль;

$P_x'$ ,  $P_x''$  – парциальные давления оксида углерода в анализируемом газе и сравнительной среде, Па.

Чувствительный элемент газоанализатора выполнен в виде пробырки из циркониевой керамики. Рабочей частью элемента является его доньшко, на которое с обеих сторон методом выжигания нанесены пористые молибденовые электроды и дополнительно покрыты слоем циркониевой керамики.

Рабочим электродом является внутренний электрод, а электродом сравнения - наружный.

Тоководы от электродов выполнены в виде молибденовых дорожек. Анализируемый газ подается внутрь чувствительного элемента и свободно входит в атмосферу.

Электрическая схема газоанализатора функционально делится на измерительную схему, схему регулятора температуры, источник электропитания.

Для точного поддержания температуры рабочей зоны чувствительного элемента применяется регулятор температуры. В качестве термочувствительного элемента используется термопара ТПР градуировки ПР-30/6, не требующая коррекции на изменение температуры свободных концов.

Электропитание схем газоанализатора производится от общего трансформатора.

Питание усилителя вместе с преобразователем аналогового сигнала, т.е. АЦП, производится от источника питания напряжением +5 В.

Блок-схема газоанализатора представлена на рис. 5.

Поток анализируемого газа проходит по трубкам в канал чувствительного элемента, а затем вновь поступает в атмосферу.

4.1. Для изучения интенсивности выделения окиси углерода в воздух рабочей зоны при термодеструкции стержневых смесей в зависимости от типа и количества связующих, изготовить партию стержней с использованием смол разных классов.

4.2. Приготовить стержневые смеси по вариантам, приведенным в табл. 4.

4.3. Для изготовления стержней использовать металлический стержневой ящик. Полученный стержень имеет следующие размеры: диаметр 10 мм, длина 60 мм.

4.4. При изготовлении стержней с использованием связующих горячего отверждения нагрев стержня (табл.4.) проводить в силитовой лабораторной печи. С помощью термопары типа ХА (или ВР5/20) зафиксировать необходимую температуру отверждения и поддерживать ее постоянной в течение 1-2 минут (время зависит от массы стержня), используя подключенный к печи реостат.

4.5. При использовании химически твердеющих связующих (ХТС) стержень формируется в стержневом ящике и выдерживается несколько минут. Время выдержки определяется типом применяемых ХТС.

4.6. После отверждения и охлаждения извлечь готовый стержень из формы. Затем стержень поместить в специальную стеклянную трубку из кварцевого стекла (термостойкую), а трубку - в силитовую печь и подвергнуть постепенному нагреву в интервале температур до 1000° С. (принятая температура термодеструкции).

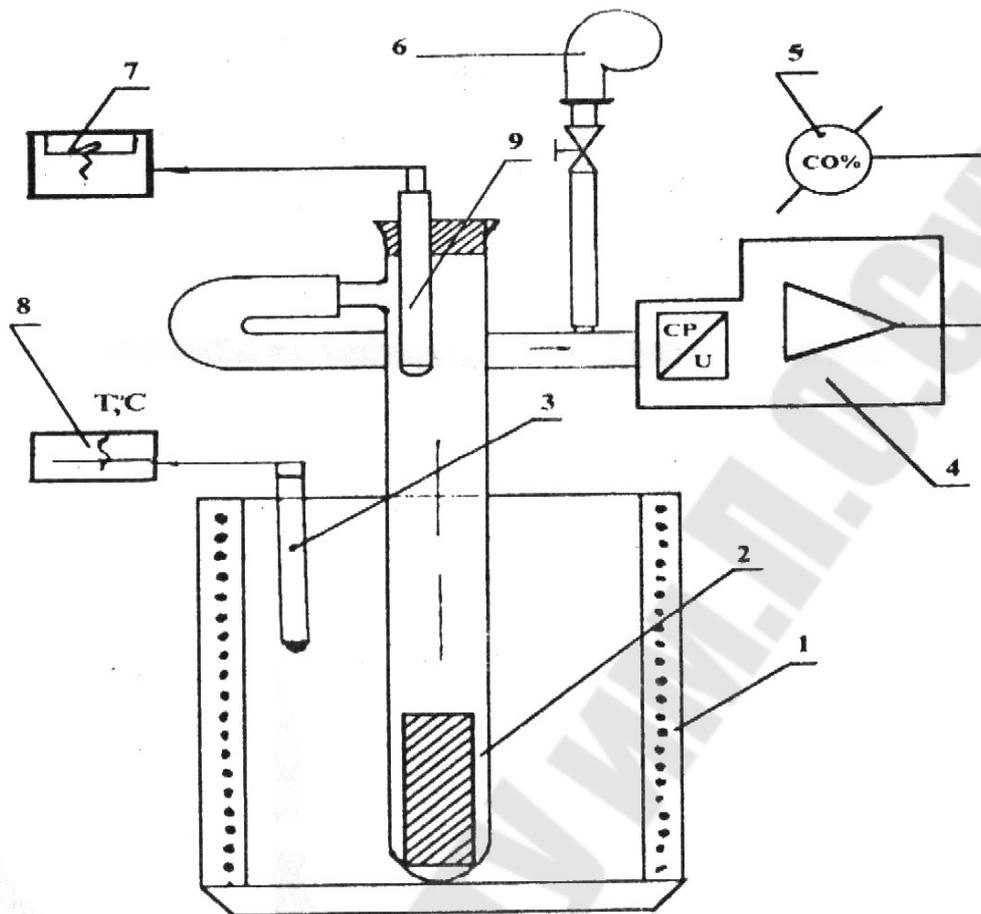


Рис. 5. Блок-схема газоанализатора:

- 1 - датчик-преобразователь концентрации в электрический сигнал;
- 2 - нагревательный элемент; 3 - фарфоровая трубка; 4 - корпус преобразователя; 5 - штуцер-гайка; 6 - усилитель; 7 - показывающий внешний прибор-индикатор концентрации; 8 - блок питания нагревательного элемента

Схема лабораторной установки представлена на рис. 6.

4.7. Как известно, образование СО начинается от температуры 650°C и выше. Поэтому, начиная от температуры 400°C, показания прибора фиксируются непрерывно в виде диаграммы на КСП (или через 3-5 секунд в рабочем журнале).

4.8. Аспирирование воздуха с скоростью 20 л/мин над источником выделения СО осуществляют при помощи электроасpirатора типа М-822. Электроасpirатор - прибор, предназначенный для отбора проб воздуха с заданной скоростью от 0 до 20 л/мин.

Составы исследуемых стержневых смесей

№	Класс связующего	Марка связующего	Кол-во связующего в смеси, %	Тип и кол-во отвердителя, %	Температура, °С и время отверждения, мин.
1	Химически твердеющие (ХТС)	БС-40	1,5		
2			2,0		
3			2,5		
4	Горячего отверждения (ГТС)	Пульвебакелит	1,5		
5			2,0		
6			2,5		
7	ГТФ) + 25% лигносульфаната марки А	Генераторная смола (ГТФ) + 25% лигносульфаната марки А	1,5		
8			2,0		
9			2,5		

Перед проведением измерений концентрации СО прибор настроить:

1. Включить тумблер "Сеть" газоанализатора. Через 10 -15 минут после включения прибор готов к работе.
2. Включить электроаспиратор, установив заданную скорость отбора воздуха.
3. Включить наружную кнопку шкалы прибора. Кнопка выбирается в соответствии с ожидаемой концентрацией окиси углерода в анализируемом газе.
4. Отсчет концентрации контролируемой составляющей в исследуемом газе производится по цифровому индикатору на передней панели прибора.

#### 5. Обработка результатов

Для расчета концентрации СО в анализируемом газе используют градуировочный график.

#### 6. Требования к отчету. Отчет должен содержать:

- 6.1. Цель работы краткие теоретические сведения.
- 6.2. Описание аппаратуры.
- 6.3. Методику.

6.4. Результаты, представленные в виде табл.5 и график зависимости содержания СО в воздухе от количества связующего и температуры нагрев

8. Выводы.

Таблица 5

Результаты исследований

Номер варианта	Марка связующего	Количество связующего	Концентрация СО в воздухе, мг/м <sup>3</sup> , при t нагрева. °С		
			400	650	1000

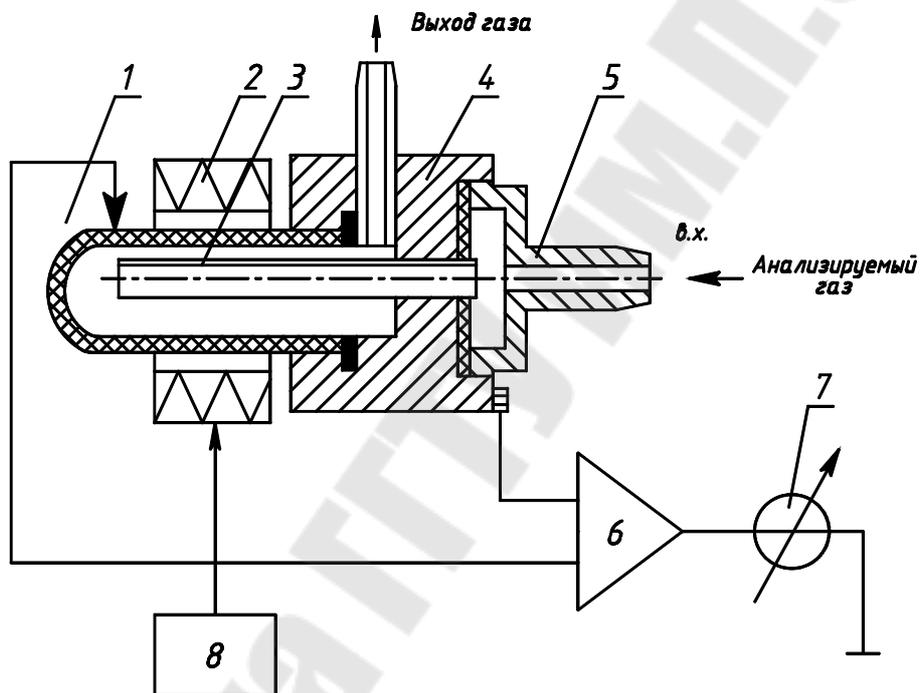


Рис. 6. Схема лабораторной установки.

- 1 - лабораторная печь; 2 - стержень; 3 - датчик температуры - термопара;
- 4 - газоанализатор; 5 - внешний прибор компенсации отходящих газов;
- 6 - аспиратор; 7 - внешний прибор определения концентраций;
- 8 - внешний прибор для измерения температуры внутри нагревательного объема

7. Контрольные вопросы

7.1. Какие загрязняющие вещества выделяются в атмосферу в литейных, кузнечно-прессовых, термических цехах и цехах мехобработки?

7.2. Что такое предельно-допустимая концентрация (ПДК) вредного вещества? Какие существуют виды ПДК?

- 7.3. Какие методы анализа применяются для определения концентрации загрязняющих веществ в воздухе?
- 7.4. В чем опасность оксида углерода CO?
- 7.5. Какова ПДК<sub>р.з.</sub> и ПДК<sub>н.м.</sub> для CO?
- 7.6. В чем суть метода хроматографии?
- 7.8. В чем проявляется опасность диоксида серы SO<sub>2</sub>?
- 7.9. В чем проявляется опасность оксидов азота NO,NO<sub>2</sub>

## ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА № 4 ОПРЕДЕЛЕНИЕ АКТИВНОЙ РЕАКЦИИ СРЕДЫ

1. Цель работы: ознакомление с методами определения активной реакции среды, определение рН электрометрическим методом.

2. Теоретические сведения.

Активная реакция среды (рН), характеризующая степень ее кислотности или щелочности, определяется соотношением концентраций водородных и гидроксильных ионов.

Согласно классической теории электролитической диссоциации, произведение концентрации водородных и гидроксильных ионов представляет при определенной температуре постоянную величину – константу диссоциации:

$$[H^+] \cdot [OH^-] = K_w, \text{ (при температуре } 20^\circ \text{ C } K_w \text{ равна } 10^{-14}).$$

Нейтральность воды и водных растворов характеризуется равенством концентраций водородных и гидроксильных ионов, следовательно, при  $[H^+] > 10^{-7}$ ,  $[OH^-] < 10^{-7}$  растворы имеют кислую реакцию, при  $[H^+] = [OH^-] = 10^{-7}$  – нейтральную и при  $[H^+] < 10^{-7}$ ,  $[OH^-] > 10^{-7}$  – щелочную реакцию.

Согласно предложению Серенсена, активную реакцию среды выражают водородным показателем рН, представляющим собой отрицательный десятичный логарифм концентрации водородных ионов:  
 $pH = -\lg[H^+]$ ,

В соответствии с этим в кислых растворах  $pH < 7$ , в нейтральных  $pH = 7$ , в щелочных  $pH > 7$ .

Для большинства природных пресных вод рН изменяется в пределах 6,5 - 8,5. На ее величину влияют повышенная концентрация в воде гуминовых кислот (например, в водах болотного характера, подверженных гидролизу солей), "цветение" водоемов, загрязнение их стоками промышленных предприятий и другие факторы.

Постоянство рН, от которого зависит протекание в воде различных биологических и физико-химических процессов, поддерживается в природных водах гидрокарбонатной буферной системой, состоящей из растворенной в воде угольной кислоты,  $HCO_3^-$  - и  $CO_3^{2-}$  - ионов.

Активную реакцию воды чаще всего определяют колориметрическим или электрометрическим методом.

Колориметрический метод основан на изменении окраски индикатора в зависимости от концентрации ионов водорода.

Электрометрический метод определения  $pH$  основан на измерении разности потенциалов, возникающей на поверхности раздела между стеклянным электродом и раствором. Пределы линейной подчиненности потенциала электрода зависят от состава стекла электрода.

Стеклянный электрод применяют для измерения  $pH$  от 1 до 12,7. Он представляет собой трубку с напаянным на конце полым шариком из литиевого электродного стекла. При погружении электрода в раствор между поверхностью шарика и раствором происходит обмен ионами, в результате которого ионы лития в поверхностных слоях стекла замещаются ионами водорода, и стеклянный электрод приобретает свойства водородного.

В качестве вспомогательного электрода сравнения  $pH$  используют проточный каломельный или хлорсеребряный электрод, корпус которого заполняется насыщенным раствором хлорида калия. Верхняя часть корпуса с отверстием для заливки хлорида калия закрывается резиновой пробкой, которая при измерениях вынимается.

Соединения железа, сероводорода, мышьяка, свободный хлор, взвешенные вещества и коллоиды на измерение концентрации ионов водорода в природных водах не влияют. Результат определения  $pH$  зависит от температуры воды.

### 3. Описание установки.

Для проведения лабораторной работы используются: лабораторный  $pH$ -метр (типа  $pH$ -150 или  $pH$ -150М) со стеклянным электродом измерения и каломельным или хлорсеребряным электродом сравнения; реактивы:

1) буферный раствор с  $pH$  1,68 при 20 °С: 12,710 г диоксалата калия  $KH_3(C_2O_4)_2 \cdot 2H_2O$  ч. д. а. растворяют в свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воде при 20 °С и доводят объем до 1 л;

2) буферный раствор с  $pH$  4 при 20 °С: 10,211 г дифталата калия  $C_6H_4 \cdot COOK \cdot COOH$  ч. д. а., высушенного при 110 °С, растворяют в свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воде при 20 °С и доводят объем до 1 л;

3) буферный раствор с  $pH$  6,98 при 20 °С: 1,361 г  $KH_2PO_4$  ч. д. а. и 1,420 г  $Na_2HPO_4$  ч. д. а., высушенных при температуре 110-130 °С, растворяют одновременно в свежeproкипяченной и охлажденной дистиллированной воде и доводят объем при 20 °С до 1 л.

#### 4. Порядок проведения работы.

4.1. Перед измерением  $pH$  проверяют прибор по стандартным буферным растворам.

4.2. Электроды промывают дистиллированной, затем исследуемой водой, после чего погружают в тщательно перемешанную исследуемую воду. Исследуют две пробы воды. Проба № 1 – водопроводная вода; проба №2 – вода после очистки ваграночных газов в мокром пылеуловителе.

4.3. С изменением температуры контролируемого раствора изменяются и характеристики электродной системы. В связи с этим применяют специальный автоматический термокомпенсатор или термометр, входящий в комплект лабораторного датчика ДЛ-02.

4.4. Величину потенциала стеклянного электрода отсчитывают в единицах  $pH$ , округляя результаты до 0,05-0,1. Результаты записывают в отчет.

#### 5. Требования к отчету. Отчет должен содержать:

5.1. Цель работы и краткое изложение теории.

5.2. Порядок проведения работы и результаты опытов.

5.3. Анализ полученных результатов и вывод.

#### 6. Контрольные вопросы.

6.1. Что такое "активная реакция среды"?

6.2. Что такое водородный показатель  $pH$ ? Каковы его значения для кислых, нейтральных и щелочных растворов?

6.3. Какие методы применяются для определения активной реакции среды?

6.4. Какой метод использовался в работе, в чем его суть?

6.7. Какие приборы и материалы используются для определения  $pH$ ?

6.8. Каковы примеси сточных вод машиностроительных предприятий?

6.9. Перечислите методы очистки сточных вод от взвешенных примесей?

6.10. Методы очистки сточных вод от растворенных примесей?

6.11. Методы очистки сточных вод от маслопродуктов?

## ЛИТЕРАТУРА

1. Андоньев М.С., Филиппев О.В. Пылегазовые выбросы предприятий черной металлургии. – М.: Металлургия, 1979, 192 с.
2. Глуховский В.И. Разработка системы очистки от высокодисперсных частиц пылегазовых выбросов плавильных агрегатов чугунолитейных цехов. – Автореф. Канд.дис. – Минск: БПИ, 1990, 17 с.
3. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Контроль пылеулавливающих установок. – М.: Металлургия, 1973, 384 с.
4. Дубинская, Ф.Е., Белый О.А., Глуховский В.И. Газоочистное оборудование к чугунолитейным вагранкам. – Обзорн. информ. – М.:ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ, 1991, 40 с.
5. Перечень методик выполнения измерений, допущенных к применению в деятельности лабораторий экологического контроля предприятий и организаций Республики Беларусь. Т.1. – Минск.: НТЦ «АПИ», 1996, 208 с.
6. Расчет выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух при горячей обработке металлов. Руководящий документ Республики Беларусь (РД 0212.3-2002), Минск, 2002, 156 с.
7. Ровин Л.Е. Защита воздушного бассейна от выбросов промышленных предприятий. – Обзорн. информ. – Минск: БелНИИНТИ, 1984, 55 с.
8. Сборник методик по расчету выбросов в атмосферу загрязняющих веществ различными производствами. – Ленинград: Гидрометеоиздат, 1986, 184 с.
9. Худоков Д.Н., Белый О.А., Глуховский В.И., Дедовец В.А. Прогрессивные технологии очистки пылегазовых выбросов. – Обзорн. информ. – Минск: БелНИИНТИ, 1990, 43 с.

## СОДЕРЖАНИЕ

Введение	3
Лабораторная работа № 1 Определение дисперсности пыли	4
Лабораторная работа № 2 Определение скорости осаждения частиц	14
Лабораторная работа № 3 Исследование выделений оксида углерода при термодеструкции связующих разных классов, применяемых для изготовления форм и стержней	22
Лабораторная работа № 4 Определение активной реакции среды	31
Литература	34

# **ОТРАСЛЕВАЯ ЭКОЛОГИЯ**

**Практическое пособие  
по выполнению лабораторных работ  
по одноименному курсу для студентов  
специальности 1-36 02 01 «Машины  
и технология литейного производства»  
дневной и заочной форм обучения**

Автор-составитель: Русая Людмила Николаевна

Подписано в печать 09.03.06.

Формат 60x84/16. Бумага офсетная. Гарнитура «Таймс».

Цифровая печать. Усл. печ. л. 2,09. Уч.-изд. л. 2,04.

Изд. № 125.

E-mail: [ic@gstu.gomel.by](mailto:ic@gstu.gomel.by)

<http://www.gstu.gomel.by>

Отпечатано на МФУ XEROX WorkCentre 35 DADF  
с макета оригинала авторского для внутреннего использования.

Учреждение образования «Гомельский государственный  
технический университет имени П. О. Сухого».

246746, г. Гомель, пр. Октября, 48.