

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

КУРГАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Экология и безопасность жизнедеятельности»

ВЫБОР И РАСЧЕТ СИСТЕМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ

Методические указания
к выполнению практических работ
по курсу "Системы защиты среды обитания"
для студентов специальности 330100
«Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Курган 2003

Введение

В настоящее время с ростом и бурным развитием промышленности большое внимание уделяется вопросам экологической безопасности, в частности, очистке и утилизации отходов, удалению первопричин возникновения таких нежелательных явлений, как выбросы в атмосферу.

В соответствии с Законом РФ "О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения" предприятия и организации обязаны осуществлять комплексные мероприятия, направленные на предотвращение и ликвидацию загрязнения воздушной среды вредными веществами, воздействия на нее физических факторов, которые оказывают неблагоприятное влияние на здоровье человека. Размещение, проектирование и строительство зданий, сооружений и иных объектов, оказывающих прямое или косвенное негативное воздействие на окружающую среду, должно осуществляться в соответствии с требованиями в области охраны окружающей среды.

В связи с тем, что безотходные технологии находятся в периоде становления и полностью безотходных предприятий еще нет, основной задачей газоочистки служит доведение содержания токсичных примесей в газовых примесях до предельно допустимых концентраций (ПДК), установленных санитарными нормами.

Все способы очистки газов определяются в первую очередь физико-химическими свойствами примесей, их агрегатным состоянием, дисперсностью, химическим составом и др. Разнообразие вредных примесей в промышленных газовых выбросах приводит к большому разнообразию методов очистки, применяемых реакторов и химических реагентов.

Это выдвигает серьезные требования к уровню профессиональной подготовки специалиста, занимающегося вопросами проектирования и эксплуатации экобиозащитной техники, выбора средств и методов защиты среды обитания от негативных факторов промышленного производства. Инженер должен знать способы и технику защиты человека и окружающей среды от антропогенного воздействия, уметь анализировать, выбирать, разрабатывать и эксплуатировать системы и методы защиты среды обитания.

Целью практических занятий является формирование у студентов навыков проектирования и расчета экобиозащитной техники, разработки и создания новых методов и систем защиты окружающей среды, выбора режимов работы и средств защиты применительно к отдельным производствам и предприятиям.

Методические указания к выполнению практических работ

Практические занятия способствуют углублению и систематизации знаний, полученных студентами при изучении дисциплины «Системы защиты среды обитания».

В процессе выполнения работ студенты должны решить ряд задач, связанных с расчетом пылеочистных аппаратов и устройств, а также предложить и подробно обосновать выбор систем защиты воздушной среды от газообразных выбросов конкретных промышленных производств. Исходные данные выбираются по варианту, указанному преподавателем.

При выборе систем очистки необходимо учитывать, что газообразные отходы имеют сложный физико-химический состав, поэтому при выборе технических решений предпочтение должно быть отдано вариантам, предлагающим двух-, трех- и более ступенчатые схемы. При анализе методов очистки следует учитывать, что приоритетным направлением является внедрение сухих пылеуловителей. Это позволяет не только снизить себестоимость процесса, но и получить дополнительный эффект за счет утилизации уловленного продукта. Мокрые методы предпочтительней при обеспыливании взрывоопасных или токсичных газов. Подробные рекомендации по выбору и обоснованию различных систем приведены в литературных источниках /1-28/.

Отчет по работе должен достаточно полно отражать уровень подготовки студента в данной области, содержать необходимые ссылки на учебную и нормативно-техническую литературу. Он может сопровождаться рисунками, графиками и схемами, выполненными в соответствии с требованиями ГОСТ 7.32-01 «Отчет о научно-исследовательской работе».

Задачи

Задача 1

Расчет скорости витания и дисперсности частиц

Для эффективного улавливания пылевых выбросов необходимо создать такую скорость во всасывающей отверстии местного отсоса, при которой пылевая частица не будет оседать и будет двигаться вместе с газовым потоком. Скорость вертикального потока воздуха, при которой частица удерживается во взвешенном состоянии, называется скоростью витания.

Таблица 1

Исходные данные

Вариант / Параметры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
d, мкм	90	70	60	80	100	120	160	180	220	260
γ , кгс/м ³	7000	6000	2900	5000	900	10000	4000	2000	8000	1500
t, °С	60	20	40	10	0	-10	40	10	30	50
$\mu_{в20}$, кгс*с/м ³	$1,81 \cdot 10^{-6}$									

Произвести расчет скорости витания двумя способами и оценить погрешность:

- по расчетным формулам;
- по графику (рис. П. 1.).

Для частиц диаметром до 300 мкм скорость витания рассчитывается по формуле:

$$v_s = d^2 \gamma / 18 \mu_v, \quad (1)$$

где d – диаметр частицы, м; γ – удельный вес частицы, кгс/м³; μ_v – динамическая вязкость воздуха в данных условиях, кгс*с/м³.

При определении v_s по графику учитывается диаметр, удельный вес частицы, а также значение вязкости воздуха при заданной температуре. Для учета истинного значения вязкости воздуха полученное значение v_s умножается на поправочный коэффициент K , который определяется с помощью данных в таблице 2.

$$K = \mu_{в20} / \mu_{вт}. \quad (2)$$

Исходные данные

Температура воздуха, t, °С	-30	-20	-10	0	10	20	30	40	50	60	70
Динамическая вязкость воздуха $\mu_{вт}$, $\cdot 10^{-6}$ кгс*с/м ³ при давлении 760 мм рт. ст.	1,56	1,61	1,66	1,71	1,76	1,81	1,86	1,91	1,95	2,0	2,04

Определение дисперсности частиц

Для выбора способа очистки воздуха и типа аппарата необходимо определить группу дисперсности пыли. Дисперсный состав пыли может быть выражен следующими способами:

- в виде графика распределения массы пыли по размерам частиц;
- в виде таблицы «полных проходов» или «частных остатков» частиц разных размеров в процентах от общей массы пыли (например, от 0 до 5, до 10, до 20 мкм и т.д. или от 0 до 5, от 5 до 10, от 10 до 20 и т.д.);
- в виде таблицы скоростей витания.

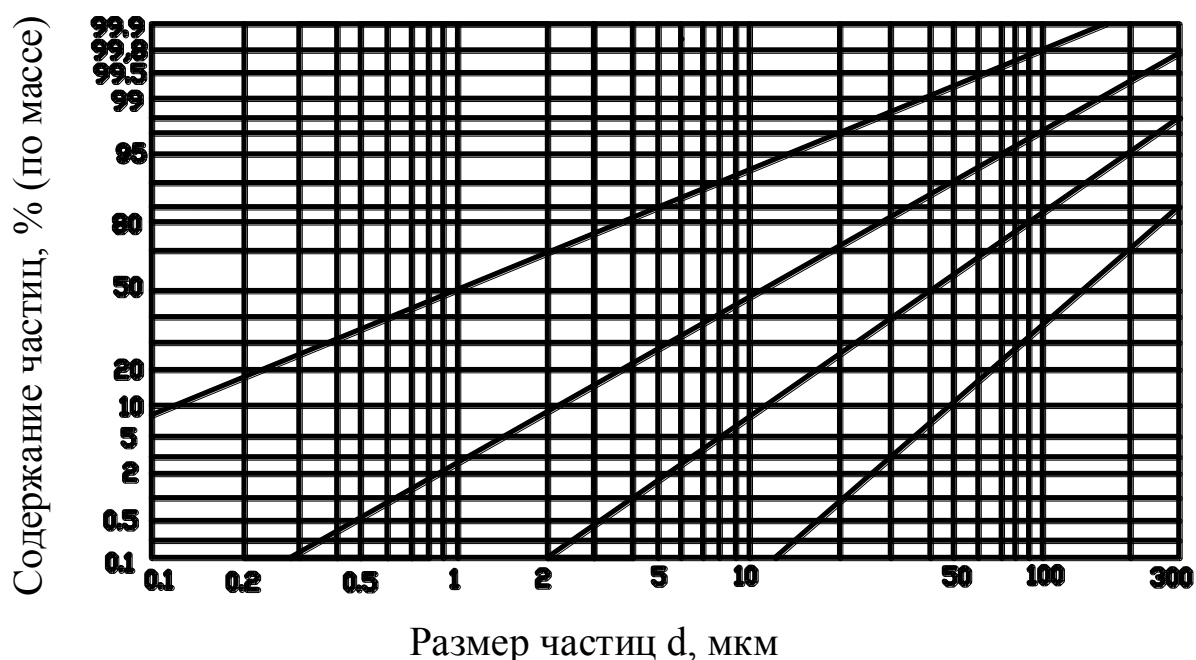


Рис.1. Номограмма фракционного состава

Группу дисперсности пыли определяют при помощи номограммы, представленной на рис. 1. на основании данных о фракционном составе пыли. Номограмма разбита на пять зон, которые соответствуют классификационным группам пыли. Для определения группы заданной пыли на номограмму наносят точки, соответствующие содержанию отдельных фракций пыли. Соединяя эти точки, получают прямую или ломаную линию, расположение которой в той или иной зоне номограммы обозначает принадлежность пыли к классификационной группе, соответствующей этой зоне. Если линия дисперсности, нанесенная на номограмму, не укладывается в пределах одной зоны, пересекая границу смежных зон, пыль следует относить к классификационной группе верхней зоны. Исходные данные для расчета приведены в таблице 3.

Таблица 3

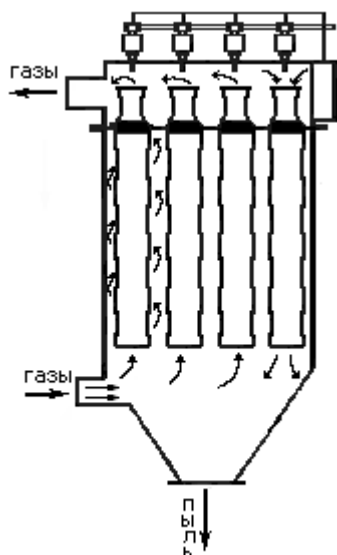
Исходные данные

Размер частиц, мкм % по массе для варианта	<5	5-10	10-20	20-40	40-80	>80
0	4	6	10	24	28	28
1	5	9	18	28	30	10
2	7	8	12	26	22	15
3	6	9	24	28	27	6
4	8	12	18	29	21	12
5	5	9	18	28	30	10
6	8	12	18	29	21	12
7	7	8	12	26	22	15
8	4	6	10	24	28	28
9	6	9	24	28	27	6

Задача 2

Расчет фильтровальных аппаратов

Расчет фильтров (рис. 2.) сводится к определению площади фильтровальных элементов, гидравлического сопротивления фильтровального элемента и фильтра, продолжительности работы фильтра до регенерации фильтровальных элементов и мощности привода вентилятора.



Гидравлическое сопротивление фильтров Δp складывается из сопротивления фильтровальной перегородки Δp_1 и сопротивления корпуса фильтра Δp_2 . Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки зависит от структурного строения перегородки, ее толщины, режима фильтрования, от массы и свойств осевшей на перегородке пыли и характеризуется двумя составляющими: постоянной Δp_1^I и переменной Δp_1^{II} . Таким образом:

$$\Delta p = \Delta p_1^I + \Delta p_1^{II} + \Delta p_2. \quad (3)$$

Постоянную составляющую гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки определяют по формуле:

Рис.2. Схема фильтра

$$\Delta p_1^I = 10 k_n \mu (q/3600)^n, \quad (4)$$

где μ —вязкость воздуха, Па·с; n —показатель степени, зависящий от режима фильтрования, для ламинарного режима $n=1$; k_n —коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки после регенерации, M^{-1} .

Переменная составляющая гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки определяется толщиной и структурой пылевого слоя, образующегося на перегородке, а также изменением порового пространства перегородки за счет забивания пор частицами пыли. Этот процесс зависит от времени фильтрования и описывается зависимостью:

$$\Delta p_1^{II} = 10 k_c \mu c_{вх} \tau (q/3600)^2, \quad (5)$$

где k_c —параметр сопротивления слоя пыли, зависящий от медианного размера частиц, коэффициента сопротивления ξ_n слоя пыли и насыпной плотности ρ_n слоя, τ - продолжительность фильтровального цикла, с.

Гидравлическое сопротивление Δp_2 корпуса фильтра определяется суммой потерь давления, возникающих при движении потока воздуха в газоходах, местных сопротивлениях, дроссельных заслонках и т. п. Для расчета гидравлического сопротивления используют зависимость:

$$\Delta p_2 = \xi_k V_{вх}^2 \rho_g, \quad (6)$$

где ξ_k — коэффициент гидравлического сопротивления, $V_{вх}$ — скорость движения газового потока, м/с.

Мощность электродвигателя вентилятора, необходимого для транспортирования газов через пылеулавливающий аппарат, определяют по формуле:

$$N = k_{\text{зап}} \Delta p Q / \eta_1 \eta_2 * 1000, \quad (7)$$

при этом коэффициент запаса мощности $k_{\text{зап}}$ принимается равным 1,1—1,15; КПД передачи мощности от электродвигателя к вентилятору η_1 для клиноременной передачи 0,92—0,95; КПД вентилятора $\eta_2 = 0,65—0,8$.

Исходными данными для расчета являются:

- объем газа Q , поступающего на очистку, $\text{м}^3/\text{ч}$;
- допустимая удельная газовая нагрузка (скорость фильтрации), определяемая из условия достижения максимальной эффективности очистки газа и величины допустимого гидравлического сопротивления на фильтровальном элементе, $\text{м}^3/(\text{м}^2 * \text{мин})$;
- входная концентрация пыли, $\text{мг}/\text{м}^3$;
- дисперсность пыли, характеризуемая значением d_{50} , $\mu\text{м}$, и среднеквадратичным отклонением σ ;
- требуемая эффективность очистки газового потока от пыли.

Исходные данные для расчета приведены в табл. 4

Таблица 4

Исходные данные										
Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Параметры										
$Q, *10^3 \text{ м}^3/\text{ч}$	5	2	3	4	7	5	6	2	4	6
$q_{\text{п}}, \text{ м}^3/\text{м}^2\text{мин}$	2	2	4	3	3	4	2	3	3	5
$c_{\text{вх}}, \text{ г}/\text{м}^3$	34	60	25	23	26	35	27	35	25	36
$d_{50}, \mu\text{м}$	42	54	43	36	42	22	31	15	27	12
$t, ^\circ\text{C}$	30	50	60	70	20	50	30	60	40	50
$\mu, \text{ Па с } *10^{-6}$	21	21	21	21	22	21	22	22	22	21
$k_{\text{п}}, *10^9 \text{ м}^{-1}$	2	1,3	1,7	1,8	1,2	1,9	1,4	1,2	1,3	2,1
$k_{\text{с}}, *10^9 \text{ м}/\text{кг}$	2	4	3	6	2,5	5,5	4	6,5	7	5,5
$\tau, \text{ с}$	50	60	80	120	100	70	40	30	90	20
$\xi_{\text{к}},$	2,5	1,6	1,8	1,4	1,9	2,2	1,6	1,9	2,2	2,4
$V_{\text{вх}}, \text{ м}/\text{с}$	18	20	17	13	11	19	16	10	15	18
$\rho_{\text{г}}, \text{ кг}/\text{м}^3$	2,0	1,4	1,6	1,9	2,1	1,8	1,7	1,5	2,2	2,0

Поверхность F (м^2) фильтрующего элемента определяется по формуле:

$$F=Q/(60q). \quad (8)$$

Рекомендуемые значения удельной газовой нагрузки q зависят от свойств улавливаемой пыли, структуры фильтровального материала, требуемой эффективности очистки и др. С достаточной для практических расчетов точностью удельную газовую нагрузку для рукавных фильтров определяют из выражения:

$$q = q_n c_1 c_2 c_3 c_4 c_5, \quad (9)$$

где q_n — нормативная газовая нагрузка, зависящая от вида пыли.

Коэффициент c_1 , учитывающий особенности регенерации фильтровальных элементов, для регенерации фильтроэлементов из ткани импульсной продувкой сжатым газом равен 1; для рукавов из нетканых материалов 1,05—1,1.

Коэффициент c_2 , учитывающий влияние входной концентрации пыли на удельную газовую нагрузку, определяют по следующим данным:

$c_{вх}, \text{ г/м}^3$	2	5	10	20	40	60	80	100
c_2	1,15	1,04	1,00	0,96	0,90	0,87	0,85	0,83

Коэффициент c_3 , учитывающий влияние дисперсного состава пыли, определяют по данным, приведенным ниже:

$d_{50}, \text{ мкм}$	< 3	3-10	10-50	50-100	> 100
c_3	0,7-0,9	0,9	1,0	1,1	1,2-1,4

Коэффициент c_4 , учитывающий влияние температуры очищаемого газа, находят по данным, приведенным ниже:

$t, \text{ }^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100	120	140	160
c_4	1	0,9	0,84	0,78	0,73	0,72	0,72	0,7

Коэффициент c_5 , учитывающий требования по эффективности очистки газа от пыли, при концентрации пыли в очищенном газе 30 мг/м^3 равен 1, при концентрациях пыли, не превышающих 10 мг/м^3 , равен 0,95.

Гидравлическое сопротивление фильтров Δp складывается из сопротивления фильтровальной перегородки Δp_1 и сопротивления корпуса фильтра Δp_2 . Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки зависит от структурного строения перегородки, ее толщины, режима фильтрования, от массы и свойств осевшей на перегородке пыли и характеризуется двумя составляющими: постоянной Δp^I и переменной Δp^{II} . Таким образом:

$$\Delta p = \Delta p_1^I + \Delta p_1^{II} + \Delta p_2. \quad (10)$$

Постоянную составляющую гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки определяют по формуле:

$$\Delta p_1^I = 10 k_n \mu (q/3600)^n, \quad (11)$$

где μ —вязкость воздуха, Па*с; n —показатель степени, зависящий от режима фильтрования, для ламинарного режима $n=1$; k_n —коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки после регенерации, m^{-1} .

Переменная составляющая гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки определяется толщиной и структурой пылевого слоя, образующегося на перегородке, а также изменением порового пространства перегородки за счет забивания пор частицами пыли. Этот процесс зависит от времени фильтрования и описывается зависимостью:

$$\Delta p_1^{II} = 10 k_c \mu c_{вх} \tau (q/3600)^2, \quad (12)$$

где k_c —параметр сопротивления слоя пыли, зависящий от медианного размера частиц, коэффициента сопротивления ξ_n слоя пыли и насыпной плотности ρ_n слоя, τ - продолжительность фильтровального цикла, с.

Гидравлическое сопротивление Δp_2 корпуса фильтра определяется суммой потерь давления, возникающих при движении потока воздуха в газоходах, местных сопротивлениях, дроссельных заслонках и т. п. Для расчета гидравлического сопротивления используют зависимость:

$$\Delta p_2 = \xi_k V_{вх}^2 \rho_g / 2, \quad (13)$$

где ξ_k – коэффициент гидравлического сопротивления, $V_{вх}$ – скорость движения газового потока, м/с.

Мощность электродвигателя вентилятора, необходимого для транспортирования газов через пылеулавливающий аппарат, определяют по формуле:

$$N = k_{зап} \Delta p Q / \eta_1 \eta_2 * 1000, \quad (14)$$

при этом коэффициент запаса мощности $k_{зап}$ принимается равным 1,1—1,15; кпд передачи мощности от электродвигателя к вентилятору η_1 для клиноремной передачи 0,92—0,95; кпд вентилятора $\eta_2 = 0,65—0,8$.

Задача 3

Расчет циклонов

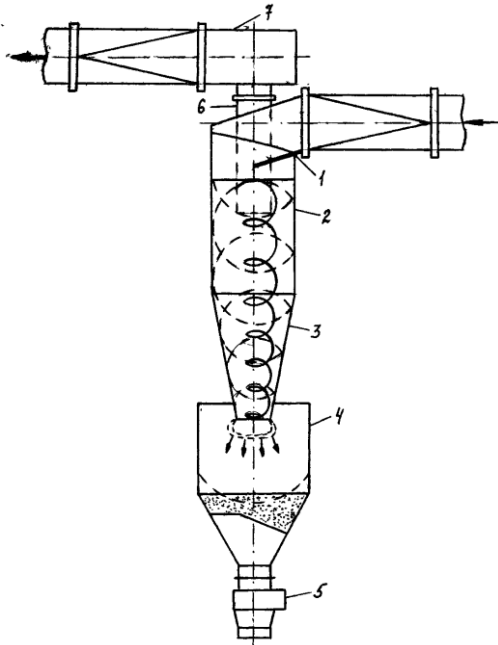


Рис. 3. Схема циклона

Для расчетов циклона НИИОГАЗа (рис. 3.) необходимы следующие исходные данные:

- объем очищаемого газа Q , м³/с;
- плотность газа при рабочих условиях ρ_g , кг/м³;
- вязкость газа при рабочей температуре μ , Па·с;
- дисперсный состав пыли d_{50} и $lg \sigma_{\text{ч}}$;
- входная концентрация пыли $c_{\text{вх}}$ г/м³;
- плотность частиц пыли $\rho_{\text{ч}}$, кг/м³;
- требуемая эффективность очистки газа η .

Исходные данные для расчета приведены в таблице 5.

Таблица 5

Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Параметры										
Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СД К-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м	ЦН-15	ЦН-11	СД К-ЦН-33	ЦН-24
Q , м ³ /с	0,5	1,0	2,4	3,1	1,8	0,7	1,2	2,5	1,9	2,0
ρ_g , кг/м ³	2,0	1,4	1,6	1,9	2,1	1,8	1,7	1,5	2,2	2,0
$\rho_{\text{ч}}$, кг/м ³	3500	2800	2200	3000	2500	1800	2300	2800	3100	2100
μ , *10 ⁻⁶ Па с	18	20	19	22	24	21	20	18	21	23
d_{50} , мкм	25	30	44	14	28	42	36	22	39	21
$c_{\text{вх}}$, г/м ³	66	38	50	27	80	66	40	75	52	86
$lg \sigma_{\text{ч}}$	0,31	0,35	0,32	0,34	0,30	0,32	0,33	0,34	0,31	0,35
η , %	85	93	88	91	79	86	83	90	84	92
Вид выхлопа	В атмосферу						В гидравлическую сеть			

Расчет циклонов ведут методом последовательных приближений в следующем порядке.

1. Задавшись типом циклона, определяют оптимальную скорость газа $w_{оп}$ в сечении циклона диаметром D по следующим данным:

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34м
$w_{оп}$, м/с	4,5	3,5	3,5	2,0	1,7	2,0

2. Вычисляют диаметр циклона D (м) по формуле:

$$D = \sqrt{4Q / \pi w_{оп}} \quad (15)$$

Полученное значение D округляют до ближайшего типового значения внутреннего диаметра циклона. Типовой ряд значений внутреннего диаметра циклона (ГОСТ 9617-67), мм: 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000.

Если расчетный диаметр циклона превышает его максимально допустимое значение, то необходимо применять два или более параллельно установленных циклона.

3. По выбранному диаметру циклона находят действительную скорость движения газа в циклоне, м/с:

$$w = 4Q / (\pi n D^2), \quad (16)$$

где n — число циклонов. Действительная скорость в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15%.

4. Определяют коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона:

$$\xi = k_1 k_2 \xi_{500}, \quad (17)$$

где k_1 — поправочный коэффициент на диаметр циклона (табл. 6); k_2 — поправочный коэффициент на запыленность газа (табл. 7); ξ_{500} - коэффициент гидравлического сопротивления одиночного циклона диаметром 500 мм. Значение выбирается из таблицы 8:

Таблица 6

Исходные данные

Тип циклона	Значение k_1 для D , мм				
	150	200	300	450	500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1,0
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,90	0,93	1,0	1,0
СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34, СК-ЦН-34м	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0

Таблица 7

Исходные данные

Тип циклона	Значение k_2 при $c_{вх}$, г/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СДК-ЦН-33	1	0,81	0,785	0,78	0,77	0,76	0,745
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90
СК-ЦН-34М	1	0,99	0,97	0,95	-	-	-

Таблица 8

Исходные данные

Тип циклона	Значения ξ_{500}		Тип циклона	Значения ξ_{500}	
	при выхлопе в атмосферу	при выхлопе в гидравлическую сеть		при выхлопе в атмосферу	при выхлопе в гидравлическую сеть
ЦН-11	245	250	СДК-ЦН-33	520	600
ЦН-15	155	163	СК-ЦН-34	1050	1150
ЦН-24	75	80	СК-ЦН-34М	-	2000

5. Гидравлическое сопротивление циклона вычисляют по формуле:

$$\Delta p = \xi w^2 \rho_r / 2. \quad (18)$$

6. Эффективность очистки газа в циклоне:

$$\eta = 0,5[1 + \Phi(x)], \quad (19)$$

где $\Phi(x)$ —табличная функция от параметра x , равного:

$$x = \lg(d_{50} / d_{50}^{\tau}) / \sqrt{Lg^2 \sigma_{\eta} + Lg^2 \sigma_{\chi}}. \quad (20)$$

Значения d_{50}^{τ} и $\lg \sigma_{\chi}$ для каждого типа циклона приведены в таблице 9.

Таблица 9

Исходные данные

Тип циклона	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34	СК-ЦН-34М
d_{50}^{τ} , мкм	8,5	4,5	3,65	2,31	1,95	1,3
$\lg \sigma_{\eta}$	0,308	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340

Значения d_{50}^{τ} определены по условиям работы типового циклона: $D_T = 0,6$ м; $\rho_{чТ} = 1930$ кг/м³; $\mu_T = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с; $w_T = 3,5$ м/с. Для учета влияния отклонений условий работы от типовых на величину d_{50} используют соотношение:

$$d_{50} = d_{50}^{\tau} \sqrt{(D/D_T)(\rho_{чТ} \cdot \rho_{ч})(\mu/\mu_T)(W_T/W)}. \quad (21)$$

Определив значение x , находим параметр Φ по данным таблицы 10.

Таблица 10

Исходные данные

x	-2,70	-2,0	-1,8	-1,6	-1,4	-1,2
$\Phi(x)$	-0,0035	0,0228	0,0359	0,0548	0,0808	0,1151
x	-1,0	-0,8	-0,6	-0,4	-0,2	-
$\Phi(x)$	0,1587	0,2119	0,2743	0,3446	0,4207	-
x	0,0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
$\Phi(x)$	0,5000	0,5793	0,6554	0,7257	0,7881	0,8413
x	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,7
$\Phi(x)$	0,8849	0,9192	0,9452	0,9641	0,9772	0,9965

Задача 4

Расчет пенных аппаратов

Рассчитать пенный аппарат (рис.4.) для очистки технологических газов, удаляемых из сушильных барабанов и содержащих фосфоритовую пыль.

Исходные данные:

- расход газа Q , м³/ч;
- температура газа t_r °С;
- температура орошающей воды t_b °С;
- начальная концентрация пыли C_r

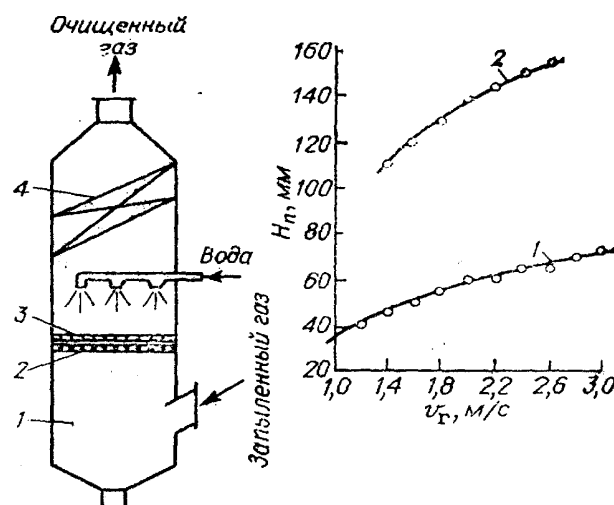


Рис. 4. Схема пенного аппарата
1 — камера запыленного воздуха;
2 — решетка; 3 — стабилизатор;
4 — каплеуловитель.

г/м³;

- дисперсный состав пыли δ , мкм и ΔR , %.

Исходные данные для расчета приведены в таблицах 11,12.

Таблица 11

Исходные данные										
Вариант \ Параметры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
v_r , м/с	3,0	3,0	2,8	2,4	2,0	2,8	2,2	2,9	2,5	2,7
Q , м ³ /с	5	10	12	11	13	7	12	15	9	12
L_0 , м ³ /(м ² час)	5	10	15	5	10	15	5	10	8	15
C_r , г/м ³	8	4	6	2	5	7	9	3	10	7
ξ_{sp}	1,1	0,5	1,2	0,6	0,8	1,0	0,4	0,8	0,6	1,5

Затем определяют расчетное значение эффективности очистки газа циклоном. Если расчетное значение η окажется меньше необходимого по условиям допустимого выброса пыли, то нужно выбрать другой тип циклона с большим значением коэффициента гидравлического сопротивления.

Таблица 12

Исходные данные						
Размер частиц, мкм \ % по массе ΔR для варианта	<5	5-10	10-15	15-20	20-30	>30
0	4	6	10	24	28	28
1	5	9	18	28	30	10
2	7	8	12	26	22	15
3	6	9	24	28	27	6
4	8	12	18	29	21	12
5	5	9	18	28	30	10
6	8	12	18	29	21	12
7	7	8	12	26	22	15
8	4	6	10	24	28	28
9	6	9	24	28	27	6

1. Скорость газа в сечении аппарата v_r должна обеспечивать устойчивый слой пены. Высота слоя пены в пенных аппаратах со стабилизатором слоя (кривая 2, рис. 4) значительно выше, чем на провальных решетках без стабилизатора (кривая 1).

2. Сечение корпуса аппарата F , м^2 :

$$F = Q / v_r \quad (22)$$

3. Диаметр корпуса аппарата, м :

$$D = \sqrt{4F / \pi} \quad (23)$$

4. Расход жидкости $Q_{\text{ж}}$ принимается с учетом оптимальной работы аппарата при плотности орошения L_0 , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ час})$:

$$Q_{\text{ж}} = L_0 F \quad (24)$$

5. Живое сечение дырчатой решетки S_0 вычисляется по эмпирической формуле при высоте пенного слоя H_n (определяется по рис. 4.), плотности жидкости $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$ и диаметре отверстий решетки $d_0 = 7 \text{ мм}$, м^2 :

$$S_0 = 1,37 (v_r^{0,458} L_0^{0,152}) / (H_n^{0,61} d_0^{0,085} \rho_{\text{ж}}^{0,61}) \quad (25)$$

6. В случае ромбической разбивки отверстий шаг между ними будет равен, м :

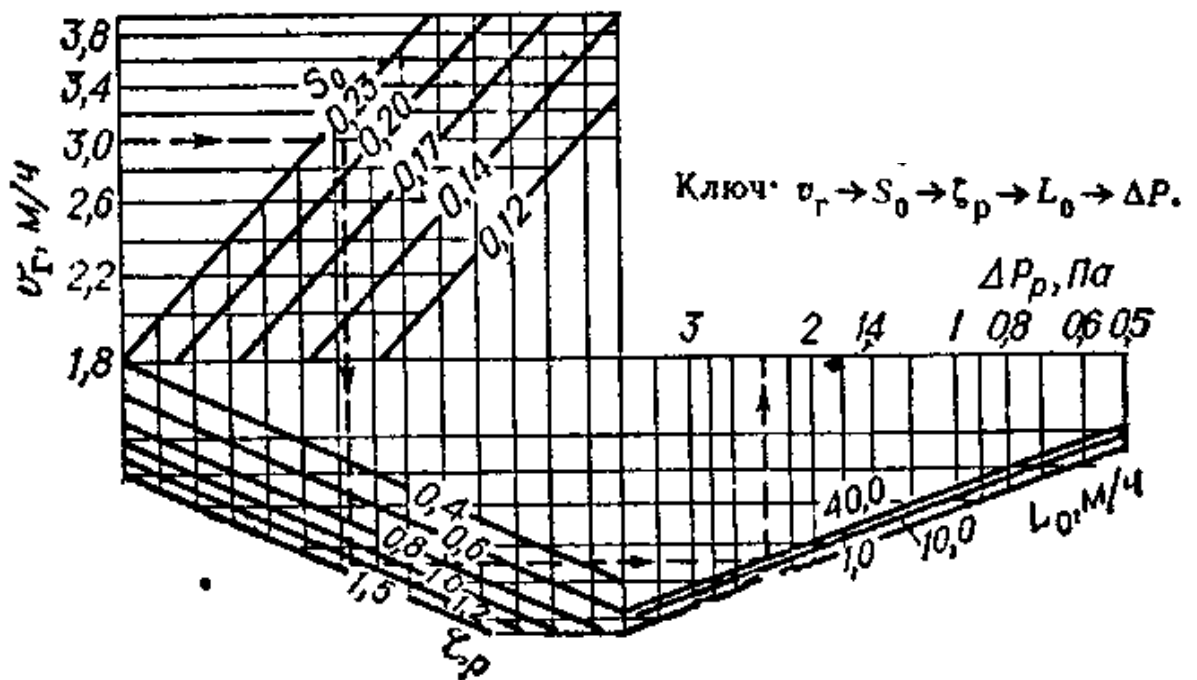


Рис. 5. Номограмма для определения гидравлического сопротивления дырчатых и трубчатых решеток пенных аппаратов

$$t = d_0 \sqrt{0,91 / S_0} \quad (26)$$

7. Полное гидравлическое сопротивление аппарата, Па:

$$\Delta P = \Delta P_p + \Delta P_{\Pi} + \Delta P_{\sigma} + \Delta P_a,$$

здесь ΔP_p — потеря давления на сухой решетке (находится по номограмме на рис. 5), Па;

ΔP_{Π} — гидравлическое сопротивление слоя пены :

$$\Delta P_{\Pi} = 0,447 H_{\Pi} \rho_{жг} / \sqrt{v_r}. \quad (27)$$

ΔP_{σ} — потеря давления на преодоление поверхностного натяжения для дырчатых решеток при $\sigma = 6,3 \cdot 10^{-2}$ Н/м для воды при t_b 25 °С:

$$\Delta P_{\sigma} = 4\sigma / d_o. \quad (28)$$

ΔP_a — гидравлическое сопротивление корпуса аппарата с каплеуловителем при $\xi_a = 28$ и плотности газа $\rho_r = 1,2$ кг/м³:

$$\Delta P_a = \xi_a v_r^2 \rho_r / 2. \quad (29)$$

7. Фракционная степень очистки для плохо смачиваемых пылей определяется по формуле:

$$\eta_{\phi i} = 100 [1 - 87,1(1,37 - \delta_{Ti}^{0,1}) / H_n^{0,9} v_r^{0,25}], \quad (30)$$

где δ_{Ti} — средний размер частиц i фракции:

$$\delta_{T1} = (\delta_{T1} + \delta_{T2}) / 2, \quad \delta_{T2} = (\delta_{T2} + \delta_{T3}) / 2 \text{ и т.д.} \quad (31)$$

В результате вычислений получены следующие фракционные степени очистки:

δ_T , мкм	0—5	5—10	10—15	15—20	20—30	30 и т.д.
η_{ϕ} , %	$\eta_{\phi 1}$	$\eta_{\phi 2}$	$\eta_{\phi 3}$	$\eta_{\phi 4}$	$\eta_{\phi 5}$	$\eta_{\phi 6}$ и т.д.

Общая степень очистки:

$$\eta = (\eta_{\phi 1} \Delta R_1 + \eta_{\phi 2} \Delta R_2 + \dots + \eta_{\phi i} \Delta R_i) / 100. \quad (32)$$

8. Остаточная концентрация пыли в газе на выходе из аппарата, г/м²:

$$C_{\text{вых}} = C_r (100 - \eta) / 100. \quad (33)$$

Задача 5

Расчет скрубберов Вентури

Исходные данные для расчета приведены в таблицах 13, 14.

Таблица 13

Вариант / Параметры	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
$\zeta_{\text{сyx}}$	0,12	0,14	0,13	0,15	0,12	0,12	0,14	0,13	0,15	0,12
w_{Γ} , м/с	80	50	60	90	70	50	100	90	70	60
ρ_{Γ} , кг/м ³	2,0									
$\rho_{\text{ж}}$, кг/м ³	1000									
m , л/м ³	1,2	0,6	0,8	0,7	0,9	1,1	1,0	0,8	0,9	1,2
A	0,63									
B	0,3									
$\rho_{\text{ТВ}}$, кг/м ³	2100	2300	2800	2600	2500	2900	2800	2700	2500	2200
$d_{\text{к}}$, *10 ⁻⁶ , м	100	200	250	150	180	220	120	160	180	230
μ , Па*с	1,83*10 ⁻⁹									
$d_{\text{чi}}$, *10 ⁻⁶ , м	5	3	7	6	2	9	7	8	6	4
$V_{\Gamma \text{ вх}}$, *10 ³ м ³ /ч	80	200	100	140	160	180	100	200	220	180
$V_{\Gamma \text{ вых}}$, *10 ³ м ³ /ч	80	200	100	140	160	180	100	200	220	180
$w_{\text{вх}}$, м/с	20	16	16	14	12	16	20	18	17	15
α_1 , °	20									
α_2 , °	7									
$w_{\text{вых}}$, м/с	20	16	16	14	12	16	20	18	17	15
$w_{\text{ц}}$, м/с	20	16	16	14	12	16	20	18	17	15
$w_{\text{цф}}$, м/с	2	4	3	4	2	3	4	3	2	4

Таблица 14

Размер частиц, мкм / % по массе для ва- рианта	<0,5	0,5-1	1-2	2-4	4-8	>8
0	4	6	10	24	28	28
1	5	9	18	28	30	10
2	7	8	12	26	22	15
3	6	9	24	28	27	6

Таблица 14 (продолжение)

Размер частиц, мкм % по массе для ва- рианта	<0,5	0,5-1	1-2	2-4	4-8	>8
4	8	12	18	29	21	12
5	5	9	18	28	30	10
6	8	12	18	29	21	12
7	7	8	12	26	22	15
8	4	6	10	24	28	28
9	6	9	24	28	27	6

Гидравлическое сопротивление трубы-распылителя, Па, при подаче в нее орошающей жидкости удобно рассматривать как сумму слагаемых:

$$\Delta p = \Delta p_{\Gamma} + \Delta p_{\text{ж}}, \quad (34)$$

где Δp — гидравлическое сопротивление трубы-распылителя, Па;

Δp_{Γ} — гидравлическое сопротивление трубы-распылителя, обусловленное движением газов (без подачи орошения), Па; $\Delta p_{\text{ж}}$ — гидравлическое сопротивление трубы-распылителя, обусловленное вводом орошающей жидкости, Па.

Гидравлическое сопротивление сухой трубы-распылителя, Па, определяется по формуле:

$$\Delta p_{\Gamma} = \zeta_{\text{сух}} w_{\Gamma}^2 \rho_{\Gamma} / 2, \quad (35)$$

где $\zeta_{\text{сух}}$ — коэффициент гидравлического сопротивления сухой трубы-распылителя; w_{Γ} — скорость газов в горловине при условиях по температуре и давлению на выходе из трубы-распылителя, м/с; ρ_{Γ} — плотность газов при тех же условиях, кг/м³.

Гидравлическое сопротивление труб-распылителей, Па, обусловленное вводом орошающей жидкости, рассчитывается по формуле:

$$\Delta p_{\text{ж}} = \zeta_{\text{ж}} \frac{\omega_{\Gamma}^2 \cdot \rho_{\text{ж}}}{2} m, \quad (36)$$

где $\zeta_{\text{ж}}$ — коэффициент гидравлического сопротивления, учитывающий ввод в трубу-распылитель орошающей жидкости; m — удельный расход орошающей жидкости, м³/м³ газов; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность орошающей жидкости, кг/м³.

Коэффициент $\zeta_{\text{ж}}$ определяется из выражения:

$$\zeta_{ж} = A \zeta_{сух} m^{1+B}, \quad (37)$$

где A, B — эмпирические коэффициенты.

Расчет в общем плане заключается в оценке расхода энергии, при котором может быть достигнуто допустимое содержание пыли в очищенном газе.

Зная допустимое содержание пыли на выходе из пылеуловителя, а также дисперсный состав пыли, можно предварительно рассчитать фракционную эффективность пылеулавливания по среднему диаметру капель распыливаемой жидкости и диаметру частиц I - фракции. Для частиц диаметром $>0,1$ мкм используют эмпирическое уравнение:

$$\eta_{\phi i} = 1 - \exp \left(-1,56m \sqrt{\frac{\rho_B \cdot d_{ci} \cdot \omega_{\Gamma}}{18\mu \cdot \bar{d}_K}} \right), \quad (38)$$

где $\rho_{тв}$ — плотность пыли, кг/м³; d_k — средний диаметр капель, м; d_{ci} — диаметр частиц i -й фракции, м; μ — динамический коэффициент вязкости газа. Па·с; w_{Γ} — скорость газа в горловине трубы Вентури, м/с; m — удельное орошение газа, л/м³.

Общая эффективность пылеулавливания определяется по формуле:

$$\eta = \sum \eta_{\phi i} \cdot \Phi_i, \quad (39)$$

где Φ_i — массовая доля I фракции.

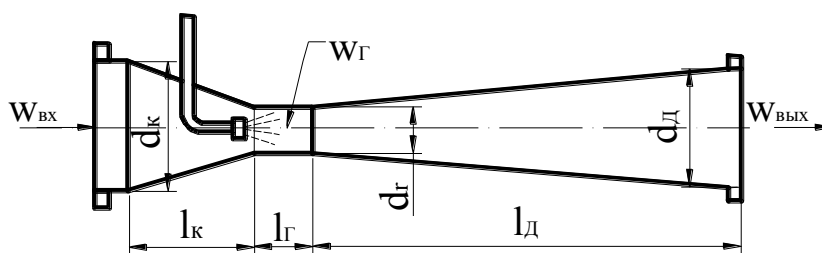


Рис. 6. Скруббер Вентури

Диаметр горловины трубы Вентури рассчитывают по формуле:

$$d_{\Gamma} = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{\Gamma.вых}}{\omega_{\Gamma}}}, \quad (40)$$

где $V_{\Gamma \text{ вых}}$ — производительность пылеуловителя по влажному газу при температуре и давлении на выходе из диффузора, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Длина горловины $l_{\Gamma} = 0,15d_{\Gamma}$. При увеличении угла раскрытия конфузора от 25 до 60° длину горловины целесообразно увеличить вдвое.

В случае пылеулавливания частиц с абразивными свойствами при использовании труб Вентури для абсорбции примесей или для охлаждения и увлажнения газа, а также в условиях работы с низкими значениями m длину горловины следует рассчитывать как $l_{\Gamma} \leq 3d_{\Gamma}$. Диаметр входного отверстия трубы Вентури:

$$d_K = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{\Gamma. \text{вх}}}{\omega_{\text{вх}}}}, \quad (41)$$

где $V_{\Gamma \text{ вх}}$ — производительность установки по газу при температуре и давлении на входе в трубу; $w_{\text{вх}}$ — скорость газа во входном патрубке.

Длину конфузора l_K определяют из формулы:

$$l_K = \frac{d_K \cdot d_{\Gamma}}{2 \text{tg}(\alpha_1/2)}, \quad (42)$$

где α_1 — угол раскрытия конфузора.

Диаметр выходного отверстия диффузора определяют по формуле:

$$d_D = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{\Gamma. \text{вых}}}{\omega_{\text{вых}}}}, \quad (43)$$

где $w_{\text{вых}}$ — скорость газа на выходе из трубы Вентури.

Длина диффузора l_D определяется по зависимости:

$$l_D = \frac{d_D \cdot d_{\Gamma}}{2 \text{tg}(\alpha_2/2)}, \quad (44)$$

где α_2 — угол раскрытия диффузора.

В качестве каплеуловителей после труб Вентури используют самые различные аппараты: циклоны, разделительные емкости, угловые (коленные) сепараторы, центробежные ловушки и др.

Наиболее часто используют для этих целей циклоны, диаметр которых можно рассчитать по формуле:

$$D_{\text{Ц}} = \sqrt{\frac{V_{\Gamma. \text{вых}}}{3600 \omega_{\text{Ц}} \cdot K}}, \quad (45)$$

где $V_{Г\text{ вых}}$ — объем газа на входе в циклон, м³/ч; $w_{ц}$ — скорость газа во входном патрубке циклона (принимается равной $w_{\text{вых}}$);

K — коэффициент, принимаемый равным 0,2.

Все остальные размеры циклона берутся из соответствующих нормалей в долях $D_{ц}$.

Диаметр прямогоочного циклона определяется по формуле:

$$D_{ц\text{ пр}} = 1,88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{V_{Г.\text{вых}}}{\omega_{ц.\phi}}}, \quad (46)$$

где $w_{ц.\phi}$ — скорость (фиктивная) газа в расчете на всю площадь сечения цилиндрической части циклона.

Задача 6

Расчет туманоуловителей

Наибольший эффект отделения капель тумана от газа достигается на двухступенчатых туманоуловителях. Первая ступень, состоящая из тонких волокон, предназначена для улавливания мелкодисперсных жидких частиц. Вторая ступень - сетчатый брызгоуловитель - для улавливания укрупненных жидких частиц.

Расчет туманоуловителей из волокнистых фильтровальных материалов сводится к определению площади фильтрации по известному расходу загрязненного воздуха и рекомендуемой для выбранного материала скорости фильтрации.

Исходные данные для расчета приведены в таблицах 15, 16.

Таблица 15

Исходные данные

Вариант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Параметры										
Q , м ³ /с	1,1	1,8	1,3	1,5	2,0	1,2	1,4	1,9	1,2	1,7
$w_{ф1}$, м/с	3,2	2,3	5,4	4,5	2,4	3,1	5,2	3,3	4,2	2,6
$\rho_{в}$, кг/м ³	2,2									
$\rho_{ж}$, кг/м ³	900									
h , м	0,21	0,08	0,17	0,15	0,09	0,12	0,19	0,14	0,13	0,17
N , шт	10	6	8	7	6	7	9	7	6	8
Π	0,95	0,88	0,93	0,85	0,87	0,89	0,92	0,95	0,86	0,93
$d_{пр}$, *10 ⁻⁶ м	200	160	100	170	140	180	130	190	140	150
k_k	0,99	0,96	0,93	0,96	0,92	0,99	0,93	0,98	0,97	0,95
Δp , кПа	1,0	0,2	0,8	0,3	0,7	0,4	0,6	0,9	0,5	0,7

Исходные данные

Размер капель, мкм фракцион- ная доля i-й фракции ϕ_i	<0,5	0,5-1	1-2	2-4	4-8	>8
0	4	6	10	24	28	28
1	5	9	18	28	30	10
2	7	8	12	26	22	15
3	6	9	24	28	27	6
4	8	12	18	29	21	12
5	5	9	18	28	30	10
6	8	12	18	29	21	12
7	7	8	12	26	22	15
8	4	6	10	24	28	28
9	6	9	24	28	27	6

Площадь фильтрации первой ступени определяют по формуле:

$$F = Q/w_{\phi 1}, \quad (47)$$

где $w_{\phi 1}$ — скорость фильтрации.

При расчете сеточных брызгоуловителей оптимальную скорость фильтрации определяют по формуле:

$$\omega_{\phi} = 0,107 \sqrt{\frac{\rho_{ж} - \rho_{в}}{\rho_{в}}}, \quad (48)$$

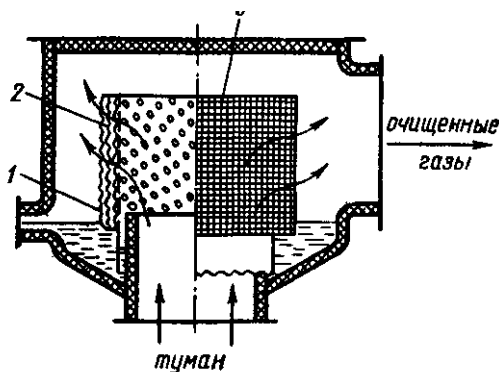


Рис.7. Брызгоуловитель

где $\rho_{ж}$, $\rho_{в}$ — соответственно плотность жидкости и воздуха.

Эффективность очистки от капель в сеточном пакете η_i рассчитывают по формуле:

$$\eta = 1 - \left(1 - 0,2 \frac{h \cdot S_{уд}}{N} \eta' \right)^N, \quad (49)$$

где h — толщина пакета, м; $S_{уд}$ — удельная поверхность проволоки в пакете сеток, $\text{м}^2/\text{м}^3$; N — число сеток в пакете, шт.;

η' — эффективность очистки воздуха от капель определенного размера

(фракционная очистка) одной сеткой.

Удельную поверхность проволоки в пакете сетки вычисляют по формуле:

$$S_{вд} = \frac{4(1 - \Pi)}{d_{np}}, \quad (50)$$

где Π — пористость пакета сеток, d_{np} — диаметр проволоки сетки.

Фракционная очистка η' одной сеткой зависит от режима фильтрования, свойств фильтруемой среды, размера фракции, характеристик сетки. Ее значение для условий фильтрования при атмосферном давлении удобно определять графически (рис. 8). Для этого необходимо предварительно вычислить величину критерия Стокса по формуле:

$$St = \frac{\rho_{ж} \cdot \omega_{\phi} \cdot d_{ч}^2 \cdot \kappa_{к}}{18\mu \cdot d_{np}}, \quad (50)$$

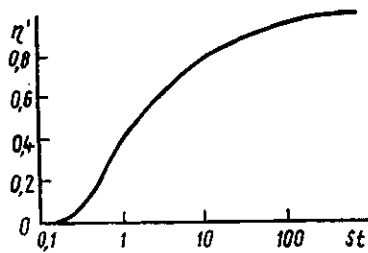


Рис.8.Эффективность очистки

где $d_{ч}$ — диаметр, капель, м. Суммарную эффективность очистки определяют по формуле:

$$\eta = \sum_i^n \phi_i \eta_i, \quad (51)$$

где ϕ_i — фракционная доля i -й фракции; η_i — эффективность очистки тумана от капель диаметром $d_{чi}$.

Мощность двигателя вентилятора, необходимого для транспортирования тумана через аппарат очистки, вычисляют по формуле:

$$N = k_{зап} \Delta p Q / \eta_1 \eta_2, \quad (52)$$

при этом коэффициент запаса мощности $k_{зап}$ принимается равным 1,1—1,15; кпд передачи мощности от электродвигателя к вентилятору η_1 для клиноремной передачи 0,92—0,95; кпд вентилятора $\eta_2 = 0,65—0,8$.

Задача 7

Пользуясь рекомендациями /1-28/, предложить и обосновать методы очистки, типы устройств или технологические схемы очистки выбросов для заданного производства (приложения 2).

В отчете:

1. Представить анализ возможных схем и методов очистки от данного вида загрязнений (одно- или многоступенчатые, сухие, мокрые, электрические, физико-химические и т.п.), предложить и обосновать варианты.
2. Для выбранного метода рассмотреть возможность использования различных типов аппаратов и схем очистки, исходя из их эффективности, производительности, физико-химических свойств пыли и т.п. Оценить достоинства и недостатки возможных вариантов.
3. Изобразить эскиз и описать работу выбранных устройств или схем.
4. Привести методику расчета их эффективности и конструктивных параметров.
5. Представить выводы по работе.

Список литературы

1. Акимова Т.А., Кузьмин А.П., Хаскин В.В. Экология. Природа-Человек-Техника: Учебник для вузов / Под общей ред. А.П.Кузьмина - М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2001.- 343 с.
2. Белов С.В. и др. Безопасность жизнедеятельности: Учебник для вузов/ Под общ. ред. С.В. Белова. - М.: Высш. шк. 1999.- 448с.
3. Безопасность жизнедеятельности: Учебное пособие/Под ред. О.Н. Русака. - СПб.: ЛТА, 1997. – 223 с.
4. Внутренние санитарно-технические устройства: В 2 ч./ Под ред. И.Г. Староверова Ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. – М.: Стройиздат, 1977. – 502 с.
5. Газоочистные аппараты сухого и мокрого типов: Каталог/ Ю.Н. Попов, С.С.Янковский, М.Г.Мазус и др.-М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1984.- 92с.
6. Гримитлин М.И., Тимофеева О.Н. и др. Вентиляция и отопление цехов машиностроительных заводов. - М.: Машиностроение, 1978.- 272 с.
7. Инженерная экология: Учебник/ Под ред. В.Т.Медведева.–М.: Гардарики, 2002.- 687 с.: ил.
8. Кострюков В.А. Сборник примеров расчета по отоплению и вентиляции. - М.: Госстройиздат, 1962.- 198с.
9. Куклев Ю.И. Физическая экология: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 2001.- 357 с.: ил.
10. Левашов С.П. Системы защиты воздушной среды: Учебное пособие.- Курган: Изд-во Курганского гос. ун-та, 2003.- 122 с.
11. Мазур И.И., Молдаванов О.И., Шишов В.Н. и др. Инженерная экология: Учебное пособие для студ. вузов. Общий курс: В 2 т. Т. 2. Справочное пособие/ Под. ред. И.И.Мазура. - М.: Высш. школа., 1996.- 655с.

12. Родионов А.И., Клушин В.Н., Торочешников Н.С. Техника защиты окружающей среды: Учебник для вузов.- М.: Химия, 1989.
13. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации циклонов НИИОГАЗ.- Ярославль: ВООГП. 1971 - 138с.
14. Справочник по пылезолоулавливанию / Под ред. А.А.Русакова.- М.: Энергия, 1975.
15. Страус В. Промышленная очистка газов / Пер. с англ.- М.: Химия, 1981.- 616 с.
16. С.В. Белов, Ф.А. Барбинов, А.Ф. Козьяков и др. Охрана окружающей среды: Учебник для вузов /Под ред.С.В.Белова. 2-е изд., испр. и доп.— М.: Высшая шк.,1991.—319 с.
17. Скрубберы Вентури. Выбор, расчет, применение. Обзорная информация ХМ-14.- М.: ЦИНТИхимнефтемаш, 1977. -58с.
18. Справочная книга по охране труда в машиностроении /Под ред. О.Н. Русака - Л.: Машиностроение, 1989.- 541с.
19. Средства защиты в машиностроении. Расчет и проектирование: Справочник / Под ред. С.В. Белова. – М.: Машиностроение, 1989. – 368с.
20. Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд. / Г.М.-А. Алиев.- М.: Металлургия, 1986.- 544 с.
21. Тищенко Н.Ф. Охрана атмосферного воздуха. Расчет содержания вредных веществ и их распределение в воздухе: Справ. изд.- М.: Химия, 1991.- 368с.
22. Торговников Б. М., Табачник В.Е., Ефанов Е.М. Проектирование промышленной вентиляции: Справочник.—Киев:Будівельник, 1983.—256 с.
23. ГОСТ 12.1.005 – 88. ССБТ. Общие санитарно-гигиенические требования к воздуху рабочей зоны.
24. ГОСТ 12.2.043—80. Оборудование пылеулавливающее. Классификация.
25. ГОСТ 25199 – 82. Оборудование пылеулавливающее. Термины и определения.
26. ГОСТ 12.1.007 – 76. ССБТ. Вредные вещества. Классификация и общие требования безопасности.
27. СанПиН 2.2.4.548 – 96. Гигиенические требования к микроклимату производственных помещений.
28. СНиП 2.04.05 – 91. Отопление, вентиляция и кондиционирование.
29. СНиП 31-03-2001. Производственные здания.

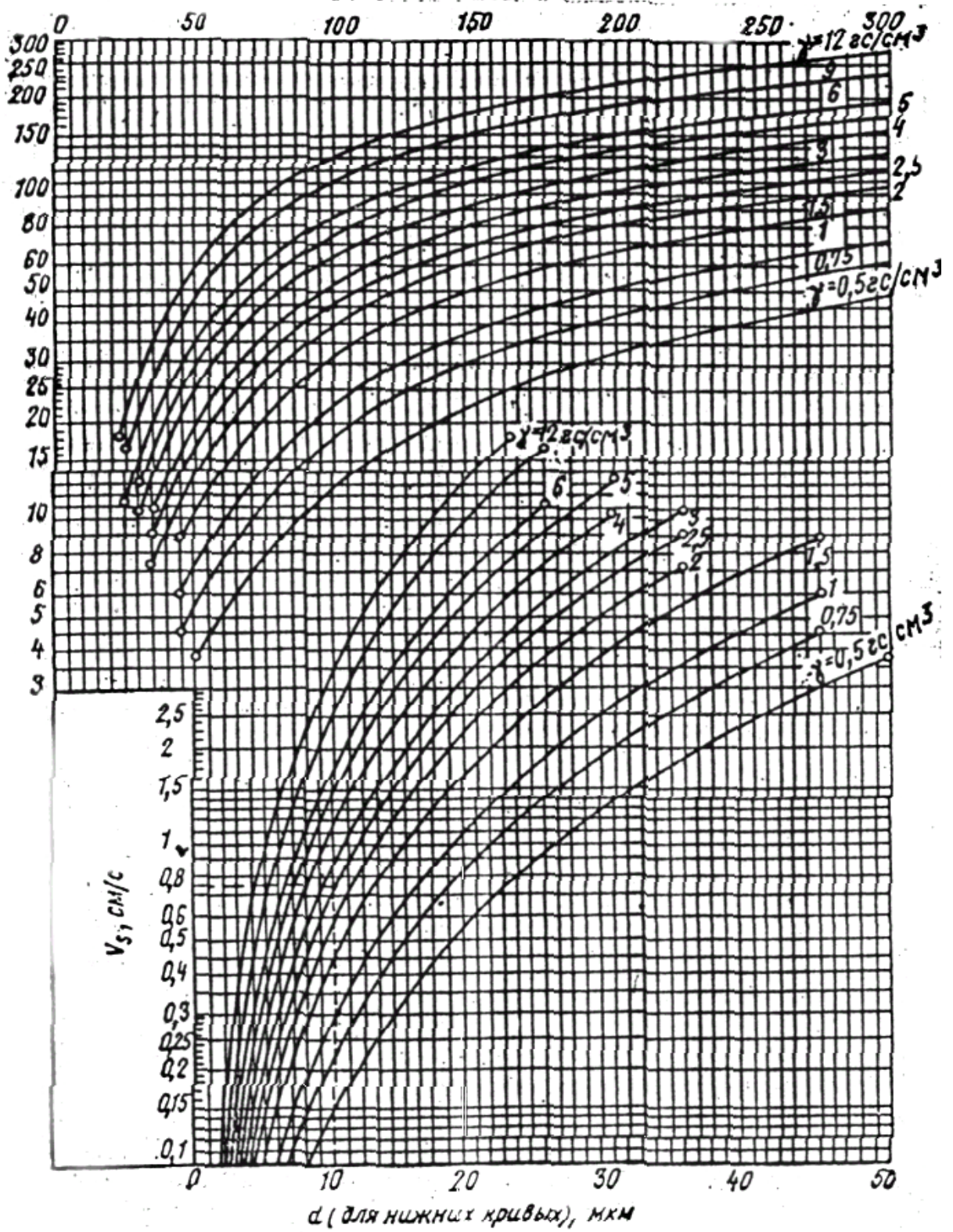


Рис.1. Скорость витания частиц

Обозначения величин

<p>Q_H^P – низшая теплота сгорания топлива, МДж/кг; A^P – зольность топлива, %; W^P – влажность топлива, %; S^P – общее содержание серы в топливе, % (характеристики топлива даны в перерасчете на рабочую массу); $S_{уд}$ – удельная поверхность частиц, см²/г; d – диаметр частиц пыли, мкм; g – содержание частиц диаметром более d, % (по массе); d_{50} – медианный диаметр, мкм; v – скорость витания частиц пыли в воздухе, см/с; σ – стандартное отклонение; γ_m – плотность материала частиц пыли, кг/м³; $\gamma_{н.у}$ – насыпная плотность в неуплотненном состоянии, кг/м³; γ_y – насыпная плотность при максимальном уплотнении, кг/м³; $\alpha_{ст}$ – статический угол естественного откоса (угол обрушения), град.;</p>	<p>α_d – динамический угол естественного откоса, град.; P – разрывная прочность пылевого слоя, Па; K_a – коэффициент абразивности (в перерасчете на сталь Ст.3), м²/кг; pH – водородный показатель (кислотность) раствора; п.п.п. – потери при прокаливании; t – температура газа перед системой пылеулавливания, °С; z – запыленность газового потока, г/м³; $t_p^{S_2}$ – температура точки росы при наличии диоксида серы, °С; $t_p^{S_3}$ – температура точки росы при наличии триоксида серы; t_p – температура точки росы (по воде), °С; f – влагосодержание газа, г/м³ сухого газа; η – эффективность пылеулавливающего аппарата; УЭС – удельное электрическое сопротивление пыли, Ом·м</p>
--	--

ПЫЛИ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

1. Пыль печи спекания бокситной шихты (производительность печи по спеку 6 т/ч; диаметр 2,5 м; длина 50 м) алюминиевого завода. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 10 мкм кристаллической формы со сглаженными гранями. Частицы мельче 5 мкм волокнистой и пластинчатой формы, светлых тонов ($d_{50}=8$ мкм; $\sigma = 4,7$; $S_{уд} = 17500$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в изобутиловом спирте):

d , мкм	1,0	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g , % (по массе)	90	78	68	57	43	32	20	12
v , см/с	0,007	0,045	0,11	0,21	0,72	1,83	4,5	10,3

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 2400$ кг/м³; $\gamma_{н.у} = 800$ кг/м³; $\gamma_y = 1080$ кг/м³;
 $\alpha_{ст} = 63^\circ$; $\alpha_d = 39^\circ$; $P = 151$ Па.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$6 \cdot 10^5$	$6,5 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^5$	$7 \cdot 10^6$	$2,1 \cdot 10^6$	$1,2 \cdot 10^6$
T , °С	20	50	100	150	200	250

Характеристика газа-носителя: $t=300^{\circ}\text{C}$, $z=700 \text{ г/м}^3$;

2. Пыль печи кальцинации алюминиевого завода. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Основная масса частиц имеет форму округленных зерен. Среди частиц мельче 5 мкм встречаются частицы пластинчатой формы; цвет пыли белый ($d_{50} = 9,6 \text{ мкм}$; $\sigma = 2,06$; $S_{\text{уд}} = 8560 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d , мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	95	88	73	48	14	2,5
v , см/с	0,06	0,15	0,38	0,96	2,46	6,0

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=3220 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{н-у}}=889 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=1263 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}} = 66^{\circ}$; $P=403 \text{ Па}$.

Характеристика газа-носителя: $t=200^{\circ}\text{C}$; $z=600 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.):

9,0 CO_2 ; 1,0 O_2 ; следы CO ; 90,0 N_2 .

3. Пыль печей получения кремния на алюминиевом заводе. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с оплавленными гранями. Среди частиц крупнее 1 мкм встречаются сферические и овальные; цвет пыли серый ($d_{50} = 0,65 \text{ мкм}$; $\sigma = 2,6$; $S_{\text{уд}} = 56000 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в воде в центробежном поле):

d , мкм	0,25	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0
g , % (по массе)	82	68	51	33	18	8,5	3,1
v , см/с	$45 \cdot 10^{-5}$	$12 \cdot 10^{-4}$	$28 \cdot 10^{-4}$	$72 \cdot 10^{-4}$	$18 \cdot 10^{-3}$	$45 \cdot 10^{-3}$	0,12

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=2400 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{н-у}}=180 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=320 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}} = 72^{\circ}$; $P=1230 \text{ Па}$.

Характеристика газа-носителя: $t=120^{\circ}\text{C}$; $z=1,2 \div 3,8 \text{ г/м}^3$.

4. Пыль, выделяющаяся при выплавке меди в конвертере (производительность по сырью 80 т/сут.) медеплавильного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Пыль мелкодисперсная, большинство частиц волокнистой и ветвистой формы, образующие лучистые агрегаты; цвет пыли белый ($d_{50} = 1,5 \text{ мкм}$; $\sigma = 2,3$;

$S_{\text{уд}} = 45000 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в центробежном поле, среда — ацетон):

d , мкм	0,4	0,63	1,0	1,6	2,5	4,0
g , % (по массе)	92	87	69	47	22	8,0
v , см/с	0,002	0,005	0,012	0,032	0,078	0,2

Механические свойства пыли: $\gamma_m=4200 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у.}=275 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=328 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 61^\circ$; $P=400 \text{ Па}$.

Характеристика газа-носителя: $t=275^\circ\text{C}$; $z=6,1 \text{ г/м}^3$, $t_p^s=156^\circ\text{C}$; $f=35 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.) $3,5 \text{ SO}_2$, $16,5 \text{ O}_2$; $1,1 \text{ CO}_2$.

5. Пыль обжига ртути содержащей руды Бело-Каменского карьера во вращающейся трубчатой печи (производительность по руде 3 т/ч) при пирометаллургическом способе получения ртути на ртутном заводе. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы размером до 10 мкм неправильной формы, более мелкие - иглообразной и чешуйчатой формы. Большинство частиц в проходящем свете светлых тонов, с включением частиц желтовато-зеленого и бурого цветов. В общей массе цвет пыли светло-серый ($d_{50}=23 \text{ мкм}$; $S_{уд}=4600 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40
g , % (по массе)	96.5	93	88	79	65	45.5	18
v , см/с	0.05	0.12	0.29	0.74	1.9	4.6	11.9

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2470 \text{ г/м}^3$; $\gamma_{н.у.}=820 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1088 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 60^\circ$; $\alpha_d=40^\circ$; $P=246 \text{ Па}$; $K_a=0,61 \cdot 10^{-11} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Характеристика газа-носителя: $t=380 \div 435^\circ\text{C}$; $z=105 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.):

$8,0 \text{ CO}_2$; $5,1 \text{ O}_2$.

6. Пыль, выделяющаяся при разложении сурьмяной руды в рудно-термической печи (производительность по руде 5 т/ч) на сурьмяном комбинате. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы пыли неправильной формы со сглаженными гранями. В проходящем свете частицы бесцветные, серые и бледно-голубые. В общей массе цвет пыли светло-серый ($d_{50} = 14,5 \text{ мкм}$; $\sigma = 4,8$; $S_{уд} = 9749 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
g , % (по массе)	89	85.6	79	70	59	48	33.5
v , см/с	0.03	0.083	0.21	0.52	1.31	3.35	8.2

Механические свойства пыли: $\gamma_m=4440 \text{ г/м}^3$; $\gamma_{н.у.}=1100 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=2100 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст} = 58^\circ$; $\alpha_d=46^\circ$; $P=641 \text{ Па}$; $K_a < 1,0 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Характеристика газа-носителя: $t=240 \div 265^\circ\text{C}$; $z=35 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.):

$3,2 \text{ CO}_2$; $12,4 \text{ O}_2$; $0,6 \text{ CO}$.

7. Пыль системы санитарной очистки плавильного цеха сурьмяного комбината (на очистку поступают газы после системы газоочистки рудно-термической печи и газы аспирации при выгрузке штейна и металла из печи). *Морфология частиц пыли.* Частицы крупнее 10 мкм неправильной формы с оплавленными гранями, более мелкие частицы пластинчатой и игольчатой формы. Поверхность частиц пористая. В проходящем свете основная масса частиц серого цвета, встречаются частицы бурого и черного цвета ($d_{50} = 3,0$ мкм; $\sigma = 3,0$; $S_{уд} = 17080$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	1.0	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
g , % (по массе)	84	73	56	39	23	10	3.5	1.0
v , см/с	0.013	0.034	0.082	0.21	0.52	1.32	3.35	8.24

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 4400$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 820$ кг/м³; $\gamma_y = 1420$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 53^\circ$; $P = 880$ Па.

Характеристика газа-носителя: : $t = 60^\circ\text{C}$; $z = 1$ г/м³; $f = 46 \div 64$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 0,8 CO₂; 19,0 O₂; 0,1 CO.

ПЫЛИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОГО ПРОИЗВОДСТВА

8. Пыль, выделяющаяся при рассеве и транспортировке формовочной земли в литейном цехе машиностроительного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы овальной и неправильной формы со сглаженными гранями. Частицы размером более 25 мкм в основном монолитны; в проходящем свете серого цвета с включением черных пористых частиц; мелкие частицы от серых тонов до черных; частицы размером 5 - 25 мкм в основном коричневого и черного цвета ($d_{50} = 9$ мкм; $\delta = 3,9$; $S_{уд} = 8600$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	89	82	73	61	47	32	18
v , см/с	0,01	0,04	0,11	0,28	0,72	1,9	4,6

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 2400$ кг/м³; $\gamma_{н.у} = 590$ кг/м³; $\gamma_y = 680$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 59^\circ$; $\alpha_d = 32^\circ$; $P = 63$ Па; $K_a = 0,43 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя: $t = 28^\circ\text{C}$; $z = 0,38$ г/м³.

9. Пыль, выделяющаяся при выплавке стали в электродуговой печи ДСП-ЗА сталеплавильного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы в основной массе овальной и зернистой формы. Среди частиц более 15 мкм встречаются крупные пористые частицы черного цвета, а среди частиц менее 2 мкм — частицы волокнистой и пла-

стинчатой формы желтого, зеленовато-коричневого в желто-коричневого цветов.

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d, мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g, % (по массе)	72	57	40	26	14	8	3
v, см/с	0,03	0,07	0,18	0,44	1,12	2,88	7,0

Механические свойства пыли: $\gamma_m=3980$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=762$ кг/м³; $\gamma_y=950$ кг/м³; $\alpha_{ст}=51^\circ$; P=330 Па.

Характеристика газа-носителя: t=45 °C; z=0,136÷0,496 г/м³.

10. Пыль шахтной вагранки открытого типа (производительность по литью 6,5 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода.

Морфология частиц пыли. Частицы крупнее 50 мкм - черные пористые, в отраженном свете с металлический блеском. Частицы размером менее 50 мкм в проходящем свете в основном темно-серые и коричневые неправильной формы с острыми гранями. В общей массе цвет пыли коричневый ($d_{50}=120$ мкм, $\delta=4,4$).

Дисперсный состав (ситовый анализ и седиментация в этиловом спирте):

d, мкм	4,0	6,3	10	16	25	40	63
g, % (по массе)	98,5	97	94,5	91	85	76	72
v, м/с	0,13	0,34	0,85	2,16	5,29	12,6	33

Механические свойства пыли: $\gamma_m=2830$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=1560$ кг/м³; $\gamma_y=1730$ кг/м³; $\alpha_{ст}=55^\circ$; $\alpha_d=38^\circ$; P=88 Па; $K_a=1,31 \cdot 10^{-10}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя: t=734 °C; z=5 г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 0,2 CO; 14,0 O₂; 7,0 CO₂; 0,12 SO₂; 78,7 N₂.

11. Пыль бессемеровского конвертера (производительность по литью 2 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из газохода конвертера.

Морфология частиц пыли. Частицы пыли неправильной формы; при размере свыше 10 мкм с острыми гранями, при меньшем размере оплавлены. В проходящем свете цвет частиц от коричневого до черного. В общей массе цвет пыли черный ($d_{50}=18$ мкм; $\delta=5,1$; $S_{уд.}=3500$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в этиловом спирте):

d, мкм	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g, % (по массе)	89	83	75	65	55	43	32
v, см/с	0,07	0,19	0,46	1,17	3,5	7,0	19

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=3900$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=2200$ кг/м³; $\gamma_y=2430$ кг/м³; $\alpha_{ст}=55^\circ$; $\alpha_d=37^\circ$; P=49 Па; $K_a=1,04 \cdot 10^{-10}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя: t=180°C; z=8 г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 0,12 CO; 18,8 O; 1,4 CO₂; 0,02 SO₂.

12. Пыль галтовочного барабана литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы пыли неправильной формы с острыми гранями. В проходящем свете основная масса частиц красных оттенков (от желтого до коричневого). Встречаются частицы кристаллической формы, в проходящем свете бесцветные или светло-голубые ($d_{50}=34,5$ мкм; $\delta=2,5$; $S_{уд.}=1290$ см²/г)

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d, мкм	4	6,3	10	16	25	40	63
g, % (по массе)	97	94,4	88,5	78	64	42	21
v, см/с	0,13	0,32	0,8	2,06	5,03	12,9	30

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=2690$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=980$ кг/м³; $\gamma_y=1440$ кг/м³; $\alpha_{ст}=60^\circ$; $\alpha_d=41^\circ$; $P=226$ Па; $K_a=3,1 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

13. Пыль очистки чугуна в пескоструйной камере (производительность по литью 2,5 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы размером более 150 мкм в основной массе кристаллической формы со сглаженными гранями, в проходящем свете бесцветные и желтовато-серые. Частицы размером менее 200 мкм с острыми гранями желто-серого и коричневого цвета. Встречаются частицы игольчатой и пластинчатой формы, в проходящем свете бесцветные и светло-серые ($d_{50}=280$ мкм, $\delta=1,7$).

Дисперсный состав (ситовый анализ):

d, мкм	100	160	200	315	400	630
g, % (по массе)	97	88,7	70	41,3	22,8	7,1
v, см/с	80					

Механические свойства:

$\gamma_m=2665$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=1490$ кг/м³; $\gamma_y=1870$ кг/м³; $\alpha_{ст}=66^\circ$; $\alpha_d=40^\circ$; $P=100$ Па; $K_a=8,3 \cdot 10^{-11}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя $t=18^\circ\text{C}$, $z=5,4$ г/м³.

14. Пыль очистки чугуна дробью в полуавтоматической дробеменной машине (производительность по литью 3 т/ч) литейного цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями, в проходящем свете в основном коричневого и темно-серого цвета (в последнем случае с металлическим блеском). Встречаются прозрачные бесцветные частицы игольчатой формы ($d_{50}=26$ мкм, $S_{уд.}=1640$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d, мкм	4,0	6,3	10	16	25	40.
--------	-----	-----	----	----	----	-----

g, % (по массе)	98,8	97,2	93	80.	53	15
v, см/с	0,22	0,55	1,4	3,58	8,75	21,5

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=4670 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=1390 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1540 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=38^\circ$; $\alpha_d=37^\circ$; $P=49 \text{ Па}$; $K_a=0,648 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Характеристика газа-носителя: $t=22^\circ\text{C}$; $z=7,3 \text{ г/м}^3$; состав: 100% воздуха.

15. Пыль заточных станков инструментального цеха машиностроительного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной зернистой формы с включением металлической стружки; грани частиц сглажены. Цвет пыли темно-серый ($d_{50}=38 \text{ мкм}$; $\delta=1,64$; $S_{уд.}=1200 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d, мкм	10	16	25	40	63
g, % (по массе)	99,5	96,5	82	47	10
v, см/с	1,23	3,28	8,0	20,5	50,5

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=4230 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=1620 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1870 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=66^\circ$; $\alpha_d=40^\circ$; $P < 30 \text{ Па}$; $K_a=1,08 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Характеристика газа-носителя: $t=22^\circ\text{C}$; $z=1,02 \text{ г/м}^3$.

ПЫЛИ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

16. Пыль, выделяющаяся при сушке доменного шлака в сушильном барабане (типоразмер 2,2X14) отделения сушки цементного цеха металлургического завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с острыми гранями. В проходящем свете большинство частиц серого цвета с включением розовато-коричневых частиц размером 5—10 мкм. В общей массе цвет пыли бежевый ($d_{50}=17,5 \text{ мкм}$; $\delta=3,5$; $S_{уд.}=4290 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d, мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25	40
g, % (по массе)	96	92	86	78	65	53	40	26
v, см/с	0,014	0,054	0,14	0,31	0,87	2,2	5,4	13

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=2910 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{н.у}=842 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_y=1072 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{ст}=56^\circ$; $\alpha_d=43^\circ$; $P=270 \text{ Па}$; $K_a=0,66 \cdot 10^{-10} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Характеристика газа-носителя: $t=115^\circ\text{C}$; $z=10,2 \text{ г/м}^3$; $t_p=64^\circ\text{C}$; содержание в газе, % (объемн.): 15,6 O₂; 78,2 N₂; 6,2 RO₂.

17. Пыль, выделяющаяся при помолу смеси известняка, шлака и колошниковой пыли (в соотношении 58: 38: 4) в сырьевой мельнице цементного цеха металлургического завода.

Морфология частиц пыли. Большинство частиц неправильной формы с острыми гранями, пористые; встречаются частицы размером 3—5 мкм овальной формы и мельче 2 мкм иглообразной формы. Цвет пыли серый ($d_{50}=4,5$ мкм; $S_{уд.}=1000$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10
g , % (по массе)	94	82,5	58	20	0,5
v , см/с	0,021	0,052	0,13	0,33	0,84

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=2800$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=611$ кг/м³; $\gamma_y=789$ кг/м³; $\alpha_{ст}=53^\circ$; $\alpha_d=44,5^\circ$; $P=845$ Па; $K_a=8,8 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Характеристика газа -носителя: $t=75$ °С; $z=12$ г/м³; $t_p = 36$ °С.

18. Пыль вращающейся печи обжигу клинкера при мокром способе производства цемента. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы иглообразные, пластинчатые и в форме многогранников, склонны к агрегированию. В проходящем свете частицы имеют светлые тона. В общей массе цвет пыли бежевый ($d_{50}=2,8$ мкм; $\delta=2,3$; $S_{уд.}=17300$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленных условиях):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10
g , % (по массе)	87	74	55	35	18	7
v , см/с	0,008	0,013	0,051	0,13	0,325	0,82

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=2750$ кг/м³; $\gamma_{н.у.}=561$ кг/м³; $\gamma_y=820$ кг/м³; $\alpha_{ст}=78^\circ$; $\alpha_d=46^\circ$; $P=320$ Па.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом-м	$1 \cdot 10^8$	$3 \cdot 10^8$	$4 \cdot 10^9$	$6 \cdot 10^{10}$	$1 \cdot 10^{11}$	$4 \cdot 10^{10}$
T , °С	20	50	100	150	200	250

Характеристика газа-носителя: $t=250 \div 280$ °С; $z=30_n \div 80$ г/м³; $f=30 \div 45$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): $14,5 \div 20,0$ RO₂; $8,0 \div 11,0$ O₂; остальное N₂.

19. Пыль печи обжига клинкера (вращающаяся печь диаметром 5, длиной 75 м, $Q = 60$ т/ч) при сухом способе производства цемента. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с оплавленными гранями. Мелкие частицы пластинчатой и волокнистой формы склонны к образованию агрегатов. Частицы в проходящем свете светло-серые с розоватым оттенком ($d_{50}=4,9$ мкм; $\delta=2,6$; $S_{уд.}=13600$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16
g , % (по массе)	94	88	77	59	37	17	5

v , см/с	0,009	0,023	0,054	0,14	0,36	0,86	2,2
------------	-------	-------	-------	------	------	------	-----

Механические свойства пыли:
 $\gamma_m=2890$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=735$ кг/м³; $\gamma_y=1010$ кг/м³; $\alpha_{ст}=57,5^\circ$; $\alpha_d=45^\circ$; $P=635$ Па.
УЭС, Ом-м $2,6 \cdot 10^7$ $3,0 \cdot 10^7$ $9 \cdot 10^7$ $2 \cdot 10^8$ $1 \cdot 10^8$ $9 \cdot 10^7$
 T , °С 20 50 100 150 200 250
Характеристика газа-носителя: $t=130^\circ\text{C}$; $z=24,4$ г/м³; $f=144$ г/м.

20. Пыль сушильных барабанов СМ-103 асфальтобетонного завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы остроугольные, неправильной формы. Большинство частиц размером крупнее 5 мкм в проходящем свете серого цвета с голубоватым оттенком. Частицы мельче 5 мкм коричневато-красные с включением светло-серых частиц игольчатой формы. В общей массе цвет пыли светло-коричневый ($d_{50}=20$ мкм; $S_{уд.}=2700$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	1,6	2,5	4,0	6,3	10	16	25
g , % (по массе)	97,7	96	92,5	87,6	77	62	36
v , см/с	0,019	0,049	0,12	0,30	0,77	1,9	4,9

Механические свойства пыли:

$\gamma_m=2600$ кг/м³; $\gamma_{н.у}=990$ кг/м³; $\gamma_y=1230$ кг/м³; $\alpha_{ст}=61,5^\circ$; $\alpha_d=37^\circ$; $P=34$ Па;
 $K_a=0,3 \cdot 10^{-10}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя: $t=160 \div 180$ °С; $z=5,5 \div 9$ г/м³; $t_p=72$ °С; $f=368$ г/м³; содержание в газе, % (объемн.): 7,0 СО₂; 8,35 О₂; 0,05 СО.

21. Пыль кабин оцинкования домостроительных деталей с помощью электродугового аппарата ЭМ-12 в цехе закладных деталей завода железобетонных изделий. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы в основной массе сферической формы с включением осколков сфер, столбчатых зерен. Цвет пыли голубовато-серый ($d_{50}=16,5$ мкм; $\sigma=3,3$; $S_{уд.}=4220$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лабораторных условиях):

d , мкм	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40
g , % (по массе)	93	87.5	79	66	51	34	19
v , см/с	0.12	0.32	0.78	1.98	5.06	12.4	30.6

Механические свойства пыли: : $\gamma_m=6600$ г/м³; $\gamma_{н.у}=2600$ кг/м³; $\gamma_y=3400$ кг/м³; $\alpha_{ст}=55^\circ$; $\alpha_d=45^\circ$; $P=392$ Па.

Характеристика газа-носителя: : $t=15 \div 25^\circ\text{C}$; $z=0,5$ г/м³.

ПЫЛИ ХИМИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

22. Пыль обжига колчедана (огарок) в печи типа КС-450 печного отделения сернокислотного завода. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы с развитой поверхностью, зернистой формы с включением мелких (менее 1-2 мкм) волокнистых частиц от серого до светло-коричневого цвета; более крупные частицы густо-коричневые. Пыль склонна к образованию агрегатов ($d_{50} = 3,7$ мкм; $\sigma = 1,85$; $S_{уд} = 17120$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в бензине):

d , мкм	1,0	1,6	2,5	4,0	6,3	10
g , % (по массе)	98	91,5	75	45	14	1,3
u , см/с	0,013	0,034	0,083	0,21	0,53	1,3

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 4500$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 570$ кг/м³; $\gamma_y = 700$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 57^\circ$; $\alpha_d = 40,5^\circ$; $P = 397$ Па; $K_a = 0,9 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя: $t = 434^\circ\text{C}$; $z = 18$ г/м³;

23. Двухосновная соль гипохлорита кальция (ДСГПК), выделяющаяся при сушке продукта в сушильном агрегате цеха гипохлорита содового завода. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной и игольчатой формы; образуют крупные агрегаты с высокоразвитой поверхностью. Цвет пыли - белый ($d_{50} = 98$ мкм; $S_{уд} = 2100$ см²/г).

Дисперсный состав (ситовый анализ + ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	16	25	40	63	100	160	250
g , % (по массе)	97	95	92	81	54	18	8
u , см/с	1.6	3.6	9.7	31	59	150	340

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1980$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 520$ кг/м³; $\gamma_y = 770$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 61^\circ$; $\alpha_d = 45^\circ$; $P = 310$ Па; $K_a < 0,5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя: $t = 112^\circ\text{C}$; $z = 64,3$ г/м.

24. Сульфат натрия, образующийся в содорегенерационном котлоагрегате целлюлозно-бумажного комбината. Проба отобрана из бункеров аппаратов системы газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы имеют вид мелкодисперсных пластинок со сглаженными гранями, склонными к образованию агрегатов размером до 15—20 мкм. Цвет пыли белый ($d_{50} = 1,1$ мкм; $\sigma = 1,7$; $S_{уд} = 54100$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в центробежном поле, среда—ацетон):

d , мкм	0.4	0.63	1.0	1.6	2.5
g , % (по массе)	97	86	58	20	4
u , см/с	0.001	0.003	0.008	0.02	0.05

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 2740$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 200$ кг/м³; $\gamma_y = 300$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 72^\circ$; $\alpha_d = 41^\circ$; $P = 1830$ Па; $K_a < 0,5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

УЭС слоя пыли при различных температурах:

УЭС, Ом·м	$8 \cdot 10^6$	$4.3 \cdot 10^6$	$9 \cdot 10^6$	$5.5 \cdot 10^7$	$9.5 \cdot 10^6$	$2 \cdot 10^6$
-----------	----------------	------------------	----------------	------------------	------------------	----------------

$T, ^\circ\text{C}$ 20 50 100 150 200 250

Характеристика газа-носителя: : $t=140^\circ\text{C}$; $z=4,1 \text{ г/м}^3$; содержание в газе, % (объемн.): 17,0 CO_2 ; 2,4 O_2 ; 80,0 N_2 ; 0,2 [$\text{H}_2\text{S} + \text{CH}_3\text{SH} + (\text{CH}_3)_2\text{S}$].

25. Пыль производства технического мышьяковистого ангидрида (ожиг мышьяковистой руды) на горно-химическом комбинате. Проба отобрана из газохода перед системой газоочистки.

Морфология частиц пыли. Частицы имеют вид мелких кристаллов ромбической и неправильной формы со сглаженными гранями, образующими агрегаты ветвистой формы. В проходящем свете блестящие. В общей массе цвет пыли серый ($d_{50} = 8,2 \text{ мкм}$; $\sigma = 3,0$; $S_{\text{уд}} = 11100 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

$d, \text{ мкм}$	1.6	2.5	4.0	6.3	10	16	25
$g, \%$ (по массе)	92	85	66	59	43	28	16
$v, \text{ см/с}$	0.02	0.05	0.13	0.34	0.85	2.1	5.4

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=2840 \text{ г/м}^3$; $\gamma_{\text{н.у}}=200 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=300 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}} = 72^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=41^\circ$; $P=460 \text{ Па}$; $K_a=1,3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Характеристика газа-носителя: : $t=70^\circ\text{C}$; $z=0,84 \text{ г/м}^3$; $t_p=29^\circ\text{C}$

ПЫЛИ ПИЩЕВОЙ И МЯСОМОЛОЧНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

26. Пыль переработки сои (пересыпка, рассев) в очистном отделении подготовительного цеха мясозиркомбината. Проба— смётка с оборудования.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной формы с включением крупных волокнистых и игольчатых частиц. Большинство частиц в проходящем свете прозрачные с голубоватым и желтоватым оттенком ($d_{50} = 16 \text{ мкм}$; $\sigma = 2,13$; $S_{\text{уд}} = 10200 \text{ см}^2/\text{г}$).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

$d, \text{ мкм}$	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40
$g, \%$ (по массе)	98	95	89	75	50	24	6
$v, \text{ см/с}$	0.03	0.08	0.2	0.5	1.3	3.2	8.0

Механические свойства пыли: $\gamma_{\text{м}}=1690 \text{ г/м}^3$; $\gamma_{\text{н.у}}=310 \text{ кг/м}^3$; $\gamma_{\text{у}}=600 \text{ кг/м}^3$; $\alpha_{\text{ст}} = 90^\circ$; $\alpha_{\text{д}}=48^\circ$; $P=43 \text{ Па}$; $K_a=1,3 \cdot 10^{-12} \text{ м}^2/\text{кг}$.

Характеристика газа-носителя: : $t=18^\circ\text{C}$; $z=0,05 \text{ г/м}^3$; состав газа: 100 % воздуха.

27. Пыль соевого шрота, выделяющаяся при работе пневмотранспорта, циклонных разгрузителей на складе шрота мясозиркомбината. Проба отобрана из воздуховода системы аспирации, смётка с оборудования.

Морфология частиц пыли. Частицы — обломки соевых зерен, песок. Встречаются волокнистые частицы желтого цвета. Большинство частиц с ошлифо-

ванными гранями, прозрачные в проходящем свете ($d_{50} = 23$ мкм; $\sigma = 2,08$; $S_{уд} = 3000$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в керосине):

d , мкм	2.5	4	6.3	10	16	25	40
g , % (по массе)	99	98	94	86	70	46	20
v , см/с	0.02	0.07	0.17	0.44	1.10	2.78	7.0

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1480$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 490$ кг/м³; $\gamma_y = 710$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 66^\circ$; $\alpha_d = 42^\circ$;

$P = 68$ Па; $K_a < 0.5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Характеристика газа-носителя: $t = 18 \div 20^\circ\text{C}$; состав газа: 100% воздуха.

28. Зерновая пыль, выделяющаяся при транспортировке, пересыпке и просеве пшеницы на элеваторе мукомольного завода. Проба — смётка с оборудования участка приемки зерна.

Морфология частиц пыли. Частицы — обломки стеблей и зерен с включением минеральных частиц неправильной формы размером до 40 мкм, серых в проходящем свете ($d_{50} = 28$ мкм; $\sigma = 3,0$; $S_{уд} = 4380$ см²/г).

Дисперсный состав (седиментация в изоамиловом спирте):

d , мкм	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98	95	91.5	83	70	55	36
v , см/с	0.029	0.073	0.182	0.458	1.2	2.9	7.3

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1530$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 380$ кг/м³; $\gamma_y = 570$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 65^\circ$; $P = 105$ Па.

29. Пыль, выделяющаяся при производстве сухого молока в опытной сушильной установке (производительность по газу 300 м³/ч). Проба отобрана из газохода перед системой пылеулавливания.

Морфология частиц пыли. Частицы зернистой и овальной формы образуют агрегаты размером до 150 мкм с развитой поверхностью ($d_{50} = 26$ мкм; $S_{уд} = 2400$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	2.5	4.0	6.3	10	16	25	40
g , % (по массе)	98.5	97	95	90	76	51	4
v , см/с	0.025	0.062	0.14	0.39	1.0	2.4	6.0

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1310$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 450$ кг/м³; $\gamma_y = 624$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 90^\circ$; $\alpha_d = 56^\circ$; $P = 752$ Па.

ПЫЛИ ПРОИЗВОДСТВА СИНТЕТИЧЕСКИХ МОЮЩИХ СРЕДСТВ

30. Пыль распылительной сушилки фирмы «Лурги» (ФРГ) производства синтетического моющего средства на нефтеперерабатывающем заводе. Проба отобрана из газохода перед пылеуловителем.

Морфология частиц пыли. Частицы — полые сферы и обломки сфер с пористой поверхностью. Цвет светло-желтый ($d_{50} = 120$ мкм; $\sigma = 6,35$).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в промышленности):

d , мкм	6.3	10	16	25	40	100
g, % (по массе)	94	90	87	81	72	58
v , см/с	0.21	0.54	1.39	3.4	8.7	51

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1800$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 273$ кг/м³; $\gamma_y = 347$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 60^\circ$; $\alpha_d = 44,5^\circ$; $P = 539$ Па; $K_a < 0.5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 9,1):

Компоненты	ПАВ	Na ₅ P ₃ O ₁₀	Na ₂ SiO ₃	Na ₂ SO ₄	Na ₂ CO ₃	КМЦ	H ₂ O
Содержание, % (по массе)	20	30	5	18	1.5	2	10

Характеристика газа-носителя: $t = 120^\circ\text{C}$; $z = 9,21$ г/м³; $f = 73 \div 85$ г/м³ сухого газа; содержание в газе, % (объемн.): 2 CO₂; 19 O₂; 6,8 H₂O.

31. Пыль распылительной сушки фирмы «Баллестра» производства синтетического моющего средства «Кристалл» на заводе товаров народного потребления. Проба отобрана из газохода перед пылеуловителем.

Морфология частиц пыли. Частицы неправильной со сглаженными гранями и овальной формы. В отраженном свете светлых тонов; крупные — матовые, менее 15 мкм — блестящие, бесцветные ($d_{50} = 31$ мкм; $S_{уд} = 3200$ см²/г).

Дисперсный состав (ротационная сепарация в лаборатории):

d , мкм	4.0	6.3	10	16	25	40	63
g, % (по массе)	95.5	91	82	72	55	40	29
v , см/с	0.08	0.21	0.54	1.4	3.4	8.7	20

Механические свойства пыли: $\gamma_m = 1800$ г/м³; $\gamma_{н.у} = 250$ кг/м³; $\gamma_y = 322$ кг/м³; $\alpha_{ст} = 60^\circ$; $\alpha_d = 40^\circ$; $P = 420$ Па; $K_a < 0.5 \cdot 10^{-12}$ м²/кг.

Химический состав пыли (рН водной вытяжки 9,5):

Компоненты	ПАВ	Na ₅ P ₃ O ₁₀	Na ₂ SiO ₃	Несульфидированные соединения	H ₂ O
Содержание, % (по массе)	20	22	49	2,0	7.2

Содержание

Введение	3
Методические указания к выполнению практических работ	4
Задача 1	4
Задача 2	7
Задача 3	11
Задача 4	15
Задача 5	19
Задача 6	23
Задача 7	25
Список литературы	26
Приложение 1	28
Приложение 2	29

Левашов Сергей Петрович
Белякин Сергей Константинович
Семенов Виктор Васильевич
Герасимова Ольга Васильевна

ВЫБОР И РАСЧЕТ СИСТЕМ ПЫЛЕУЛАВЛИВАНИЯ

Методические указания
к выполнению практических работ
по курсу "Системы защиты среды обитания"
для студентов специальности 330100
«Безопасность жизнедеятельности в техносфере»

Редактор Н.М. Кокина

Подписано к печати		Бумага типа №
Формат 60x84 1/16	Усл.п. л. 2,75	Уч.-изд. л. 2,75
Заказ	Тираж 150	Цена свободная

Издательство Курганского государственного университета.
640669, г.Курган, ул.Гоголя, 25
Курганский государственный университет, ризограф