

Министерство образования Республики Беларусь
БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

Кафедра «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»

ЭКОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ

Методические указания
и контрольные задания
для студентов специальности
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

В 3 частях

Часть 1

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

Минск
БНТУ
2011

УДК 628.52(075.8)

ББК 20.1я7

Э 40

Составители:

В.А. Седнин, О.Ф. Краецкая

Рецензенты:

Н.Б. Карницкий, Р.И. Есьман

Методические указания предназначены для оказания помощи студентам при выполнении контрольных работ.

В издании излагаются основные положения инженерной экологии и защиты окружающей среды, приводятся варианты контрольных заданий.

Материал методической части способствует более глубокому изучению и освоению материала.

ВВЕДЕНИЕ

Дисциплина «Экология промышленных теплотехнологий» играет важную роль в формировании экологического мировоззрения инженера-теплоэнергетика, работающего как на промышленных предприятиях в энергетической отрасли, так и в других отраслях народного хозяйства.

Для студентов, обучающихся по специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика», она является основной для более глубокого исследования современного, экологически безопасного теплоэнергетического оборудования, встроенного в технологические процессы различных отраслей народного хозяйства, с целью повышения энергетической и экологической эффективности современных энерготехнологических процессов.

ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ

При выполнении контрольных работ необходимо соблюдать следующие требования:

- исходные параметры четко выписаны;
- конечная цель расчета определена;
- все вычисления проводятся в развернутом виде;
- решение задач сопровождается кратким пояснительным текстом.

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ ДИСЦИПЛИНЫ

Изучению дисциплины «Экология промышленных теплотехнологий» должна предшествовать глубокая проработка современного состояния энергетической и экологической безопасно-

сти в Республике Беларусь, путей совершенствования теплоэнергетического оборудования и теплотехнических технологий.

Проблема экологической безопасности различных отраслей народного хозяйства является важной научно-технической задачей, стоящей перед современным производством. Экологическая чистота и безопасность современных технологий являются основными критериями конкурентоспособности рыночного продукта.

Дисциплина является основной в комплексной программе непрерывной экологической подготовки по специальности 1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика».

ЭКОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ

1. Воздействие энергетических и теплотехнологических процессов на окружающую среду

При изучении данной темы необходимо рассмотреть загрязнение окружающей среды теплоэнергетическими системами ТЭК, тепловыми (ТЭС) и атомными (АЭС) электростанциями, ТЭЦ и котельными. Изучить воздействие вредных выбросов систем теплоэнергетического комплекса (ТЭК), теплопотребляющего и технологического оборудования. Следует подробно остановиться на воздействии вредных выбросов и загрязнений, обусловленных энергетическими и теплотехнологическими процессами, включая добычу, переработку, использование и транспортировку топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) на биосферу (человека, животный и растительный мир).

Нужно рассмотреть воздействие энергетики и теплоэнергетических систем на атмосферу, проанализировать воздействие

вредных газопылевых выбросов на человека, животных, растения, сооружения и материалы.

Следует изучить мероприятия по предупреждению загрязнения воздушной среды при функционировании теплоэнергетических установок и систем теплоиспользования (устранение и уменьшение выбросов путем совершенствования технологических процессов и оборудования; внедрение безотходных, ресурсо- и энергосберегающих теплотехнологий; рекуперация и утилизация ценных компонентов из промышленных выбросов; защита воздушного бассейна путем создания безотходных технологий и многократного последовательного использования теплоты продуктов сгорания; использование теплоты газообразных отходов в качестве вторичных энергоресурсов (ВЭР); разработка новых видов топлив и энергетических процессов, обеспечивающих чистоту окружающей среды).

Необходимо проанализировать воздействие энергетики на гидросферу и литосферу, рассмотреть общую характеристику производственных сточных вод ТЭС и АЭС.

2. Методы, средства и оборудование очистки газообразных отходов теплоэнергетических систем энергетического комплекса и снижения их вредного влияния на окружающую среду

При проработке данной темы необходимо провести анализ методов снижения вредных выбросов при сжигании топлива (облагораживание топлива, газификация твердого и жидкого топлива, удаление серы из твердого, жидкого и газообразного топлива, очистка газообразного топлива от сероводорода сульфидными и жидкостными способами).

Следует также изучить снижение выбросов окислов азота при сжигании топлива следующими методами:

– подавления образования окислов азота в пределах топочных устройств и паровых котлов;

– очистки продуктов сгорания от окислов азота (абсорбционные, каталитические, селективные и неселективные, метод гомогенного восстановления окислов азота аммиаком).

Нужно рассмотреть и методы устранения выбросов сажи, бензапирена, окиси углерода:

– беспламенное сжигание газа и сжигание с образованием светящегося факела;

– методы, обеспечивающие полное сгорание жидкого топлива;

– сжигание твердого топлива с высоким и малым выходом летучих;

– совместное сжигание жидкого, твердого и газообразного топлива;

– методы снижения выбросов оксидов азота от энергетических котлов.

При оценке и выборе сооружений и аппаратов очистки необходимо изучить принципы, методы и конструкции сооружений и аппаратов очистки газообразных отходов систем ТЭК и промышленных предприятий. Более подробно следует остановиться на классификации газоочистных аппаратов (сухие механические пылеуловители, циклоны, электрическая очистка газов, электрофильтры, мокрые механические пылеуловители, аппараты с осаждением пыли на пленку жидкости, пенные аппараты, форсуночные скрубберы, скрубберы Вентури, тканевые фильтры).

3. Сооружения и аппараты очистки производственных сточных вод

При анализе сооружений и аппаратов очистки производственных сточных вод необходимо предварительно изучить принципы, методы и конструкции сооружений и аппаратов очистки выбросов промышленных предприятий: сооружения для осаждения примесей сточных вод, сооружения механической очистки сточных вод, гидроциклоны и центрифуги, фи-

зико-химическая очистка сточных вод, фильтрационные установки, установки для коагуляции и нейтрализации сточных вод, аппараты для адсорбционной обработки промышленных вод, физико-химические методы очистки производственных сточных вод, установки для нейтрализации промышленных вод. Гидроциклоны, адсорбционные методы очистки газов, электрохимическая очистка промышленных вод, установка для очистки сточных вод окислителями.

4. Экономические аспекты экологических и природоохранных мероприятий

При изучении данной темы рассматриваются следующие вопросы:

- оценка ущерба, наносимому народному хозяйству из-за загрязнений окружающей среды;
- оценка экологической деятельности промышленных предприятий и экономические санкции за нарушение ПДВ вредных веществ;
- технико-экономическое обоснование природоохранных мероприятий и расчет их экономической эффективности;
- методика проведения энерго- и экологоаудита на предприятиях;
- методики расчета выбросов загрязняющих веществ;
- нормирование выбросов загрязняющих веществ.

КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ

Задание 1. Расчет циклона

Задание: выбрать циклон типа ЦН-15 и определить его гидравлическое сопротивление.

Исходные данные: расход газа при нормальных условиях V_0 , м³/ч; плотность газа при нормальных условиях ρ_0 , кг/м³; температура очищаемого газа t_r , °С, барометрическое давление $P_{\text{бар}}$, кПа; разрежение при входе в циклон $P_{\text{ц}}$, кПа; начальная концентрация пыли C_1 , г/м³; плотность пыли $\rho_{\text{п}}$, кг/м³. Циклон должен работать без дополнительных устройств в сети.

Варианты заданий

№ п/п	V_0 , м ³ /ч	ρ_0 , кг/м ³	t_r , °С	$P_{\text{бар}}$, кПа	$P_{\text{ц}}$, кПа	C_1 , г/м ³	$\rho_{\text{п}}$, кг/м ³
1	4100	1,3	140	101,5	30	10	3000
2	5800	1,1	250	100	25	20	2000
3	4600	1,2	150	99	27	80	1500
4	5000	1,25	200	100,5	50	120	2500
5	4200	1,05	180	101,3	20	150	1700
6	4500	1,2	280	98,5	15	40	2600
7	5200	1,26	240	100	22	20	2200
8	7000	1,15	300	99,1	17	10	3300
9	5600	1,3	110	101	30	40	3000

Методические указания к расчету циклона

Определяем плотность газа при рабочих условиях:

$$\rho_r = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{\text{бар}} - P_{\text{ц}})}{(273 + t_r) \cdot P_{\text{бар}}}, \text{ кг/м}^3.$$

Расход газа при рабочих условиях

$$V_r = \frac{V_0 \rho_0}{\rho_r \cdot 3600}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Диаметр циклона

$$D = \sqrt{\frac{V_{\Gamma}}{0,785 \cdot v_{\text{опт}}}}, \text{ м,}$$

где $v_{\text{опт}}$ – оптимальная скорость движения газа, которая для ЦН-15 составляет 3,5 м/с (табл. 1.1).

Таблица 1.1

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

Действительная скорость газа в циклоне

$$v_{\text{д}} = \frac{V_{\Gamma}}{0,785D^2}, \text{ м/с.}$$

Действительная скорость газа в циклоне не должна отличаться от оптимальной более чем на 15 %. В случае, если разница в скоростях превышает указанную величину, расчеты повторяют, выбрав циклон другого типа.

Коэффициент сопротивления принятого к установке циклона

$$\zeta = K_1 K_2 \zeta_{500},$$

где ζ_{500} – коэффициент сопротивления циклона диаметром 500 мм (табл. 1.2);

K_1 – поправочный коэффициент, учитывающий влияние диаметра циклона (табл. 1.3) (диаметр циклона, превышающий 500 мм, не оказывает влияние на коэффициент сопротивления циклона; в этом случае величина K_1 выбирается при $D = 500$ мм);

K_2 – поправочный коэффициент, учитывающий запыленность газа (табл. 1.4).

Таблица 1.2

Тип циклона	ξ_{500}
ЦН-11	245
ЦН-15	155
ЦН-24	75
СДК-ЦН-33	520
СК-ЦН-34	1050

Таблица 1.3

Тип циклона	Диаметр циклона, мм				
	150	200	300	450	500
ЦН-11	0,94	0,95	0,96	0,99	1
ЦН-15, ЦН-24	0,85	0,9	0,93	1	1
СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34	1	1	1	1	1

Таблица 1.4

Тип циклона	Запыленность, г/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,9	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,9	0,87	0,68
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,9	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	0,9

Гидравлическое сопротивление циклона

$$\Delta P = \xi \cdot v_d \cdot \rho_r / 2, \text{ Па.}$$

Задание 2. Расчет электрофильтра

Задание: выбрать электрофильтр для очистки дымовых газов барабанной сушилки.

Исходные данные: расход газов при нормальных условиях V_0 , м³/ч; плотность газов при нормальных условиях ρ_0 , кг/м³; температура очищаемых газов t_r , °С, барометрическое давление $P_{\text{бар}}$, кПа; разрежение в системе P , кПа; рабочее напряжение U_p , кВ; средний размер частиц $d_{\text{с.р.}}$, мкм. Состав газов близок к атмосферному воздуху.

Варианты заданий

№ п/п	V_0 , м ³ /ч	ρ_0 , кг/м ³	t_r , °С	$P_{\text{бар}}$, кПа	P , кПа	U_p , кВ	$d_{\text{с.р.}}$, мкм
1	85 000	1,3	130	101,3	2	70	0,9
2	50 000	1,1	220	100	5	80	0,5
3	70 000	1,25	150	99,8	2,5	80	0,05
4	80 000	1,15	200	100,2	3	70	0,6
5	60 000	1,1	180	101,3	4	90	0,01
6	90 000	1,05	280	98,5	1	70	0,02
7	85 000	1,1	240	100	2	80	0,8
8	70 000	1,0	300	99,1	1,5	100	0,3
9	90 000	1,35	110	101,5	3	70	0,9

Методические указания к расчету электрофильтра

Определяем плотность газа при рабочих условиях:

$$\rho_r = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{\text{бар}} - P_{\text{ц}})}{(273 + t_r) \cdot P_{\text{бар}}}, \text{ кг/м}^3.$$

Расход газа при рабочих условиях

$$V_r = \frac{V_0 \rho_0}{\rho_r \cdot 3600}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

По данным практики, принимаем скорость потока газов в электрофилт্রে $v_{\Gamma} = 0,8$ м/с, тогда необходимая площадь поперечного сечения электрофилтра:

$$F = \frac{V_{\Gamma}}{v_{\Gamma}}, \text{ м}^2.$$

По табл. 2 выбираем тип электрофилтра, принимаемого к установке.

Фактическая скорость потока газов в электрофилт্রে

$$v_{\text{д}} = \frac{V_{\Gamma}}{F_{\Phi}}, \text{ м/с},$$

где F_{Φ} – площадь активного сечения принятого филтра (см. табл. 2.1).

Относительная плотность газов при стандартных условиях ($P_{\text{ст}} = 101,3$ кПа; $T_{\text{ст}} = 20$ °С)

$$\rho_{\text{отн}} = \frac{(P_{\text{бар}} - P)(273 + T_{\text{ст}})}{P_{\text{ст}}(273 + T)}, \text{ кг/м}^3.$$

Критическая напряженность электрического поля

$$E_{\text{кр}} = 3,04 \left(\rho_{\text{отн}} + 0,0311 \sqrt{\frac{\rho_{\text{отн}}}{R_1}} \right) 10^6, \text{ В/м},$$

где R_1 – радиус коронирующего электрода $R_1 = 0,001$ м.

Средняя напряженность электрического поля

$$E_{\text{ср}} = \frac{U_{\text{р}}}{d}, \text{ В/м},$$

где $d = 13,7$ см – расстояние между плоскостями осадительных и коронирующих электродов.

Скорость дрейфа v_d для частиц мельче 1 мкм:

$$v_d = \frac{0,17 \cdot 10^{-11} E_{cp}}{\mu}, \text{ м/с,}$$

где μ – динамическая вязкость газов при данной температуре,
 $\mu = 23,1 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

Таблица 2.1

Технические характеристики электрофильтров

Типоразмер	Площадь активного сечения, м ²	Число секций	Число полей	Шаг между одноименными электродами, мм	Активная длина поля, м	Общая площадь осаждения, м ²
УГ1-3-10	10	—	3	—	2,51	630
УГ1-3-15	15	—	3	—	2,51	940
УГ2-3-26	26	—	3	—	2,51	1690
УГ2-3-37	37	—	3	—	2,51	2360
УГ2-3-53	53	—	3	—	2,51	3370
УГ2/2-74	74	—	3	—	2,51	4700
УГ-3-88	88	—	3	—	3,95	9200
УГ3-3-115	115	—	3	—	3,95	12100
УГ3-4-115	115	—	4	—	3,95	16100
УГ3-3-177	177	—	3	—	3,95	18400
УГ3-4-177	177	—	4	—	3,95	24600
УГ3-3-230	230	—	3	—	3,95	24200
УГ3-4-230	230	—	4	—	3,95	32200
УГ3-3-265	265	—	3	—	3,95	27600
УГ3-4-265	265	—	4	—	3,95	36900
УВ-2x10	21	2	1	275	7,4	1200
УВ-3x10	32	3	1	275	7,4	1800
УВ-1x16	16	1	1	275	7,4	900
УВ-2x16	32	2	1	275	7,4	1800
УВ-2x24	48	2	1	275	7,4	2600
УВВВ-8	8	1	1	350	6,2	285
УВВВ-12	12	1	1	350	6,2	430
УВВ-16	16	1	1	350	6,2	570
УВВ-2x12	24	2	1	350	6,2	870

Удельная площадь осаждения электрофильтра

$$f = \frac{F_{\text{ос}}}{V_{\Gamma}}, \text{ м}^2 \cdot \text{с} / \text{м}^2,$$

где $F_{\text{ос}}$ – площадь поверхности осаждения принятого фильтра (см. табл. 2.1).

Коэффициент полезного действия фильтра

$$\eta = 1 - e^{-v_{\text{д}} f}.$$

Практика показала, что практическая скорость дрейфа может существенно отличаться от расчетной, поэтому КПД электрофильтра обычно ниже расчетного.

Задание 3. Расчет скруббера Вентури

Задание: рассчитать скруббер Вентури для очистки мартевского газа.

Исходные данные: влагосодержание газа f_1 , г/м³; количество газа V_0 , м³/ч; температура газа, поступающего в газоочистку t , °С; запыленность газа q_1 , г/м³; разрежение перед трубами Вентури p , Па; барометрического давление $p_{\text{бар}} = 101\,325$ Па; требуемая конечная запыленность газа q_2 , мг/м³; температура воды, подаваемой в аппараты t_1 , °С. Состав газа: 20 % CO₂, 70 % N₂ и 10 % O₂.

Варианты заданий

№ п/п	f_1 , г/м ³	V_0 , м ³ /ч	t , °С	q_1 , г/м ³	p , Па	q_2 , мг/м ³	t_1 , °С
1	50	80 000	250	4	3 000	90	30
2	40	75 000	200	5	2 000	100	25
3	50	60 000	300	6	2 500	110	20
4	60	80 000	150	4	2 750	80	35
5	50	70 000	200	7	2 200	95	30
6	40	65 000	250	5	3 000	100	20
7	60	80 000	300	6	2 500	85	25
8	50	75 000	150	4	2 300	90	22
9	40	60 000	200	7	2 800	110	30

Методические указания к расчету скруббера Вентури

Требуемая эффективность пылеуловителя

$$\eta = (q_1 - q_2) / q_1.$$

Число единиц переноса¹

$$N_q = \ln [1/(1 - \eta)].$$

Значение удельной энергии K_T^2 (кДж/1000 м³) находим из формулы

$$N_q = A \cdot K_T^B.$$

Значения А и В принимаются по данным табл. 3.1.

Количество газа, поступающего в трубы Вентури при рабочих условиях

$$V_1 = \frac{V_0}{3600} \cdot \frac{101325(273+t)}{273(101325-P)}, \text{ м}^3/\text{с}.$$

Общий расход воды на трубы Вентури

$$V_B = m \cdot V_1, \text{ м}^3/\text{с},$$

где удельный расход воды $m = 1 \text{ л/м}^3$.

Таблица 3.1

¹ Величина η недостаточно характеризует качество очистки в интервале высоких степеней очистки (0,98–0,99), поэтому используют понятие единиц переноса, аналогично применяемому в технологических процессах, связанных с тепло- и массообменном.

² Величина K_T учитывает способ ввода жидкости в аппарат, диаметр капель, вязкость, поверхностное натяжение и другие свойства жидкости.

Значения параметров А и В пыли для некоторых технологических процессов черной металлургии

Вид пыли	А	В
Конверторная пыль	$9,88 \cdot 10^{-2}$	0,4663
Пыль мартеновских печей	$1,565 \cdot 10^{-6}$	1,619
Пыль из доменных печей	0,1925	0,3255
Пыль закрытой печи, выплавляющей углеродистый феррохром	$6,49 \cdot 10^{-5}$	1,1
Зола дымовых газов ТЭЦ	0,17	0,3

Гидравлическое сопротивление скруббера Вентури

$$\Delta p = K_T - p_B \cdot m,$$

где давление воды p_B равно 300 Па.

Плотность газа при нормальных условиях на входе в трубу Вентури

$$\rho_0 = 1/100 \cdot (\rho_{01} \cdot a_1 + \rho_{02} \cdot a_2 + \dots + \rho_{0n} \cdot a_n), \text{ кг/м}^3,$$

где a_1, a_2, \dots, a_n – содержание компонента газа в смеси, % (объем);

$\rho_{01}, \rho_{02}, \dots, \rho_{0n}$ – плотности компонентов газа при нормальных условиях, значения которых приведены в табл. 3.2.

Таблица 3.2

Газ	Плотность при 0 °С и давлении 0,101 МПа, кг/м ³
Азот N ₂	1,2507
Углекислый газ CO ₂	1,963
Кислород O ₂	1,42895

Температура газа на выходе из трубы Вентури:

$$t = (0,133 - 0,041 \cdot m) \cdot t_1 + 35,$$

где m – удельный расход воды, равный 1 л/м³.

Находим влагосодержание газа на выходе из труб Вентури, пользуясь диаграммой I – x (см. рис. 3.1):

$$x_1 = f_1 / \rho_0.$$

Из точки на диаграмме I – x, характеризующей параметрами x_1 и t_1 , проводим линию I до пересечения с изотермой t_2 и, опустив перпендикуляр из полученной точки, найдем x_2 , кг/кг, или $f_2 = x_2 \cdot \rho_0$, кг/м³.

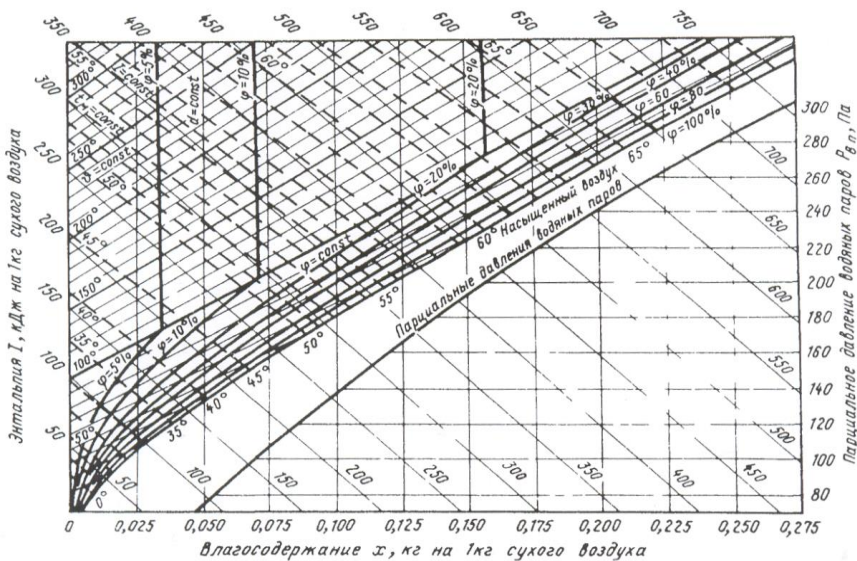


Рис. 3.1. Диаграмма влажного воздуха

Плотность газа при рабочих условиях на выходе из скруббера Вентури

$$\rho_2 = \frac{(\rho_0 + f_2) \cdot 273 \cdot (p_{\text{бар}} - p - \Delta p)}{(1 + f_2/0,804) \cdot 101325 \cdot (273 + t_2)}, \text{ кг/м}^3.$$

Находим количество газа на выходе из трубы Вентури:

$$V_2 = (V_0 / 3600) \cdot (\rho_0 / \rho_2), \text{ м}^3/\text{с}.$$

Размеры инерционного пыле- и каплеуловителя (бункера):

$$D_6 = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_2}{v_6}}, \text{ м},$$

скорость в поперечном сечении бункера v_6 равна 2,5 м/с.

Высоту цилиндрической части бункера принимаем $H_6 = 4,3$ м.

Гидравлическое сопротивление бункера

$$\Delta p_6 = \xi \cdot (v_6^2 / 2) \cdot \rho_2, \text{ Па},$$

где ξ принимаем равным 80.

Выбираем для установки скоростной золоуловитель типа МС-ВТИ (табл. 3.3) и находим его диаметр:

$$D_{\text{скр}} = 1,13 \cdot \sqrt{\frac{V_2}{v_2}}, \text{ м},$$

скорость газа в цилиндрической части скруббера принимаем $v_2 = 4,5$ м/с.

Таблица 3.3

Технические характеристики
скоростных золоуловителей типа МС-ВТИ

Типоразмеры	Диаметр аппарата, м	Полная высота корпуса, м	Длина трубы распылителя, м	Номинальная производительность, тыс. м ³ /ч	Расход воды на орошение корпуса, г/ч	Масса аппарата, т
МС-ВТИ-2800	2,8	9,66	2,95	90	4,4	7
МС-ВТИ-3000	3,0	10,32	3,27	108	4,7	8
МС-ВТИ-3200	3,2	10,98	3,51	125	5,0	9,1
МС-ВТИ-3600	3,6	12,29	3,74	160	5,7	11,5
МС-ВТИ-4000	4,0	13,61	4,13	200	6,3	14,2
МС-ВТИ-4500	4,5	15,25	4,69	250	7,0	18,0

Предусматриваем стандартный скруббер (см. табл. 3.3) и рассчитываем действительную скорость газа в нем:

$$v = 4 \cdot V_2 / \pi D_{\text{скр}}^2, \text{ м/с.}$$

Гидравлическое сопротивление скруббера

$$\Delta p_{\text{скр}} = \xi \cdot (v^2 / 2) \cdot \rho_2, \text{ Па,}$$

где ξ принимаем равным 34.

Гидравлическое сопротивление труб Вентури:

$$\Delta p_{\text{ТВ}} = \Delta p - \Delta p_6 - \Delta p_{\text{скр}}, \text{ Па.}$$

Задание 4. Расчет тканевого рукавного фильтра с регенерацией (обратной продувкой)

Задание: рассчитать рукавный фильтр из лавсана, предназначенный для очистки дымовых газов, полное гидравлическое сопротивление фильтра, продолжительность работы фильтра между двумя регенерациями, площадь фильтрования.

Исходные данные: расход газа при нормальных условиях V_0 , м³/ч; плотность газа при нормальных условиях ρ_0 , кг/м³ (плотность воздуха при нормальных условиях равна 1,29 кг/м³); динамический коэффициент вязкости при нормальных условиях μ_0 , Па·с ($\mu_0 = 2 \cdot 10^{-9}$ Па·с); температура газа перед входом в фильтр t_r , °С; разрежение перед входом в фильтр P_r , Па; гидравлическое сопротивление фильтра Δp , Па; плотность частиц пыли $\rho_{\text{ч}}$, кг/м³; характеристика дисперсного состава пыли: концентрация пыли в газе перед фильтром Z_0 , г/м³; средний размер частиц (дисперсность пыли) d_m , мкм.

Принимаем допустимую температуру газа для лавсана $t_r = 130$ °С, температуру воздуха $t_{\text{в}} = 30$ °С.

Варианты заданий

№ п/п	$V_0 \cdot 10^{-3}$, м ³ /ч	t_r , °С	P_r , Па	Δp , кПа	Z_0 , г/м ³	$\rho_{\text{ч}}$, кг/м ³	d_m , мкм
-------	---	------------	------------	------------------	--------------------------	---------------------------------------	-------------

1	125	140	300	1,4	50	3000	10
2	150	250	2500	0,5	20	1500	15
3	75	150	1000	1,0	30	2000	7,5
4	100	200	500	1,5	25	2500	12
5	90	180	2000	0,7	15	1800	17
6	70	280	800	1,2	35	2800	18
7	110	240	2200	0,8	25	2000	13
8	130	300	1000	0,8	10	3500	20
9	105	240	2300	0,9	27	2300	14

Методические указания к расчету фильтра

Определяем подсос воздуха перед фильтром:

$$V_{0в} = V_0 \cdot \frac{t'_r - t_r}{t_r - t_b}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Полный расход газа, идущего на фильтрование, при нормальных условиях

$$V_{0г} = V_0 + V_{0в}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Расход газа, идущего на фильтрование, при рабочих условиях

$$V_r = V_{0г} \cdot \frac{(273 + t_r) \cdot P_{бар}}{273 \cdot (P_{бар} - P_r)}, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Запыленность газа перед фильтром при рабочих условиях

$$Z = \frac{Z_0 \cdot V_0}{V_r}, \text{ г}/\text{м}^3.$$

Допустимая газовая нагрузка на фильтр в данных условиях

$$q_{\phi} = q_n \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot C_3 \cdot C_4 \cdot C_5, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин}).$$

Скорость фильтрации:

$$\dot{\omega}_\phi = q_\phi / 60, \text{ м/с,}$$

где q_n – нормативная удельная нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации, $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$;

$q_n = 1,2$ – пары металлов; $1,7$ – кокс, летучая зола; $2,0$ – цемент, уголь, известняк;

C_1 – коэффициент, учитывающий скорость регенерации (при регенерации обратной продувкой с встряхиванием $C_1 = 0,7$);

C_2 – коэффициент, учитывающий начальную запыленность газа (определяют по рис. 4.1);

C_3 – коэффициент, учитывающий дисперсность пыли;

C_4 – коэффициент, учитывающий влияние температуры газа;

C_5 – коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки.

Коэффициенты C_3 и C_4 выбираются из табл. 4.1 и 4.2.

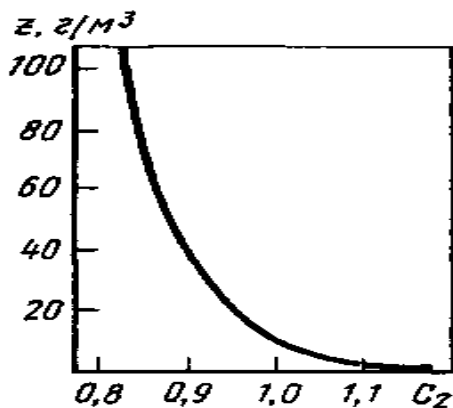


Рис. 4.1. Зависимость коэффициента C_2 от концентрации пыли

Таблица 4.1

$d_m, \text{ мкм}$	> 100	50–100	10–50	3–10	< 3
--------------------	-------	--------	-------	------	-----

C_3	1,2–1,4	1,1	1,0	0,9	0,7–0,9
-------	---------	-----	-----	-----	---------

Таблица 4.2

$t_r, ^\circ\text{C}$	20	40	60	80	100	120	140	160
C_4	1,0	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,7

Коэффициент C_5 находится из условий: при $z_0 > 30 \text{ мг/м}^3$, $C_5 = 1$; при $z_0 < 30 \text{ мг/м}^3$, $C_5 = 0,95$.

Плотность газа при рабочих условиях

$$\rho_r = \rho_0 \cdot \frac{273 \cdot (P_{\text{бар}} - P_r)}{(273 + t_r) \cdot P_{\text{бар}}}, \text{ кг/м}^3.$$

Динамический коэффициент вязкости при рабочих условиях

$$\mu = \mu_0 \cdot 273/t_r \cdot (t_r/273)^{1,5}, \text{ Па} \cdot \text{с}.$$

Полное гидравлическое сопротивление фильтра Δp

$$\Delta p = \Delta p_\phi + \Delta p_k, \text{ Па},$$

где Δp_k – сопротивление корпуса аппарата, Па.

$$\Delta p_k = \frac{\zeta \omega_{\text{вх}}^2 \rho_r}{2}, \text{ Па},$$

где ζ – коэффициент сопротивления, который задается в пределах 1,5–2,5;

$\omega_{\text{вх}}$ – скорость газа при входе в фильтр, принимается в пределах 5–15 м/с;

Δp_ϕ – сопротивление фильтровальной перегородки, Па.

Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки складывается из

$$\Delta p_{\phi} = \Delta p - \Delta p_{\kappa}, \text{ Па}$$

Продолжительность периода фильтрования между двумя регенерациями

$$\tau_{\phi} = \frac{(\Delta p_{\phi} / \mu \cdot \omega'_{\phi}) - A}{B \cdot \omega'_{\phi} \cdot Z}, \text{ с.}$$

Коэффициенты А и В для пыли (ткань–лавсан) выбираются из табл. 4.3.

Таблица 4.3

d_m , мкм	A , м^{-1}	B , м/кг
10–20	$(1100–1500) \cdot 10^6$	$(6,5–16) \cdot 10^9$
2,5–3	$(2300–2400) \cdot 10^6$	$80 \cdot 10^9$

Количество регенераций в течение часа

$$n_p = 3600 / (\tau_{\phi} + \tau_{\text{рег}}),$$

где $\tau_{\text{рег}}$ задается в пределах 40–60 с.

Расход воздуха на регенерацию, принимая, что скорость обратной продувки равна скорости фильтрования:

$$V_{\text{рег}} = V_{\Gamma} \cdot n_p \cdot \tau_{\text{рег}} / 3600, \text{ м}^3/\text{ч.}$$

Предварительно определяем необходимую фильтровальную площадь:

$$F_{\phi} = (V_{\text{рег}} + V_{\Gamma}) / 60 \cdot q_{\phi}, \text{ м}^2.$$

Выбираем для установки фильтр марки ФРО из табл. 4.4 с поверхностью фильтрования F_{ϕ} , состоящий из N_c секций.

Таблица 4.4

Характеристика	ФРО-1250-1	ФРО-1650-1	ФРО-2500-1	ФРО-4100-1	ФРО-5100-2	ФРО-6000-2	ФРО-7000-2	ФРО-8000-2
Фильтрующая поверхность F_{ϕ} , м ²	1266	1688	2530	4104	5130	6156	7182	8208
Количество рукавов	252	336	504	432	540	648	756	864
Количество секций	6	8	12	8	10	12	14	16
Высота рукава, м	8	8	8	10	10	10	10	10
Диаметр рукава, мм	200	200	200	300	300	300	300	300
Габаритные размеры:								
длина L	5,1	6,6	9,6	12,6	15,6	18,6	21,6	24,6
ширина B	6,84	6,84	6,84	9,84	9,84	9,84	9,84	9,84
высота H	13,77	13,77	13,77	16,2	16,2	16,2	16,2	16,2
Масса, т	37,8	50,4	75,6	108,5	136	162,8	190	217

Площадь фильтрации F_p , отключаемая на регенерацию в течение 1 ч

$$F_p = F_{\phi} \cdot n_p \cdot \tau_{\text{рег}} / 3600, \text{ м}^2.$$

Уточненное количество воздуха, расходуемое на обратную продувку в течение 1 ч:

$$V_{\text{рег}} = F_{\phi} \cdot n_p \cdot \tau_{\text{рег}} \cdot \dot{\omega}_{\phi}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Окончательная площадь фильтрации

$$F_{\phi} = (V_{\text{рег}} + V_{\Gamma}) / 60 \cdot q_{\phi} + F_p.$$

Задание 5. Расчет песколовки-жироловки

Задание: определить расчетный расход сточных вод и геометрические размеры песколовки-жировки для очистки сточных вод предприятия.

Исходные данные: производственная мощность Π , т/смену; норма водоотведения на единицу продукции m , м³; часовой коэффициент $K_{\text{ч}}$; скорость движения воды V , м/с; средний диаметр частиц d , мкм; число рабочих часов в смену t , ч; рабочая глубина нефтеловушки H , м.

Варианты заданий

№ п/п	Π , т/смену	m , м ³	$K_{\text{ч}}$	t , ч	H , м	V , м/с	d , мкм
1	25	20,2	2,5	8	1,5	0,0030	100
2	30	24,8	2,0	8	1,5	0,0035	100
3	20	15,6	2,5	8	2,0	0,0032	95
4	25	25,4	2,0	7	2,0	0,0033	95
5	30	22,6	2,0	8	2,5	0,0030	90
6	35	18,6	2,2	7	3,0	0,0030	90
7	40	16,5	2,2	8	3,0	0,0025	85
8	18	16,8	2,5	7	2,5	0,0023	85
9	24	16,5	2,0	7	2,5	0,0022	80

Методические указания к расчету песколовки-жировки

Скорость осаждения примесей

$$U = \frac{d^2 \cdot (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{нп}}) \cdot g}{18\mu_{\text{ж}}}, \text{ м/с,}$$

где $\rho_{\text{ж}}$ и $\rho_{\text{нп}}$ – плотность воды и нефтепродуктов соответственно (принимают $\rho_{\text{ж}} = 1000 \text{ кг/м}^3$, $\rho_{\text{нп}} = 800 \text{ кг/м}^3$);

$\mu_{\text{ж}}$ – коэффициент динамической вязкости среды ($0,5 \cdot 10^{-3} \text{ Па}\cdot\text{с}$).

Длина нефтеловушки

$$L = \frac{VH}{K \cdot (U - W)}, \text{ м},$$

где K – поправочный коэффициент, учитывающий вихревые и струйные образования вследствие конструктивных особенностей (для горизонтальных отстойников принимают $K = 0,5$);

W – вертикальная составляющая скорости движения воды в нефтеловушке, м/с (принимают $W = 0,5V$).

Максимальный часовой расход сточных вод

$$Q = \frac{m \cdot \Pi \cdot K_{\text{ч}}}{t}, \text{ м}^3/\text{ч}.$$

Рабочая ширина нефтеловушки:

$$B = Q / VH \cdot 3600, \text{ м}.$$

ЛИТЕРАТУРА

1. Экология энергетики: учебное пособие / под ред. В.Я. Путилова. – М.: Издательство МЭИ, 2003. – 716 с.
2. Мельников, А.А. Проблемы окружающей среды и стратегия ее сохранения / А. А. Мельников – М.: Академический проект; Гаудеамус, 2009. – 720 с.
3. Стриха, И.И. Экологические аспекты энергетики: атмосферный воздух: учебное пособие / И.И. Стриха, Н.Б. Карницкий. – Минск: УП «Технопринт», 2001. – 304 с.
4. Панин, В.Д. Экология для инженера / В.Д. Панин, А.И. Сечин, В.Д. Федосова. – М.: Издательский дом «Ноосфера», 2001. – 284 с.
5. Зайцев, В.А. Промышленная экология / В.А. Зайцев. – М.: МХТИ, 2000. – 291 с.
6. Хван, Т.А. Промышленная экология / Т.А. Хван. – Ростов н/Д: Феникс, 2003. – 320 с.
7. Промышленная экология: основы инженерных расчетов / С.С. Фридланд [и др.]. – М.: КолосС, 2008. – 176 с.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
ОБЩИЕ УКАЗАНИЯ	3
МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ К РАЗДЕЛАМ ДИСЦИПЛИНЫ.....	3
ЭКОЛОГИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ....	4
1. Воздействие энергетических и теплотехнологических процессов на окружающую среду	4
2. Методы, средства и оборудование очистки газообразных отходов теплоэнергетических систем энергетического комплекса и снижения их вредного влияния на окружающую среду.....	5
3. Сооружения и аппараты очистки производственных сточных вод	6
4. Экономические аспекты экологических и природоохранных мероприятий	7
КОНТРОЛЬНЫЕ ЗАДАНИЯ.....	7
Задание 1. Расчет циклона	7
Задание 2. Расчет электрофильтра	11
Задание 3. Расчет скруббера Вентури.....	14
Задание 4. Расчет тканевого рукавного фильтра с регенерацией (обратной продувкой)	19
Задание 5. Расчет песколовки-жироловки.....	24
ЛИТЕРАТУРА	27

Учебное издание

ЭКОЛОГИЯ
ПРОМЫШЛЕННЫХ
ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЙ

Методические указания
и контрольные задания
для студентов специальности
1-43 01 05 «Промышленная теплоэнергетика»

В 3 частях

Часть 1

ОСНОВЫ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

Составители:
СЕДНИН Владимир Александрович
КРАЕЦКАЯ Оксана Фоминична

Редактор М.С. Гарашук
Компьютерная верстка Д.А. Исаева

Подписано в печать 04.11.2011.
Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.
Отпечатано на ризографе. Гарнитура Таймс.
Усл. печ. л. 1,68. Уч.-изд. л. 1,3. Тираж 100. Заказ 707.

Издатель и полиграфическое исполнение:
Белорусский национальный технический университет.
ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009.
Проспект Независимости, 65. 220013, Минск.