

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ
ФЕДЕРАЦИИ
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО
ОБРАЗОВАНИЯ «СЕВЕРО-КАВКАЗСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Методические указания
по выполнению лабораторных работ
по дисциплине **«Современные методы защиты биосферы»**
для студентов направления подготовки
20.04.01 Техносферная безопасность
направленность (профиль) — Промышленная и пожарная безопасность
Учебный план 2026 года

Введение

Учебное пособие (лабораторный практикум) составлен в соответствии с образовательной программой по направлению 20.04.01 «Техносферная безопасность», учебным планом и программой дисциплины «Современные методы защиты биосферы».

Дисциплина «Современные методы защиты биосферы» ознакомлению с особенностями загрязнения биосферы различными источниками, трансформации данных загрязнений в природных средах, системах и способах защиты, а также формированию экологической культуры личности, такого отношения к природе, которое обеспечило бы осознанное овладение знаниями и навыками, необходимыми для решения существующих экологических проблем и предупреждения новых. Задачами дисциплины является обеспечение студентов, теоретическими и практическими навыками, необходимыми для:

1. Совершенствования механизмов взаимодействия общества и окружающей среды, проектирования и изготовления новой техники, внедрения новых технологических процессов в соответствии с требованиями экологической безопасности;

2. Принятия экологически грамотных решений в условиях производства, прогнозирования и оценки своей профессиональной деятельности с точки зрения охраны и защиты окружающей среды.

3. Проведения инженерно-экологического анализа между параметрами технологических процессов и изменениями в окружающей человека среде; знаний экономических и правовых механизмов защиты окружающей среды..

Практические занятия являются необходимым структурным элементом курса дисциплины «Современные методы защиты биосферы» и предназначены для укрепления, углубления полученных теоретических знаний и приобретения практических навыков расчета и выбора мероприятий по защите окружающей природной среды.

В пособии изложен теоретический материал, необходимый для выполнения заданий, и конкретные рекомендации по выполнению практических занятий. При подготовке к практическому занятию студенты должны изучить лекционный материал по теме лабораторной работы, ответить на теоретические вопросы преподавателя и выполнить задания.

Выполнение практических занятий по дисциплине позволит сформировать у студентов владение способностью оптимизировать методы и способы минимизации негативного антропогенного воздействия на окружающую среду и овладеть навыками расчета и выбора средств защиты.

Лабораторная работа 1

Исследование методов и аппаратов пылеулавливания

Цель работы: получение знаний об особенностях применения и расчета пылеосадочной камеры.

Теоретическое обоснование

Для обезвреживания аэрозолей (пылей и туманов) используют сухие, мокрые и электрические методы. В основе сухих методов лежат гравитационные, инерционные, центробежные механизмы осаждения или фильтрационные механизмы. При использовании мокрых методов очистка газовых выбросов осуществляется путем тесного взаимодействия между жидкостью и запыленным газом на поверхности газовых пузырей, капель или жидкой пленки. Электрическая очистка газов основана на ионизации молекул газа электрическим разрядом и электризации взвешенных в газе частиц.

В устройстве для очистки аэрозольных выбросов, наряду с основным механизмом улавливания, обычно используются и другие закономерности. Благодаря этому общая и фракционная эффективность аппарата достигает более высокого уровня.

Гравитационное осаждение. Частицы аэрозолей осаждаются из потока загрязненного воздуха под действием силы тяжести. Для этого необходимо создать соответствующий режим движения загрязненного воздуха в аппарате с учетом размера частиц, их плотности и т. д.

Инерционное осаждение. Инерционное осаждение основано на том, что частицы аэрозолей и взвешивающая среда ввиду значительной разности плотностей обладают различной инерцией. Аэрозольные частицы, двигаясь по инерции, отделяются от газовой среды

Осаждение под действием центробежной силы. Происходит при криволинейном движении загрязненного воздушно-газового потока. Под

действием возникающих центробежных сил аэрозольные частицы отбрасываются на периферию аппарата и осаждаются.

Эффект зацепления. Частицы аэрозолей, взвешенные в воздушной (газовой) среде, задерживаются в узких извилистых каналах и порах при прохождении воздушно-газового потока через фильтровальные материалы.

Мокрая очистка. Смачивание поверхности элементов аппаратов водой или другой жидкостью способствует задержанию аэрозольных частиц на данной поверхности.

Осаждение в электрическом поле. Проходя электрическое поле, частицы аэрозолей получают заряд. Двигаясь к электродам противоположного знака, они осаждаются на них.

В практике улавливания аэрозольных частиц находят применение и другие методы: укрупнение частиц в акустическом поле, термофорез, фотофорез, воздействие магнитного поля, биологическая очистка.

Пылеулавливающее оборудование при всем его многообразии может быть классифицировано по ряду признаков: по назначению, по основному способу действия, по эффективности, по конструктивным особенностям.

Аппараты очистки в зависимости от размеров улавливаемых частиц и эффективности их улавливания разделены на пять классов (табл. 1).

Таблица 1 Классификация пылеуловителей

Класс аппарата	Размеры эффективно улавливаемых частиц, мкм	Эффективность по массе пыли, при группе дисперсности пыли				
		I	II	III	IV	V
I	более 0,3-0,5	-	-	-	99,9-80	<80
II	Более 2	-	-	99,9-92	92-45	-
III	Более 4	-	99,9-99	99-80	-	-
IV	Более 8	>99,9	99-95	-	-	
V	Более 20	>99	-	-	-	

Примечание. Пределы эффективности соответствуют границам зон классификации групп пылей.

Пылеулавливающее оборудование по принципу действия подразделяется на группы, по конструктивным особенностям на виды и действует по сухому (табл. 2.) и мокрому (табл. 3.) способу.

Таблица 2 - Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли сухим способом

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		Воздушных фильтров	Пылеуловителей
Гравитационное	Полое	-	+
	Полочное	-	+
Инерционное	Камерное	-	+
	Жалюзийное	-	+
	Циклонное	-	+
	Ротационное	-	+
Фильтрационное	Тканевое	-	+
	Волокнистое	+	-
	Зернистое	-	+
	Сетчатое	+	-
	Губчатое	+	-
Электрическое	Однозонное	-	+
	Двухзонное	+	+

Таблица 3 - Группы и виды пылеулавливающего оборудования для улавливания пыли мокрым способом

Группа оборудования	Вид оборудования	Область применения	
		воздушных фильтров	пылеуловителей
Инерционное	Циклонное	-	+
	Ротационное	-	+
	Скрубберное	-	+
	Ударное	-	+
Фильтрационное	Сетчатое	+	-
	Пенное	-	+
Электрическое	Однозонное	-	+
	Двухзонное	+	+
Биологическое	Биофильтр	-	+

Примечание. Знак «+» означает применение; знак «-» означает неприменение.

В основе оригинальной концепции классификации сепараторов взвешенных частиц, которая была предложена А.И. Пирумовым, лежит принцип разделения пылеуловителей на классы по размерам эффективно улавливаемых

частиц (табл. 4). Такая классификация оказывает существенную помощь при выборе средств пылеулавливания.

Таблица 4 - Классификация пылеуловителей по размерам эффективно улавливаемых частиц

Класс сепаратора	I		II		III		IV		V
Минимальный размер эффективно улавливаемых частиц, мкм	0,3		2		4		8		20
Группа пыли по дисперсности	V	IV	IV	III	III	II	II	I	I
Медианный диаметр частиц, мкм	менее 1	1...10	1...10	10...40	10...40	40... 120	40.. 120	более 120	более 120
Максимальная степень очистки, %	80	80...99	45...92	92...99	80...99	99...99,9	95...99,9	более 99,9	более 99

*Примечание. Группа пыли и соответствующий ей размер частиц, которые могут быть уловлены с максимальной степенью очистки в данном классе сепаратора.

В табл.5 приведены характеристики различных пылеуловителей. Эти сведения значительно облегчают выбор подходящего оборудования для систем очистки воздушно-газовых выбросов от взвешенных частиц.

Таблица 5 - Структурные характеристики различных систем пылеулавливания

Показатели	Пылеуловители					Фильтры	
	гравитационные	Центробежные		Мокрые			
		низконапорные	средненапорные	низконапорные	высоконапорные	тканевые	электрические
1	2	3	4	5	6	7	8
Гидравлическое сопротивление	до 100	100300	750-1250	750-1500	5000-12500	750-1500	100-400
Характерный параметр	m_1	ω		S_{tk}		При $d_1. < 0,3\text{мм}$ D ; при $d_T > 0,3\text{мм}$ Stk	K_E
Зависимость эффективности улавливания: от размера частиц	$f(d^2 C_{\kappa})$					При $d_T < 0,3\text{мм}$ $f(c_j d_T)$; при $> 0,3\text{мм}$ $f(d_{11} C_{\kappa})$	$f(d_T C_{\kappa})$

от темпера- туры	практи- чески не являет- ся	$f(C_{\kappa} / \mu_z)$			практически не является		При $d_{\tau} < 0,3 \text{ мм}$ $f(C_{\kappa} T_z / \mu_z)$; при $d_{\tau} > 0,3 \text{ мм}$ $f(C_{\kappa} / \mu_z)$	$f(C_{\kappa} / \mu_z)$
от концен- трации	не являет- ся	<i>Определя- ется диа- метром аппарата и свойствами пыли</i>			Определяется системой во- доснабжения и возможными затратами энергии		определяется типом фильтра (обычно не более 20 г/м³)	Предельная $c = \frac{n_{\text{н}} e \rho_{\tau} d_{\tau}}{12 \varepsilon_0 E}$
от влажности	не является			Способствует росту эф- фективности		не является	Способствует росту эффективности	
Ориентиро- вочный ми- нимальный размер частиц, улавливаемых с высокой эффектив- ностью, мкм	5040	4030	25-8	5-2	1-0,1	0,1	1,0-0,25	
Максимально допустимая температура газа, °С	Определяется материалом, из которого изготовлен аппарат					Определяется материалом фильтрующей перегородки (<220-250)	Определяется составом газа и свойствами пыли	
1	2	3	4	5	6	7	8	
Нижняя предельная температура газа	Выше точки росы			Любая		Выше точки росы		
Стойкость к коррозии	Достаточно стойки			При наличии в газах кислот, щело- чей требуется антикор- розионная защита		Стойки при температуре, превышающей точку росы.		
Взрыво- и огнеопасность	Незначительная			Минимальная		Большая		
Ориентиро- вочная стоимость очистки по отношению к		1,01,5	2,03,0	2,5		3,0-7,5	5,0-15,0	

низкона- порным ци- клонам						
----------------------------------	--	--	--	--	--	--

Обозначения: m_t, d_t - масса, диаметр частицы; ω - центробежный фактор осаждения;

$$Stk = d_t^2 \rho_t v_z / (18 \mu_z)$$

- критерий Стоккса

D- коэффициент диффузии;

K_E - коэффициент напряженности;

c- концентрация пыли; ,

μ_z, v_z, ρ_z - абсолютная температура, динамическая вязкость, скорость, плотность газа;
- концентрация ионов в 1 м3;

n_u - диэлектрическая постоянная;

ϵ – диэлектрическая постоянная

E - напряженность электрического поля.;

.

Простейшим сепаратором твердых взвешенных частиц является пылеосадительная камера, в которой запыленный газовый поток перемещается с малой скоростью, делающей возможным гравитационное осаждение (седиментацию) транспортируемой взвеси.

Для достижения приемлемой эффективности очистки газов данными устройствами необходимо, чтобы частицы находились в пылеосадительных аппаратах возможно более продолжительное время, а скорость движения пылевого потока была незначительной. Поэтому данное оборудование относится к категории экстенсивного оборудования, рабочие объемы таких аппаратов весьма значительны, что требует больших производственных площадей. Однако пылеосадительные камеры и пылевые мешки обладают очень незначительным гидравлическим сопротивлением (50...300 Па).

На рис. 1 представлены наиболее распространенные конструкции пылеосадительных камер и пылевых «мешков».

Для равномерного газораспределения по сечению пылеосадительные камеры могут снабжаться диффузорами и газораспределительными решетками, а для снижения высоты осаждения частиц - горизонтальными или наклонными полками. Эффективность улавливания частиц с помощью гравитационного осаждения можно повысить, уменьшая требуемый путь их падения.

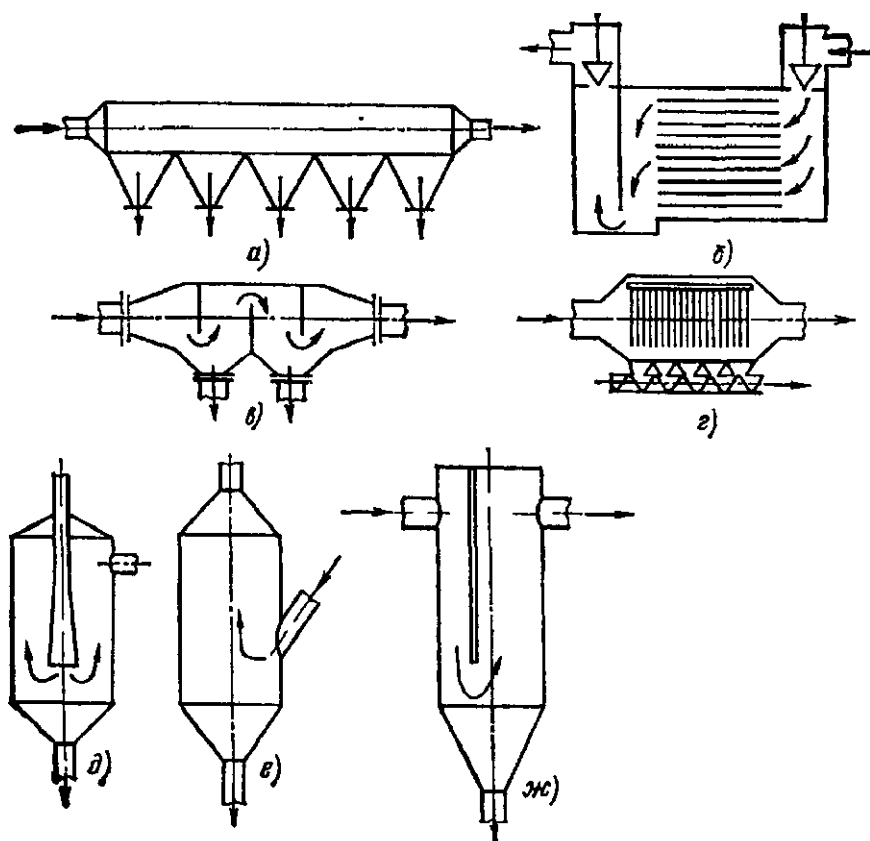


Рис. 1. Пылеосадительные камеры и простейшие пылеосадители инерционного действия: а - простейшая пылеосадительная камера; б - многополочная камера; в - камера с перегородками; г - камера с цепными или проволочными завесами; д - пылевой «мешок» с центральным подводом газа; е - пылевой «мешок» с боковым подводом газа; ж - пылеосадитель с отражательной перегородкой

Конструирование осадительных камер основано на подсчете сил, действующих на частицу, и скорости вертикального движения вниз под действием результирующей силы.

Целью расчета пылеосадительных камер является подбор их габаритных размеров и определение коэффициента очистки. В общем случае коэффициенты очистки могут быть найдены опытным путем, так как процесс седиментации сопровождается турбулентной диффузией. Особенно заметно влияет турбулентность на ухудшение оседания частиц в камерах с рассекателями, а также в полых осадительных емкостях большой высоты

Расчеты пылеосадительных камер выполняют в следующем порядке.

1. Определяют скорость газового потока в рабочем сечении камеры:

$$v = \frac{V}{H \cdot B}, \quad (1)$$

где V - расход газов, м³/с; H, B - высота и ширина камеры, м.

Чем меньше скорость потока, тем больше степень очистки, но и более громоздкой получится камера. Желательно, чтобы скорость потока не превышала 0,8...1 м/с, однако для компактных частиц большой плотности ее можно доводить до 2...3 м/с.

2. Принимают по конструктивным соображениям соотношение длины и высоты камер L/H . Для конструкций $L/H < 3$ данная методика расчета не дает необходимой точности.

3. Принимают, что отношение скорости витания частиц w_{oc} , которые будут уловлены в камере на 50 %, к скорости газового потока приблизительно соответствует полутора значениям $(w_{oc}/v)_{50} \approx 1,5 \cdot H/L$ и находят из этого соотношения величину w_{oc} .

4. Диаметр частиц, оседающих в камере на 50 %, находят в предположении, что оседание происходит в соответствии с законом Стокса по формуле:

$$d_{50} = \sqrt{\frac{18 \cdot \mu \cdot w_{oc}}{g(\rho_{\text{ч}} - \rho_{\text{г}})}}, \text{ м.} \quad (2)$$

Для нагретых газов может быть использована формула

$$d_{50} = 1,614 \cdot 10^{-3} (273 + t)^{0,75} \left[\frac{w_{oc}}{\rho_{\text{ч}} (384 + t)} \right]^{0,5} \text{ м.} \quad (3)$$

5. Выбирают несколько соотношений w_{oc}/v , больших и меньших принятого и определяют соответствующие значения $d_{\text{ч}}$.

6. Определяют среднюю концентрацию частиц на выходе из камеры для каждого принятого соотношения w_{oc}/v , или, что то же самое, для каждого принятого значения d_{xj} следующим образом:

- а) назначают "k" точек по высоте сечения, задаваясь величиной h/H , где h - расстояние от потолка камеры до рассматриваемой точки;
- б) рассчитывают так называемые параметры очистки x_1 и x_2 (параметры функции парциального распределения $\Phi(x)$) по формулам:

$$x_1 = \frac{1 + \frac{h}{H} - \frac{L}{H} \cdot \frac{w_{oc}}{v}}{\sqrt{7 \cdot 10^{-3} \frac{L}{H}}};$$

$$x_2 = \frac{1 - \frac{h}{H} + \frac{L}{H} \cdot \frac{w_{oc}}{v}}{\sqrt{7 \cdot 10^{-3} \frac{L}{H}}};$$

Таблица 6 - Значения нормальной функции распределения

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
1	2	3	4	5	6	7	8
- 2,70	0,0035	- 1,06	0,1446	0,00	0.5000	1,08	0,8599
- 2,60	0,0047	- 1,04	0,1492	0,02	0,5080	1,10	0,8643
- 2,50	0,0062	- 1,02	0,1539	0,04	0,5160	1,12	0,8686
- 2,40	0,0082	- 1,00	0,1587	0,06	0,5239	1,14	0,8729
- 2,30	0,0107	- 0,98	0,1635	0,08	0,5319	1,16	0,8770
- 2,20	0,0139	- 0,96	0,1685	0,10	0,5398	1,18	0,8810
- 2,10	0,0179	- 0,94	0,1736	0,12	0,5478	1,20	0,8849
- 2,00	0,0228	- 0,92	0,1788	0,14	0,5557	1,22	0,8888
- 1,98	0,0239	- 0,90	0,1841	0,16	0,5636	1,24	0,8925
- 1,96	0,0250	- 0,88	0,1894	0,18	0,5714	1,26	0,8962
- 1,94	0,0262	- 0,86	0,1949	0,20	0,5793	1,28	0,8997
- 1,92	0,0274	- 0,84	0,2005	0,22	0,5871	1,30	0,9032
- 1,90	0,288	- 0,82	0,2061	0,24	0,5948	1,32	0,9066
- 1,88	0,0301	- 0,80	0,2119	0,26	0,6026	1,34	0,9099
- 1,86	0,0314	- 0,78	0,2177	0,28	0,6103	1,36	0,9131
- 1,84	0,0329	- 0,76	0,2236	0,30	0,6179	1,38	0,9162
- 1,82	0,0344	- 0,74	0,2297	0,32	0,6255	1,40	0,9192
- 1,80	0,0359	- 0,72	0,2358	0,34	0,6331	1,42	0,9222
- 1,78	0,0375	- 0,70	0,2420	0,36	0,6406	1,44	0,9251
- 1,76	0,0392	- 0,68	0,2483	0,38	0,6480	1,46	0,9279

- 1,74	0,0409	- 0,66	0,2546	0,40	0,6554	1,48	0,9306
- 1,72	0,0427	- 0,64	0,2611	0,42	0,6628	1,50	0,9332
- 1,70	0,0446	- 0,62	0,2676	0,44	0,6700	1,52	0,9357
- 1,68	0,0465	- 0,60	0,2743	0,46	0,6772	1,54	0,9382
- 1,66	0,0485	- 0,58	0,2810	0,48	0,6844	1,56	0,9406
- 1,64	0,0505	- 0,56	0,2877	0,50	0,6915	1,58	0,9429
- 1,62	0,0526	- 0,54	0,2946	0,52	0,6985	1,60	0,9452
- 1,60	0,0548	- 0,52	0,3015	0,54	0,7054	1,62	0,9474
- 1,58	0,0571	- 0,50	0,3085	0,56	0,7123	1,64	0,9495
- 1,56	0,0594	- 0,48	0,3156	0,58	0,7190	1,66	0,9515
- 1,54	0,0618	- 0,46	0,3228	0,60	0,7257	1,68	0,9535
- 1,52	0,0643	- 0,44	0,3300	0,62	0,7324	1,70	0,9554
- 1,50	0,0668	- 0,42	0,3372	0,64	0,7389	1,72	0,9573
- 1,48	0,0694	- 0,40	0,3446	0,66	0,7454	1,74	0,9591
- 1,46	0,0721	- 0,38	0,3520	0,68	0,7517	1,76	0,9608
- 1,44	0,0749	- 0,36	0,3594	0,70	0,7580	1,78	0,9625
- 1,42	0,0778	- 0,34	0,3669	0,72	0,7642	1,80	0,9641
- 1,40	0,0808	- 0,32	0,3745	0,74	0,7703	1,82	0,9656
- 1,38	0,0838	- 0,30	0,3821	0,76	0,7764	1,84	0,9671
- 1,36	0,0869	- 0,28	0,3897	0,78	0,7823	1,86	0,9686
- 1,34	0,0901	- 0,26	0,3974	0,80	0,7881	1,88	0,9699
- 1,32	0,0934	- 0,24	0,4052	0,82	0,7939	1,90	0,9713
- 1,30	0,0968	- 0,22	0,4129	0,84	0,7995	1,92	0,9726
- 1,28	0,1003	- 0,20	0,4207	0,86	0,8051	1,94	0,9738
- 1,26	0,1038	- 0,18	0,4286	0,88	0,8106	1,96	0,9750
- 1,24	0,1075	- 0,16	0,4364	0,90	0,8159	1,98	0,9761
- 1,22	0,1112	- 0,14	0,4443	0,92	0,8212	2,00	0,9772
- 1,20	0,1151	- 0,12	0,4522	0,94	0,8264	2,10	0,9821
- 1,18	0,1190	- 0,10	0,4602	0,96	0,8315	2,20	0,9861
- 1,16	0,1230	- 0,08	0,4681	0,98	0,8365	2,30	0,9893
- 1,14	0,1271	- 0,06	0,4761	1,00	0,8413	2,40	0,9918
- 1,12	0,1314	- 0,04	0,4840	1,02	0,8461	2,50	0,9938
- 1,10	0,1357	- 0,02	0,4920	1,04	0,8508	2,60	0,9953
- 1,08	0,1401	- 0,00	0,5000	1,06	0,8554	2,70	0,9965

в) по значениям x_1 и x_2 из таблицы 6 находят интегралы вероятностей

$\Phi(x_1)$ и $\Phi(x_2)$ и подсчитывают значение N

$$N_i = \Phi(x_1) + \Phi(x_2) - 100, \quad (5)$$

г) усредняют значение N по сечению, вычисляя его как среднее арифметическое по высоте сечения:

$$N_{\text{ср}} = \sum_{i=1}^k \frac{N_i}{k} \quad (6)$$

д) определяют средний парциальный коэффициент осаждения частиц рассматриваемого размера (с принятой скоростью осаждения-витания):

(7)

7. Находят полный коэффициент очистки n как сумму произведений долей частиц соответствующих фракций на их фракционные (парциальные) коэффициенты очистки по формуле

$$\varepsilon = \sum \varepsilon_n \frac{N_{ex}}{100} \Delta d_n \quad (8)$$

Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы студентам необходимо иметь при себе тетрадь, ручку, калькулятор для выполнения расчетов.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдение требований инструкции при работе в лаборатории.

$$\varepsilon_{n,sp} = 100 - N_{sp}.$$

Методика и порядок выполнения работы

1. Сделать конспект теоретической части работы;
2. Ознакомьтесь с теоретической частью работы;
3. **Решите задачу.** Определить эффективность осаждения частиц в пылеосадительной камере, если она имеет длину L , м, высоту H , м, ширину B , м. Расход воздуха через камеру $V = 3600$ м³/ч, плотность частиц ρ_{ch} , кг/м³, вязкость газа μ , Пас выбрать по варианту.

Таблица 7 – Варианты исходных данных

Вариант	Исходные параметры				
	L , м	H , м	B , м	$\rho_{\text{ч}}$, кг/м ³	μ , Пас
1	10	0,8	2	500	$8 \cdot 10^{-6}$
2	8	1	1,8	700	$8,5 \cdot 10^{-6}$
3	7	1,2	2,5	1000	$9 \cdot 10^{-6}$
4	12	1,5	2,4	500	$7 \cdot 10^{-6}$
5	11	0,9	2,1	700	$8 \cdot 10^{-6}$
6	6,5	1,1	2,2	1000	$8,5 \cdot 10^{-6}$
7	9	0,7	1,9	500	$9 \cdot 10^{-6}$
8	6	0,9	1,8	700	$7 \cdot 10^{-6}$
9	9,5	0,9	2,1	1000	$8 \cdot 10^{-6}$
10	8	1,1	2,2	500	$8,5 \cdot 10^{-6}$
11	9	1,2	2,3	700	$9 \cdot 10^{-6}$
12	7	0,8	2,4	1000	$7 \cdot 10^{-6}$
13	10	1,2	2,0	500	$8 \cdot 10^{-6}$

Содержание отчета и его форма

1. Тема работы;
2. Цель и содержание
3. Расчетные формулы, заполненные таблицы, выполненные задания
4. Вывод

Лабораторная работа 2

Оценка характеристик циклонов

Цель работы: получение знаний об особенностях применения и выбора оптимальных параметров циклонов.

Теоретическое обоснование

При проектировании циклона выбирают его геометрию, затем определяют размер, фракционную эффективность, перепад давления и потребляемую для каждого циклона мощность. Эти расчеты основываются на заданных скорости потока газа, составе, температуре, давлении, концентрации пыли, а также на данных о дисперсном составе пыли. Эти данные необходимы, чтобы сформулировать требования к устройству для вторичного улавливания пыли, если таковое предполагается использовать. Циклоны обычно выбирают из числа серийных, исходя из производительности по газовому потоку.

Для расчета циклонов необходимы следующие данные:

- расход газа (воздуха), подлежащего очистке при рабочих условиях, V_p , м³/с;

- плотность газа при рабочих условиях ρ_r , кг/м³;

- динамическая вязкость газа при рабочей температуре μ_r , Па·с;

- дисперсный состав пыли, который задается двумя параметрами: d_m и $\lg \sigma_{\chi}$;

d_m - такой размер пыли, при котором количество частиц крупнее d_m равно количеству частиц мельче d_m ;

$\lg \sigma_{\chi}$ - среднее квадратическое отклонение в функции распределения частиц по размерам;

- запыленность газа $C_{\text{вх}}$, г/м³;
- плотность частиц пыли $\rho_{\text{ч}}$, кг/м³;
- требуемая эффективность очистки газа ε , %.

Расчет циклонов выполняют в такой последовательности:

1. Задаются типом циклона. По табл. 1 определяют оптимальную скорость газа в аппарате $v_{\text{опт}}$.

Таблица 1 - Параметры, определяющие эффективность циклонов

Параметры	ЦН-24	ЦН-15у	ЦН-15	ЦН-11	СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34М	СК-ЦН-34	СИОТ	ВЦНИИОТ
d_{50}^T , мкм	8,50	6,00	4,50	3,65	2,31	1,95	1,13	2,6	8,6
$\lg \sigma_{\text{ч}}^T$	0,308	0,283	0,352	0,352	0,364	0,308	0,340	0,28	0,32
$v_{\text{опт}}$, м/с	4,5	3,5	3,5	3,5	2,0	11,7	2,0	1,00	4,00

Примечания: 1. Значения d_{50}^T в таблице, соответствуют следующим условиям работы циклонов: средняя скорость газа в циклоне $v = 3,5$ м/с; диаметр циклона $D = 0,6$ м; плотность частиц $\rho_{\text{ч}} = 1930$ кг/м³; динамическая вязкость газа $\mu_{\text{г}} = 22,2 \cdot 10^{-6}$ Па·с.

2. Определяют необходимую площадь сечения циклона, м²:

$$F = \frac{V_p}{v_{\text{опт}}} \quad (1)$$

3. Определяют диаметр циклона, м, задаваясь количеством циклонов N :

$$D_{\text{ц}} = \sqrt{\frac{F}{0,785 \cdot N}} \quad (2)$$

Диаметр циклона округляют до стандартной величины.

4. Вычисляют действительную скорость газа в циклоне

$$v = \frac{V_p}{0,785 \cdot D_{\text{ц}}^2 \cdot N} \quad (3)$$

Скорость газа в циклоне не должна отклоняться от оптимальной более чем на 15 %.

5. Принимают по табл. 2. коэффициент гидравлического сопротивления для данного циклона. Для циклонов НИИОГаз вносят поправки по табл. 2-4.

6. Определяют потери давления в циклоне, Па, по формуле

$$\Delta P = \zeta \frac{\rho_z v^2}{2} \quad (4)$$

Если потери ΔP приемлемы, переходят к определению эффективности очистки газа в циклоне.

Таблица 2 - Коэффициенты гидравлического сопротивления циклонов.

Тип цикло- на	Диаметр, мм	Без улитки		С улиткой на выхлопной трубе	
		$\zeta_{\text{ц}}$	ζ_0	$\zeta_{\text{ц}}$	ζ_0
ЦН-11	450	6,1	250	5,2	210
ЦН-15	450	7,6	160	6,7	140
ЦН-15у	450	8,2	170	7,5	100
ЦН-24	450	10,9	80	12,5	90
СИОТ		6,0	-	4,2	-
ВЦНИИОТ	370	9,3	-	10,4	-
ЛИОТ	700	4,2	460	3,7	411
ЦКК		5,2	-	-	-
РЦ		5,0	-	-	-
ЦБР		9,6	-	-	-

Таблица 3 - Поправочный коэффициент K_1 на диаметр циклона

Диаметр циклона, мм	ЦН-11	ЦН-15; ЦН-15у; ЦН-24	СДК-ЦН-33; СК-ЦН-34; СК-ЦН-34М
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

Таблица 4 – Поправочный коэффициент K_2 на запыленность ($D = 500$ мм)

Тип циклона	Поправочный коэффициент K_2 , при запыленности г/м ³						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,5
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15у	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
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	-	-	-

7. Приняв по табл. 1. значения d_{50}^T и $\lg \sigma_{\text{ч}}^T$ для табличных условий, определяют значения d_{50} при рабочих условиях (диаметре циклона, скорости потока, плотности пыли, динамической вязкости газа) по уравнению

$$d_{50} = d_{50}^m \left(\frac{D}{D_m} \cdot \frac{\rho_{\text{ч.м}}}{\rho_{\text{ч}}} \cdot \frac{\mu}{\mu_m} \cdot \frac{v_m}{v} \right)^{1/2} \quad (5)$$

8. Определяют параметр x по формуле

$$x = \frac{\lg \frac{d_m}{d_{50}}}{\lg^2 \sigma_m + \lg^2 \sigma} \quad (6)$$

$$\text{где } \zeta_{\text{ц}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{0\text{табл}} + K_3, \quad (6.1)$$

9. По табл. 5. определяют значение $\Phi(x)$, которое представляет собой эффективность очистки газа, выраженную в долях единицы. Полученное значение сравнивают с требуемым. Если оно меньше требуемого, принимают другой циклон и рассчитывают его.

Таблица 5 - Значения нормальной функции распределения

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
1	2	3	4	5	6	7	8
- 2,70	0,0035	- 1,06	0,1446	0,00	0,5000	1,08	0,8599
- 2,60	0,0047	- 1,04	0,1492	0,02	0,5080	1,10	0,8643
- 2,50	0,0062	- 1,02	0,1539	0,04	0,5160	1,12	0,8686
- 2,40	0,0082	- 1,00	0,1587	0,06	0,5239	1,14	0,8729

- 2,30	0,0107	- 0,98	0,1635	0,08	0,5319	1,16	0,8770
- 2,20	0,0139	- 0,96	0,1685	0,10	0,5398	1,18	0,8810
- 2,10	0,0179	- 0,94	0,1736	0,12	0,5478	1,20	0,8849
- 2,00	0,0228	- 0,92	0,1788	0,14	0,5557	1,22	0,8888
- 1,98	0,0239	- 0,90	0,1841	0,16	0,5636	1,24	0,8925
- 1,96	0,0250	- 0,88	0,1894	0,18	0,5714	1,26	0,8962
- 1,94	0,0262	- 0,86	0,1949	0,20	0,5793	1,28	0,8997
- 1,92	0,0274	- 0,84	0,2005	0,22	0,5871	1,30	0,9032
- 1,90	0,288	- 0,82	0,2061	0,24	0,5948	1,32	0,9066
- 1,88	0,0301	- 0,80	0,2119	0,26	0,6026	1,34	0,9099
- 1,86	0,0314	- 0,78	0,2177	0,28	0,6103	1,36	0,9131
- 1,84	0,0329	- 0,76	0,2236	0,30	0,6179	1,38	0,9162
- 1,82	0,0344	- 0,74	0,2297	0,32	0,6255	1,40	0,9192
- 1,80	0,0359	- 0,72	0,2358	0,34	0,6331	1,42	0,9222
- 1,78	0,0375	- 0,70	0,2420	0,36	0,6406	1,44	0,9251
- 1,76	0,0392	- 0,68	0,2483	0,38	0,6480	1,46	0,9279
- 1,74	0,0409	- 0,66	0,2546	0,40	0,6554	1,48	0,9306
- 1,72	0,0427	- 0,64	0,2611	0,42	0,6628	1,50	0,9332
- 1,70	0,0446	- 0,62	0,2676	0,44	0,6700	1,52	0,9357
- 1,68	0,0465	- 0,60	0,2743	0,46	0,6772	1,54	0,9382
- 1,66	0,0485	- 0,58	0,2810	0,48	0,6844	1,56	0,9406
- 1,64	0,0505	- 0,56	0,2877	0,50	0,6915	1,58	0,9429
- 1,62	0,0526	- 0,54	0,2946	0,52	0,6985	1,60	0,9452
- 1,60	0,0548	- 0,52	0,3015	0,54	0,7054	1,62	0,9474
- 1,58	0,0571	- 0,50	0,3085	0,56	0,7123	1,64	0,9495
- 1,56	0,0594	- 0,48	0,3156	0,58	0,7190	1,66	0,9515
- 1,54	0,0618	- 0,46	0,3228	0,60	0,7257	1,68	0,9535
- 1,52	0,0643	- 0,44	0,3300	0,62	0,7324	1,70	0,9554
- 1,50	0,0668	- 0,42	0,3372	0,64	0,7389	1,72	0,9573
- 1,48	0,0694	- 0,40	0,3446	0,66	0,7454	1,74	0,9591
- 1,46	0,0721	- 0,38	0,3520	0,68	0,7517	1,76	0,9608
- 1,44	0,0749	- 0,36	0,3594	0,70	0,7580	1,78	0,9625
- 1,42	0,0778	- 0,34	0,3669	0,72	0,7642	1,80	0,9641
- 1,40	0,0808	- 0,32	0,3745	0,74	0,7703	1,82	0,9656
- 1,38	0,0838	- 0,30	0,3821	0,76	0,7764	1,84	0,9671
- 1,36	0,0869	- 0,28	0,3897	0,78	0,7823	1,86	0,9686
- 1,34	0,0901	- 0,26	0,3974	0,80	0,7881	1,88	0,9699
-1,32	0,0934	- 0,24	0,4052	0,82	0,7939	1,90	0,9713
- 1,30	0,0968	- 0,22	0,4129	0,84	0,7995	1,92	0,9726
- 1,28	0,1003	- 0,20	0,4207	0,86	0,8051	1,94	0,9738
- 1,26	0,1038	- 0,18	0,4286	0,88	0,8106	1,96	0,9750
- 1,24	0,1075	- 0,16	0,4364	0,90	0,8159	1,98	0,9761
- 1,22	0,1112	- 0,14	0,4443	0,92	0,8212	2,00	0,9772
- 1,20	0,1151	-0,12	0,4522	0,94	0,8264	2,10	0,9821
- 1,18	0,1190	- 0,10	0,4602	0,96	0,8315	2,20	0,9861
- 1,16	0,1230	- 0,08	0,4681	0,98	0,8365	2,30	0,9893
- 1,14	0,1271	- 0,06	0,4761	1,00	0,8413	2,40	0,9918
- 1,12	0,1314	- 0,04	0,4840	1,02	0,8461	2,50	0,9938
- 1,10	0,1357	- 0,02	0,4920	1,04	0,8508	2,60	0,9953
- 1,08	0,1401	- 0,00	0,5000	1,06	0,8554	2,70	0,9965

Приближенное определение эффективности улавливания пыли в циклоне может быть выполнено с помощью номограммы, рис. 1., с учетом типа циклона, его диаметра, гидравлического сопротивления, среднего медианного размера пыли, ее плотности, температуры среды.

Пользование номограммой (рис. 1.) показано на примере 1.

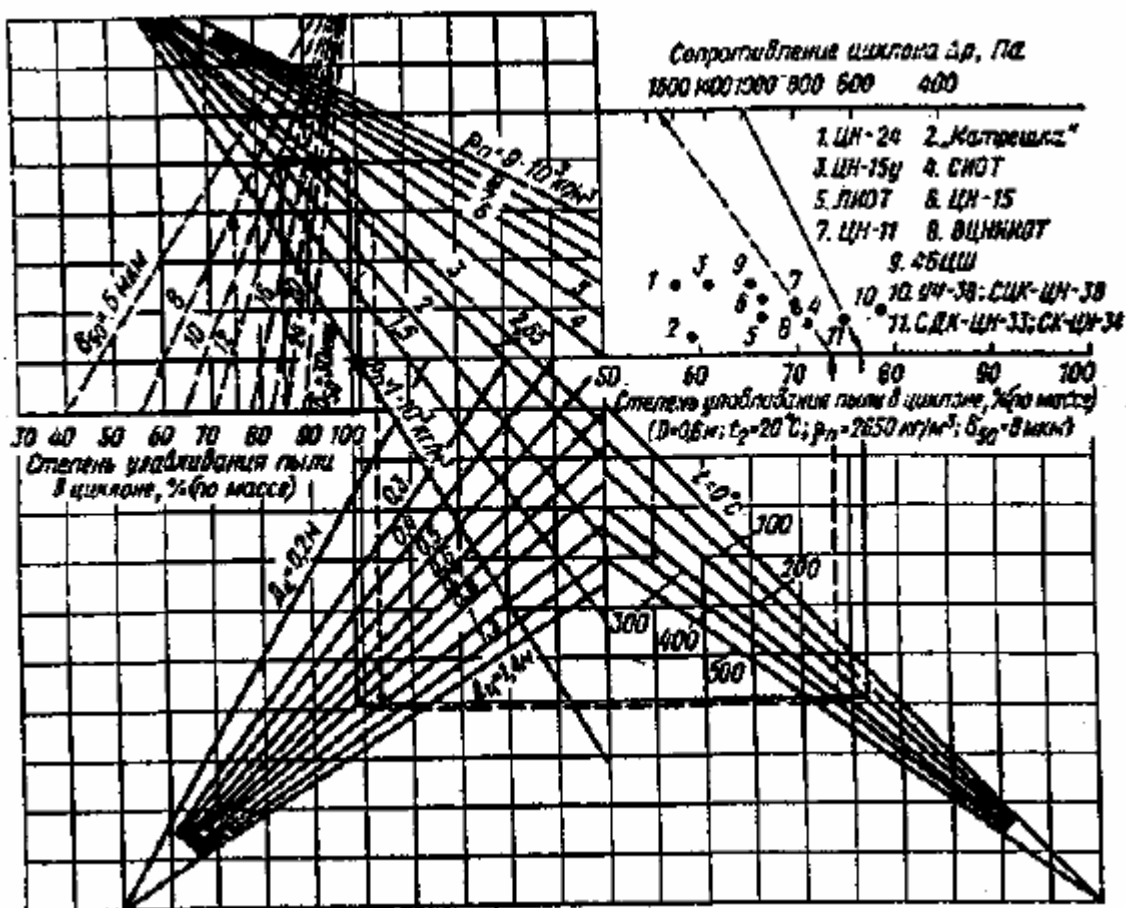


Рис. 1. Номограмма для определения эффективности циклона.

Пример 1. Определить гидравлическое сопротивление циклона СДК-ЦН-33 при следующих условиях: требуемая эффективность аппарата 75 %; средний медианный размер пыли 8 мкм; плотность пыли 3000 кг/м³; диаметр циклона 1000 мм; температура очищаемого газа 400°C.

Точку на шкале в верхнем правом углу, выражающую сопротивление циклона, 1000 Па, соединяем с точкой 11, соответствующей циклону, и проводим прямую до пересечения с горизонтальной шкалой в правой средней части номограммы. Из точки пересечения проводим вертикальную линию до

пересечения с линией, характеризующей температуру газа. Из точки пересечения - горизонтальную линию до пересечения с линией, выражающей диаметр циклона. Затем - вертикальную линию до пересечения с линией, характеризующей плотность пыли. После этого - горизонтальную линию до пересечения с линией, выражающей средний медианный размер частиц пыли. Вертикальная линия, проведенная из точки пересечения до шкалы эффективности, пересекается с ней в точке, характеризующей эффективность 85 %.

Расчет последовательно установленных циклонов. В практике эксплуатации очистных устройств иногда применяют последовательную установку циклонов, различающихся по конструкции. Расчеты таких групп циклонов проще всего выполнять по величине парциального проскока через каждый аппарат.

Можно принять следующий порядок расчета:

1. Определяют значения d_{50} для каждого из установленных циклонов как для самостоятельно работающих по изложенной выше методике.

2. Для каждого из циклонов находят диаметры частиц, улавливаемых на 15,9%, по формуле:

$$\lg d_{15,9} = \lg \sigma + \lg d_{50}. \quad (7)$$

3. В вероятностно-логарифмической системе координат наносят точки $d_{15,9}$ и d_{50} и проводят через них прямые, получая тем самым линии парциальных проскоков через каждый циклон.

4. Определяют величины парциальных проскоков ε_j через все циклоны перемножением парциальных проскоков ε_i через каждый циклон:

$$\varepsilon_j = \prod_{i=1}^N \varepsilon_i \quad (8)$$

где N - количество последовательных циклонов.

5. Полученные значения ε_j наносят на график, аппроксимируют точки прямой линией, находят по ней значения D_{50} и $\lg \sigma$.

6. По уравнению (6) находят значение x , а из таблицы 5 - $\Phi(x)$, которое считают равным полному коэффициенту очистки газов, последовательно прошедших через все циклоны.

Последовательная установка однотипных циклонов не практикуется, хотя имеются сведения об успешном опыте применения и такого способа сепарации.

Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы студентам необходимо иметь при себе тетрадь, ручку, калькулятор для выполнения расчетов.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдение требований инструкции при работе в лаборатории.

Методика и порядок выполнения работы

1. Сделать конспект теоретической части работы;
2. Ознакомьтесь с теоретической частью работы;
3. Определить, каким будет гидравлическое сопротивление циклона ВЦНИИОТ при следующих условиях: требуемая эффективность улавливания $\varepsilon = 75 \%$; средний медианный размер пыли $d_{50}^T = 8$ мкм; плот-ность пыли $\rho = 3000$ кг/м³; диаметр циклона 1000 мм, температура газа 400°C.
4. Подобрать циклон для следующих условий: расход очищаемого воздуха V , м³/ч, температура воздуха $t = 40^\circ\text{C}$, пыль с начальной

концентрацией C_1 , мг/м^3 , плотность пыли $\rho_{\text{п}}$, кг/м^3 , медианный диаметр частиц d_{50} , мкм .

При $t = 40^\circ\text{C}$ плотность воздуха $\rho = 1,128 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость воздуха $\mu = 19,3 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$.

Таблица – Варианты исходных данных к задаче 2

Вариант	параметр			
	V , $\text{м}^3/\text{ч}$,	C_1 , мг/м^3	$\rho_{\text{п}}$, кг/м^3	d_{50} , мкм
1	10000	10000	2900	12
2	9000	11000	2500	11
3	8000	9000	2600	13
4	11000	12000	2400	14
5	12000	9500	2340	15
6	10000	12200	3000	16
7	9000	11500	2000	12
8	8000	10500	2100	11
9	11000	7890	3200	13
10	12000	10000	2500	14
11	10000	11000	3020	15
12	9000	9000	3000	16
13	8000	12000	2000	12
14	11000	9500	2100	11
15	12000	12200	3200	13
16	10000	11500	2500	14
17	9000	10500	3020	15
18	8000	7890	2500	16

Задача 3. Рассчитать степень очистки в циклонном сепараторе продуктов сгорания угля. Характеристика золы: $d_m = 20 \text{ мкм}$; $\sigma = 3,0$; $\rho_{\text{ч}} = 2240 \text{ кг/м}^3$; плотность дымовых газов в нормальных условиях $\rho_0 = 1,31 \text{ кг/м}^3$, динамическая вязкость в рабочих условиях для газовой смеси $\mu = 6,55 \cdot 10^{-6} \text{ Па}\cdot\text{с}$. Расход газа-носителя $10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ ($2,78 \text{ м}^3/\text{с}$), зольность 42 г/м^3 , температура 140°C .

Рекомендации к расчету:

1. Задаемся типом циклона. Принимаем к расчету возвратно-поточный циклон типа ЦН-11. По таблице 1 принимаем величину оптимальной скорости потока в циклоне $w_{\text{опт}}$, м/с.

Подсчитываем скорость потока в циклоне с диаметром 1000 мм (формула 3).

2. Подбираем значения ζ_{500} , K_1 , K_2 , K_3 для циклона ЦН-11, работающего на выхлоп в атмосферу, по таблицам 2-4 и определяем коэффициент гидравлического сопротивления циклона (формула 6.1):

$$230025092,01 \cdot \dots = \zeta.$$

Примечание. Значения ζ отнесены к средней скорости газового потока в аппарате и определены для циклонов ЦН, СДК-ЦН, СК-ЦН при $D = 500$ мм, $v = 3$ м/с.

Ответьте на вопросы:

1. Какие основные вещества являются загрязнителями окружающей среды в современном городе?

2. Как можно классифицировать антропогенные загрязнения окружающей среды? Приведите примеры.

3. Какие токсичные выбросы являются приоритетными загрязнителями атмосферы?

4. Что такое «кислотные дожди»? Какие методы их утилизации вы знаете?

5. Какие токсичные вещества содержат выхлопные газы автомобилей? Как их обезвреживают?

6. Что такое смог? Какие способы удаления частиц пыли из воздуха вы знаете?

7. Что такое «парниковый эффект»?

Содержание отчета и его форма

5. Тема работы;

6. Цель и содержание
7. Расчетные формулы, заполненные таблицы, выполненные задания
8. Вывод

Лабораторная работа 3

Расчет и выбор газовых фильтров

Цель работы: получение знаний об особенностях применения и рукавных фильтров.

Теоретическое обоснование

Технологические расчеты фильтров сводятся к определению площади фильтровальной перегородки, гидравлического сопротивления фильтровальной перегородки и аппарата в целом, частоты и продолжительности циклов регенерации фильтрующих элементов.

При выборе конструкции фильтра с гибкой фильтровальной перегородкой приходится учитывать значительное число факторов:

- характеристику очищаемых газов на входе в фильтр: средний объемный расход очищаемых газов в рабочих и нормальных условиях, состав газов и их взрывоопасность, температура и давление, допустимость подсоса, содержание влаги, точка росы;
- свойства пыли: тип пыли (по механизму образования), распределение частиц по размерам, средняя и максимальная массовая концентрации, содержание токсичных веществ, химический состав пыли, ее гигроскопичность и растворимость в воде, склонность к слипанию, взрываемость и горючесть, истинная и насыпная плотности, электризуемость, абразивность, предельно допустимая концентрация;
- характеристику источника выделения пыли: технологические сведения о процессе и применяемом оборудовании, периодичность или непрерывность

процесса, место отсоса запыленных газов, конструкционные материалы, используемые в технологическом оборудовании;

- характеристику и требования к уловленной пыли: ее ценность, возможность регенерации и возвращения в производство, возможность ее использования в других производствах, способ выгрузки, транспортирования и упаковки;

- основные требования к фильтрам: допускаемое сопротивление фильтра, задаваемая величина выходной концентрации, размер установки, требуемая площадь, место расположения, необходимое вспомогательное оборудование, климатические условия, лимиты по воде, пару, электроэнергии, возможность проведения процесса при аварийной остановке фильтра, капитальные и эксплуатационные затраты.

С учетом физико-химических характеристик выбросов, характера производства, технико-экономических и других факторов обосновывают эффективность очистки газов посредством фильтрации, принимают тип фильтрующей среды и фильтра (волоконный, тканевый, зернистый и др.), подбирают приемлемый материал волокон, ткани или гранул; для тканых и зернистых фильтров определяют также способ регенерации фильтрующего слоя.

Фильтрующая поверхность аппарата определяется из выражения:

$$F_{\phi} = [(V_{\pi} + V_p)/60q] + F_p$$

где V_{π} - объем газа, поступающего на очистку, м³/ч; V_p - объем газа или воздуха, расходуемого на регенерацию ткани, м³/ч; q - удельная газовая нагрузка фильтровальной перегородки при фильтровании, м³/(м²·мин); F_p - фильтрующая поверхность, отключаемая на регенерацию в течение 1 ч, м².

Величину следует рассчитывать по зависимости

$$F_p = N_c F_c \tau'_p m_p / 3600$$

где N_c - число секций в фильтре; F_c - фильтрующая поверхность секции, м^2 ; tr' - время регенерации секции, с; tr - число регенерации в течение 1 ч.

Для фильтров с импульсной продувкой в связи с кратковременностью процесса регенерации поверхности фильтра, выключаемой на время регенерации, и объемом газа, расходуемого на обратную продувку, можно пренебречь.

Удельная газовая нагрузка на фильтровальную перегородку для рукавных фильтров колеблется от 0,3 до $6 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$. Внутри этого диапазона выбор оптимального значения зависит от многих факторов, к которым в первую очередь относятся свойства улавливаемой пыли, способ регенерации фильтровальных элементов, концентрация пыли в газе, структура фильтровального материала, температура очищаемого газа, требуемая степень очистки.

С достаточной для практических расчетов точностью удельную газовую нагрузку в рукавных фильтрах можно определить из следующего выражения [$\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$]:

$$q = q_n c_1 c_2 c_3 c_4 c_5, \quad (1)$$

где q_n - нормативная удельная нагрузка, зависящая от вида пыли и ее склонности к агломерации (определяется по данным, приведенным ниже); c_1 - коэффициент, характеризующий особенность регенерации фильтрующих элементов; c_2 - коэффициент, учитывающий влияние концентрации пыли на удельную газовую нагрузку (определяется по рис. 5.8); c_3 - коэффициент, учитывающий влияние дисперсного состава пыли в газе (определяется по данным, приведенным ниже); c_4 - коэффициент, учитывающий влияние температуры газа (определяется по данным, приведенным ниже); c_5 - коэффициент, учитывающий требования к качеству очистки.

Значения нормативной удельной газовой нагрузки (q_n в $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{мин})$) для различных материалов приведены ниже:

$q_n=3,5$ комбикорм, мука, зерно, жмыховая смесь, пыль кожи, опилки, табак, картонная пыль, поливинилхлорид после распылительной сушки;		$q_n=2,6$ асбест, волокнистые целлюлозные материалы, пыль при выбивке отливок из форм, гипс, известь гашеная, пыль от полировки, соль, песок, пыль пескоструйных аппаратов, тальк, кальцинированная сода;
$q_n=2,0$ глинозем, цемент, керамические красители, уголь, плавиковый шпат, резина, каолин, известняк, сахар, пыль горных пород;	$q_n=1,7$ кокс, летучая зола, металлопорошки, окислы металлов, пластмассы, красители, силикаты, крахмал, смолы сухие, химикаты из нефтесырья;	$q_n=1,7$ активированный уголь, технический углерод, моющие средства, порошковое молоко, возгоны цветных и черных металлов.

Для коэффициента, учитывающего влияние особенностей регенерации фильтровальных элементов, в качестве базового варианта принимается фильтр с импульсной продувкой сжатым воздухом с рукавами из ткани. Для этого аппарата коэффициент s . При использовании рукавов из нетканых материалов значение коэффициента может увеличиваться на 5...10%. Для фильтров с регенерацией путем обратной продувки и одновременного встряхивания или покачивания рукавов принимается коэффициент $s_1=0,70...0,85$. Меньшее значение принимается для более плотной ткани. При регенерации путем только обратной продувки $s_1=0,55-0,70$.

В теории фильтрации принято оперировать с величиной, обратной по смыслу эффективности очистки - проскоком. В практике проектирования установок фильтрации степень очистки не вычисляют, а принимают по информации, приводимой в каталогах заводов-изготовителей. Эту величину также следует рассматривать как оценочную. При эксплуатации фильтра величина проскока не остается постоянной во времени. В цикле между регенерациями проскок падает от максимального до минимального значения по мере накопления пыли на фильтре. В целом за период эксплуатации тканевого фильтра проскок длительное время (несколько тысяч циклов) снижается вследствие увеличения остаточной запыленности ткани, а затем,

продержавшись некоторое время на минимальном уровне, начинает расти вследствие износа материала.

Концентрация пыли (коэффициент c_2) сказывается на продолжительности цикла фильтрования. При увеличении концентрации увеличивается частота регенерации и удельная нагрузка должна снижаться. Однако зависимость удельной нагрузки от концентрации пыли не является линейной функцией. Наиболее заметно изменение концентрации проявляет себя в интервале концентраций $1...30 \text{ г/м}^3$ (см. рис. 1). При более высоких значениях усиливается влияние коагуляции частиц пыли, и часть ее в виде агломератов падает в бункер до ее осаждения на фильтровальных элементах.

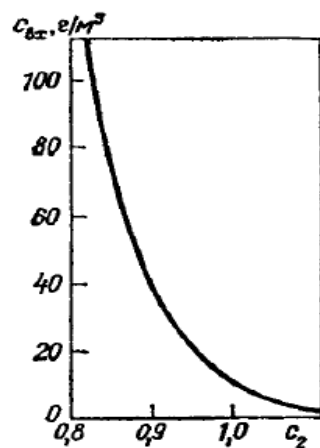


Рис. 1. Зависимость коэффициента c_2 от концентрации пыли на входе в фильтр $c_{вх}$.

Значения коэффициента c_3 , учитывающего влияние дисперсного состава пыли, приведены ниже (dm - медианный размер частиц):

Таблица 1 - Зависимость коэффициента c_3 от диаметра частиц d_m , мкм

Зависимость коэффициента c_3 от диаметра частиц d_m , 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

Значения коэффициента c_4 , учитывающего влияние температуры газа, приведены ниже:

Таблица 2 - Зависимость коэффициента c_4 от температуры газа t , °C

Зависимость коэффициента c_4 от температуры газа t , °C	20	40	60	80	100	120	140	160
c_4	1	0,9	0,84	0,78	0,75	0,73	0,72	0,70

Коэффициент c_5 , учитывающий требования к качеству очистки, оценивается по концентрации пыли в очищенном газе. При концентрации пыли в отходящих газах 30 мг/м^3 $c_5=1$, а при 10 мг/м^3 - $c_5=0,95$.

Энергетические затраты и эффективность процесса очистки непосредственно зависят от сопротивления, создаваемого фильтрующим слоем, т.е. тканью и автослоем (слоем пыли, осевшей на ткани в процессе фильтрации). Составляющую сопротивления, зависящую от структуры ткани, называют остаточным сопротивлением ткани, предполагая, что в порах ткани после регенерации остается определенное (так называемое "равновесное") количество пыли. Однако на величину остатка кроме способа регенерации влияет множество других причин. Поэтому остаточное сопротивление после регенераций может изменяться в достаточно широких пределах.

При подборе рукавных фильтров важным является оценка ожидаемого гидравлического сопротивления, определяющего энергетические затраты на фильтрование. Гидравлическое сопротивление фильтра в Па складывается из сопротивления корпуса ΔP_k и сопротивления фильтровальной перегородки ΔP_{Π} .

$$\Delta P_{\phi} = \Delta P_k + \Delta P_{\Pi} . \quad (2)$$

Гидравлическое сопротивление корпуса аппарата определяется величиной местных сопротивлений, возникающих на входе в аппарат и выходе из него и при раздаче потока по фильтровальным элементам. В общем виде гидравлическое сопротивление может быть оценено коэффициентом сопротивления корпуса аппарата, отнесенным к скорости газа во входном патрубке

$$\xi_k = \Delta P_k / (v_{\text{вх}}^2 \rho_z) \quad 3)$$

где $v_{\text{вх}}$ - скорость газа во входном патрубке, м/с.

Величина ξ_k при конструировании фильтров обычно принимается равной 1,5...2,0.

Гидравлическое сопротивление фильтровальной перегородки включает потери напора за счет самой перегородки ($\Delta P_{\pi}'$) и потери за счет осевшей на перегородку пыли ($\Delta P_{\pi}''$):

$$\Delta P_{\pi} = \Delta P_{\pi}' + \Delta P_{\pi}''$$

Величину $\Delta P_{\pi}'$ (в Па) удобно вычислять по выражению:

$$\Delta P_{\pi}' = K_{\pi} \mu w^n, \quad (4)$$

где K_{π} - коэффициент, характеризующий сопротивление фильтровальной перегородки, м^{-1} ; μ - динамическая вязкость газа, $\text{Па}\cdot\text{с}$; w - скорость фильтрования, $\text{м}/\text{с}$; n - показатель степени, зависящий от режима течения газа сквозь перегородку (для ламинарного режима $n = 1$, для турбулентного $n > 1$).

Коэффициент зависит от толщины и проницаемости фильтровальной перегородки, количества пыли, оставшейся на перегородке после регенерации, свойств пыли. Поэтому этот коэффициент определяют экспериментально. Например, для фильтровальных тканей из лавсана, улавливающих цементную или кварцевую пыль с медианным диаметром в пределах 10...20 мкм, $K_{\pi} = (1100...1500) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$, для тех же материалов при улавливании возгонов от сталеплавильных дуговых печей с медианным диаметром частиц 2,5...3,0 мкм $K_{\pi} = (2300...2400) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$. Для более плотных тканей (лавсан, стеклоткань) на тех же пылях коэффициент K_{π} увеличивается в 1,2...1,3 раза.

При улавливании пылей с медианным размером частиц меньше 1 мкм коэффициент K_{π} увеличивается в несколько раз и для лавсана. При улавливании возгонов кремния с медианным диаметром 0,6 мкм он составляет $(13000...15\ 000) \cdot 10^6 \text{ м}^{-1}$.

Приведенные значения коэффициентов не учитывают возможное увеличение его в присутствии влаги.

Сопротивление в Па, вызванное осевшей на перегородку пылью, рассчитывается по уравнению:

$$\Delta P_{\pi}'' = \mu \tau c_{\text{ex}} w^2 K_1 \quad (5)$$

где τ - продолжительность фильтровального цикла, с; c_{ex} - концентрация пыли на входе в фильтр, кг/м³; K_1 - параметр сопротивления слоя пыли, м/кг.

Величина K_1 зависит от свойств пыли и порозности слоя пыли на перегородке. Например, для цемента с медианным диаметром частиц $d_m = 12$ -20 мкм $K_1 = (6,5 - 16) \cdot 10^9$ м/кг, для частиц кремния $d_m = 0,7$ мкм $K_1 = 330 \cdot 10^9$ м/кг, для возгонов сталеплавильной дуговой печи $d_m = 3$ мкм $K_1 = 80 \cdot 10^9$ м/кг

Пользуясь формулой (4), при известном или заданном гидравлическом сопротивлении слоя пыли можно найти продолжительность фильтровального цикла:

$$\tau = \Delta P_{\pi}'' / (\mu c_{\text{ex}} w^2 K_1)$$

Следует иметь в виду, что общее сопротивление рукавных фильтров не должно превышать 2800 Па, а сопротивление слоя пыли на перегородке – 600...800 Па.

Ориентировочные значения коэффициентов очистки некоторых видов выбросов в рукавных фильтрах приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Эффективность очистки пыли в рукавных фильтрах

Процесс производства или оборудование, выделяющее дисперсные загрязнители	Содержание частиц менее 5 мкм, мг/м ³	Конечная концентрация, %	Степень очистки %	Способ регенерации*	Удельная нагрузка, м ³ /(м ² ·с)
1	2	3	4	5	6
Переработка алюминиевой руды	-	3	-	В	0,041
Медная руда:					
погрузка	30	13	98,15	-	-
разгрузка	67	18	86,47	В	0,015
измельчение	2	6	99,75	В	0,015
Переработка железной руды:					
разгрузка вагонеток	-	3	-	-	-
вторичное и третичное дробление	-	3	-	-	-
транспорт	-	4	99,69	-	-
тонкоизмельченной руды					

Производство известняка:					
первичное	-	6	-	И	0,028
измельчение сита	-	6	-	И	0,035
первичного измельчения	-	2	-	И	0,035
транспортировка	-	2	-	И	0,035
обдирка и молотковая мельница	-	2	99,84	В	0,012
вторичное	-	4	-	В	0,011
измельчение сита	-	1	-	И	0,026
вторичного измельчения	-	2	-	В	0,010
калибровочное сито	-	2	-	В	0,010
Переработка золотой руды, регенерация на складах	12...21	7	95,88	И	0,046
Дробление полевого шпата	-	5	99,92	О	0,015
Размол каолина:					
мельница Раймонда	70	16	99,65	-	-
валковая мельница	70	7	99,60	-	-
Стеклоплавильные печи:					
сода, известняк	-	11	72	О	0,003
сода, свинец, боросиликат	-	9	94,80	В/О	0,003
Производство стекловолокна:					
боросиликатного	-	15	-	В/О	0,004
содоизвестковоборосиликатного	-	59	-	В/О	0,003
Приготовление опок:					
водяная мельница	92	3	99,71	О	0,026
мельница Раймонда	-	2	99,96	О	0,030
Электроплавильная печь	40...65	2	98,67...96,67	В	0,016
Промышленные котельные	-	37	93,15	О	0,025
Отопительные котельные:					
пылевидное сжигание	23...65	2	99,92	О	0,010
механическое слоевое сжигание	5...60	4	99,80	В/О	0,015
Мусоросжигатели	20...65	0,7	99,86	О	0,015

Примечание: В - встряхивание, И - импульсный, О - обратная продувка

Исходный полимер или сырье	Название волокна	Плотность ³ кг/м	Термостойкость, °С		Химическая стойкость		Стойкость в средах		Горючесть	Прочность на разрыв, МПа	Разрывное удлинение, %	Стойкость к исторанию	Влагоемкость, % при 20 °С		
			При длительном воздействии	При кратковременном воздействии	кислоты	щелочи	Окисляющие агенты	Растворители					При φ=65%	При φ=90-95%	
1	2	3	4	5	6	7									
Целлюлоза	Хлопок	1520	65-85	90-95	ОП	Х	У	ОХ	Да	360-530	7-8	У	7-8,5	24-27	
Протеины	Шерсть	1320	95-100	120	У	ОП	У	Х	Да	130-200	30-40	У	13-15	21,9	
Полиамид	Капрон	1140	80-90	120	ОП	ОХ	У	Х	Да	450-600	18-32	ОХ	3,5-4,5	7-8,5	
	Номекс	1380	220	260	У	ОХ	Х	Х	Нет	400-800	14-17	ОХ	-	-	
Полиэфир	Лавсан	1380	130	160	Х	У – П	Х	Х	Да	450-700	15-25	ОХ	0,4	0,5	
Полиакрилонитрил	Нитрон	1170	120	150	Х – У	У	Х		Да	300-470	15-17	У	0,9-2	4,5-5	
Полиолефин	Полипропилен	920	85-95	120	ОХ	ОХ	Х	Х	Да	440-860	22-25	ОХ	0	0	
Поливинилхлорид	Хлорин, ацетохлорин, ПВХ	1380-1470	65-70	80-90	ОХ	ОХ	ОХ	У-Х	Нет	120-230	15-30	ОП-П	0,17-0,3	0,7-0,9	
Политетрафторэтилен	Фторопласт, полифен	2300	220	270	ОХ	ОХ	ОХ	ОХ	Нет	350-400	50	У-П	0	0	
Полиоксидиазол	Оксалон	-	250	270	Х	-	-	-	-	-	-	Х	-	-	
Алюмосиликатное стекло	Стекло-лянное волокно	2540	240	315	Х	У – П	ОХ	ОХ	нет	1600-3000	3-4	ОП	0,3	-	

Условные обозначения: ОХ – очень хорошая; Х – хорошая; У - удовлетворительная; П - плохая; ОП - очень плохая.

Таблица 3

Рекомендуемые нагрузки на фильтровальные ткани, $\frac{м^3}{(м^2 \cdot ч)}$ Ткань	Начальная запыленность воздуха (в $\frac{г}{м^3}$) до			
	1	5	10	20
Фильтр-сукно № 2	1	2	3	4
Сукно ЧШ, ткань ЦМ, нитрон, лавсан, хлопчатобумажная	120-150	80-100	60-70	40-50.
Стеклоткань аппретированная	60-90	50-60	40-50	30-50
Фильтр-сукно № 2	5	6	7	8
Сукно ЧШ, ткань ЦМ, нитрон, лавсан, хлопчатобумажная	70-90 50-70		40-50	30-40
Стеклоткань аппретированная	50-60 40-50		30-50	30-40

Примечание. Данные первых четырех граф относятся к крупнодисперсной пыли 2-й и 3-й групп, последних четырех - к мелкодисперсной и очень мелкодисперсной пыли 4-й и 5-й групп

Таблица 4 - Характеристика фильтров ФВ (Г4-1БФМ)

Показатели	ФВ-30	ФВ-45	ФВ-60	ФВ-90
Поверхность фильтровальной ткани, м ²	30	45	60	90
Число секций	2	3	4	6
Число рукавов	36	54	72	108
Материал рукавов	Сукно фильтровальное № 2, нитрон, лавсан НФМ			
Размеры рукавов, мм: диаметр длина Сопротивление фильтра, Па, не бо-лее Период между встряхиванием сек-ции, мин	135 2090 450 3-4			
Мощность электро- двигателя, кВт	0,6			1,1
Частота вращения, об/мин	1350			1400
Масса, кг	900	1210	1460	2000

Таблица 5 - Технические характеристики рукавных фильтров

Марка фильтра	Площадь фильтрующей поверхности, м ²	Количество секций, шт	Количество рукавов в секции, шт.	Диаметр рукава, мм	Высота рукава, м	Пропускная способность, м ³ /с/сопротивление, Па
ФР-6П	18	1	6	390	2,5	1/500...1000
ФТ-2М	20	1	12	300	1,8	2,5/600
ФТНС-4М	12,4	1	4	386	2,6	-/490
ФТНС-8М	24,8	2	4	386	2,0	-/490
ФТНС-12М	37,2	3	4	386	2,6	-/490
ЦА-3804	4140	3	-	-	-	5,6/-
ФРУ	2,5...50	1...4	14;28;42;56	125	0,9;1;2;2,5	/1500
ФРВ-20	20	2	32	130	1,63	-
ФРН-30	30	2	48	130	1,63	-
ФР-250	281	4	288	135	2,3	-/1000...2000
СМЦ-101А	50;55;110;115;205	2	36	200	2,2;2,45;4,9;5,1;9,1	-/1900
РФГ	112;168;224;280	4;6;8;10	56;84;112;140	220	3,1	-
УРФМ	1610;2300	14;20	588;840	220	4,063	-/700...1500
Г4-1БФМ	30;45;60;90	2;3;4;6	36;54;72;108	135	2,09	-/1300
Г4-2БФМ	60;90	4;6	72;108	135	2,09	-/1300
ФР-518 (650)	518 (650)	6	72 (90)	127	3	2,5...3,33/1600
ФР-5000	5000	8	504	127	3,09	-/1500...2000
ФРДО-6500	6500	10	212	130	7,85	-
ФРО-2400-1	2400	8	42	200	8	≥14/2000
ФРО-6000-2	6000	10	54	300	10	≥14/2000
ФРО-20300-3	20300	10	216	300	10	≥14/2000
РФОСП	1,9...136	-	2...24	-	1...6	0,17...11,4/2000
РФСП-П	370	4	22	300	4,8	-
РФСП-1580	1580	20	24	-	-	до 130/-
ФРКИ-30	30	1	36	135	2	-/2000
ФРКН-В-30	30	1	36	135	2	-/2000
ФРКИ-60	60	2	36	135	2	-/2000
ФРКН-В-60	60	2	36	135	2	-/2000
ФРКИ-90	90	3	36	135	2	-/2000
ФРКН-В-90	90	3	36	135	2	-/2000
ФРКИ-180	180	4	36	135	3	-/2000
ФРКИ-360	360	8	36	135	3	-/2000
ФРКДИ-550	550	6	36	135	6	-/2800
ФРКДИ	720	8	36	135	6	-/2800
ФРКДИ-1100	1100	12	36	135	6	-/2800

Таблица 6 - Технические характеристики зернистых фильтров типа ЗФ

Показатели	ЗФ-4М	ЗФ-5М	ЗФ-6М	ЗФ-8	ЗФ-10
Пропускная способность, м/с	2,5...5	5...10	10...40	10...150	10...30
Площадь фильтрации, м ²	2...4	4...8	8...31	8...120	16...37
Число секций	2...4	2...6	2...8	2...30	6...37
Число фильтрующих слоев	3	3	3	3	2
Продолжительность фильтрации/регенерации, мин	4...2 60...40	4...2 60...40	4...2 60...40	4...2 60...40	1...5,0 15...10
Максимальная начальная запыленность, г/м ³	20	20	20	20	5
Наполнитель	Гравий крупностью 3...10 мм				
Максимальная температура, К	673				
Гидравлическое сопротивление, Па	600...1500				
Степень очистки, %	95...99				
Масса, т:					
с наполнителем	2,5...5	4,5...9	9...14	14...180	15...34
без наполнителя	1,5...3	2,5...5	5...10	10...130	10...20
Способ регенерации	Обратная продувка				

Таблица 7 - Техническая характеристика гравийных фильтров циклонов типа ФГЦН

Показатели	ФГЦН-120	ФГЦН-30
Площадь фильтровальной поверхности, м ²	124	28,8
Удельная нагрузка, м ³ /(м ² с)	0,25...0,33	
Гидравлическое сопротивление, Па	1800...2200	1600...2000
Максимальная температура, К	673	
Наполнитель	Гравий крупностью 2...4 мм	
Максимальная начальная запыленность, г/м ³	30	
Число элементов в аппарате	10	4
Диаметр фильтрующего элемента, мм	2600	2160
Тип циклона	ЦН-15У	ЦН-24
Диаметр циклона, мм	1200	800
Способ регенерации	Ворошение с обратной продувкой	
Привод механизма ворошения	МПО2-26ВК5,5/5,6	МПО2-18ВК6,7
Число оборотов ворошителя, мин ⁻¹	5,6	6,7
Габариты, мм:		
длина	15300	5930
ширина	7570	4440
высота	11900	8700
Масса, т	68	20

Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы студентам необходимо иметь при себе тетрадь, ручку, калькулятор для выполнения расчетов.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдение требований инструкции при работе в лаборатории.

Методика и порядок выполнения работы

Сделать конспект теоретической части работы;

Ознакомьтесь с теоретической частью работы;

1. Рассчитать рукавный фильтр из ткани лавсан, предназначенный для очистки газов электросталеплавильной печи при следующих исходных данных: расход газа при нормальных условиях $V_{0г} = 125000 \text{ м}^3/\text{ч}$; температура газа перед фильтром $t_r = 145 \text{ }^\circ\text{C}$; барометрическое давление $P_6 = 101,3 \text{ кПа}$; разрежение перед фильтром $P_r = 300 \text{ Па}$; динамический коэффициент вязкости $\mu_0 = 17,9 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$; плотность газа $\rho_{0г} = 1,3 \text{ кг/м}^3$; концентрация пыли в газе перед фильтром $Z_0 = 13,3 \text{ г/м}^3$; среднемедианный размер частиц пыли $d_m = 3 \text{ мкм}$; плотность частиц пыли $\rho_n = 5500 \text{ кг/м}^3$; гидравлическое сопротивление фильтра $\Delta P = 1,4 \text{ кПа}$. Регенерация осуществляется обратной продувкой со встряхиванием в течение $\tau_p = 40 \text{ с}$.

2. Выполнить расчет фильтра для очистки воздуха от пыли глинозема, при нормальном атмосферном давлении и температуры воздуха $20 \text{ }^\circ\text{C}$. Требуемая тонкость очистки $d_{\text{тоабс}}$. Наибольшее допустимое (конечное) сопротивление фильтра $\Delta P_{\text{кон}}$. Начальное сопротивление фильтра $\Delta P_{\text{нач}} = 10 \text{ кПа}$. Время непрерывной работы фильтра τ . Расход воздуха Q . Концентрация пыли в воздухе $C_{\text{вх}}$. Плотность частиц загрязнителя $\rho_{\text{ч}} = 3,9 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3$. Вязкость воздуха при $20 \text{ }^\circ\text{C}$: $\mu = 18 \cdot 10^{-6} \text{ Па} \cdot \text{с}$.

Таблица 1 Исходные данные (варианты)

Вариант	Q, м ³ /ч	C _{вх} , мг/м	d _{то} абс, мкм	ΔP _{кон} , кПа	τ, ч	Пористый материал	Форма частиц	П	h, мм
1,6	150	5	5	20	50	Бронза	Сфера	0,33	1
2,7	160	10	4	25	45	СТ50ХГ	Сфера	0,25	0,7
3,8	120	15	3	15	40	Железо	80%Сф	0,30	0,5
4,9	140	20	10	20	35	Бронза	20%Сф	0,28	2
4,10	100	25	16	15	30	СТ50ХГ	Лепестковая	0,26	3

Содержание отчета и его форма

1. Тема работы;
2. Цель и содержание
3. Расчетные формулы, заполненные таблицы, выполненные задания
4. Вывод

Лабораторная работа 4

Исследование средств механической очистки сточных вод

Цель работы: закрепление знаний о способах механической очистки сточных вод и приобретение навыков расчета средств гидромеханической очистки.

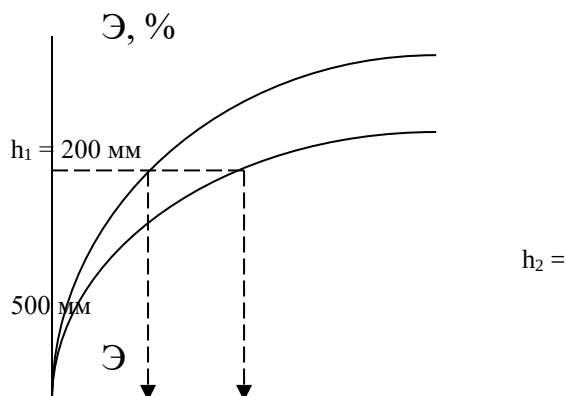
Теоретическое обоснование

Согласно СНиП 2.04.03 – 85 расчет первичных отстойников следует производить по кинетике осаждения (всплывания) взвешенных веществ с учетом необходимой эффективности отстаивания.

Кинетику осаждения (всплывания) взвешенных веществ изучают экспериментально в лабораторных условиях в цилиндрах диаметром 120 мм при высоте слоя отстаивания $h_1 = 200$ мм и $h_2 = 500$ мм.

При расчете тонкослойных отстойников кинетику отстаивания изучают при высоте слоя отстаивания равной расстоянию между наклонными перегородками. Обычно $h = 100$ мм.

Кинетические кривые отстаивания – это зависимость эффективности отстаивания Ξ от времени τ при постоянной высоте отстаивания h . Кинетические кривые отстаивания приведены на рис. 1.



τ_1 τ_2

τ , МИН

Р и с. 1. Экспериментальные кинетические
кривые отстаивания при $t = 20^\circ\text{C}$

Гидравлическая крупность частиц U_0 , осаждающихся в лабораторных условиях, при эффективности отстаивания $\mathcal{E}$ равна

$$U_0 = \frac{h_1}{\tau_1} = \frac{h_2}{\tau_2}$$

(1)

Для расчета гидравлической крупности частиц, осаждение которых обеспечивает эффективность отстаивания $\mathcal{E}$ в реальных условиях при глубине отстойника H и температуре t , используется формула

$$U_0 = \frac{H * K * 10^3}{\tau * \alpha * \left(\frac{H * K}{h} \right)^n} - \omega,$$

(2)

где U_0 – гидравлическая крупность в мм/с;

H – глубина проточной части отстойника в м;

τ – время отстаивания, найденное по кинетической кривой при эффективности отстаивания $\mathcal{E}$ и высоте слоя отстаивания h , с;

K – коэффициент использования объема проточной части отстойника;

α – коэффициент, учитывающий влияние температуры;

ω – вертикальная составляющая скорости воды в отстойнике, зависящая от линейной скорости потока w , мм/с;

h – высота слоя отстаивания, м;

n – показатель степени, зависящий от агломерации взвешенных веществ.

Показатель степени n вычисляется по формуле:

$$n = \frac{\lg \tau_1 - \lg \tau_2}{\lg h_1 - \lg h_2},$$

(3)

где τ_1 и τ_2 – продолжительность отстаивания воды в секундах, при которой достигается требуемая эффективность отстаивания в цилиндрах с высотой столба воды соответственно h_1 и h_2 в мм.

Расчет отстойников для сточных вод, содержащих загрязняющие вещества легче воды, следует выполнять с учетом гидравлической крупности всплывающих веществ. При наличии в воде частиц тяжелее и легче воды за расчетную надлежит принимать меньшую гидравлическую крупность.

Опыт обследования промышленных предприятий показывает, что гидравлическая крупность частиц, которые должны быть выделены из воды для обеспечения требуемой эффективности очистки, колеблется в пределах 0,2 ÷ 0,5 мм/с. для ориентировочных расчетов отстойных сооружений U_0 можно принимать равной 0,3 мм/с.

Численные значения величин α и ω приведены в табл. 1 и 2.

Таблица 1 - Зависимость вертикальной составляющей скорости ω от линейной скорости потока воды w

w , мм/с	5	10	15	20
ω , мм/с	0	0,05	0,2	0,5

Таблица 2 - Зависимость температурного коэффициента α от температуры воды в отстойнике

t , °C	0	0	0	0	5	0	5	0		0
α	,45	,55	,66	,8	,9	,0	,3	,4	,5	1, 8

Турбулентная составляющая скорости ω может быть рассчитана по формуле

$$\omega = 0,05 w.$$

(4)

Численные значения коэффициента использования объема отстойников различных конструкций и другие их расчетные параметры приведены в табл. 3.

Таблица 3 - Расчетные параметры первичных отстойников

Тип отстойника	Коэффициент использования объема К	Рабочая глубина проточной части	Ширина В, м	Скорость потока w, мм/с	Уклон дна i	Угол наклона пластин α ,
1	2	3	4	5	6	7
Горизонтальный	0,5	1,5 – 4	(2-5)H	5 – 10	0,005	—
Радиальный:						
- с центральным вводом	0,45	1,5 – 5	—	5 – 10	0,05	—
- с периферийным вводом	0,65 – 0,75	1,5 – 5	—	5 – 10	0,05	—
Вертикальный:						
- с центральным впуском	0,35	2,7 – 3,8	—	—	—	—
- с периферийным впуском	0,65 – 0,7	2,7 – 3,8	—	—	—	—
С вращающимся сборно-распределительным устройством	0,85	0,8 – 1,2	—	—	0,05	—
С нисходяще-восходящим потоком	0,65	2,7 – 3,8	—	(2-3)U ₀	—	—
Тонкослойный:						

- противоточная и прямоточная схемы	0,5 – 0,7	0,025 – 0,2	2 – 6	—	—	45– 60
- перекрестная схема	0,8	0,025 – 0,2	1,5	—	0,005	45– 60

Рекомендуемые диаметры

- радиальных отстойников – 18; 24; 30; 40 м;
- вертикальных отстойников – 4; 6; 9 м;
- отстойников с нисходяще-восходящим потоком – 4; 5; 6; 9 м;
- отстойников с вращающимся сборнораспределительным устройством – 18; 24 м.

Расчет первичных отстойников сводится к определению длины или радиуса сооружения, его производительности, количества рабочих единиц отстойников.

Основные расчетные зависимости для первичных отстойников приведены в табл. 4.

Если при проектировании очистных установок применяются типовые или экспериментальные конструкции отстойных сооружений с известными геометрическими размерами, за расчетную величину следует принимать производительность одного отстойника q , при которой обеспечивается заданный эффект очистки. Производительность отстойника рассчитывается по формулам, приведенным в табл. 4. После расчета q , исходя из общего расхода сточных вод Q , определяется число отстойников N

$$N = \frac{Q}{q}.$$

(5)

Кроме того, необходимо рассчитать объем осадка, выделяемого при отстаивании, и решить вопрос о способе перемещения осадка к приемку и выгрузки его из отстойника.

Объем осадка V_{oc} , выделяемого при отстаивании, определяется по формуле

$$V_{oc} = \frac{24 \cdot (C_n - C_k) \cdot Q \cdot 10^{-3}}{\left(1 - \frac{x_{oc}}{100}\right) \cdot \rho_{oc}},$$

(6)

где V_{oc} – объем осадка, м³/сут.;

C_n и C_k – концентрация примесей в исходной воде и после отстаивания, мг/л;

Q – часовой расход сточных вод, м³/ч;

x_{oc} – влажность осадка, %;

ρ_{oc} – плотность осадка, кг/м³.

Таблица 4 - Основные расчетные зависимости для первичных отстойников

Тип отстойника	Основной размер, м	Пропускная способность q , м ³ /ч
Горизонтальный	$L = \frac{H \cdot w}{K \cdot (U_0 - \omega)}$	$q = 3600 \cdot H \cdot B \cdot w$
Радиальный С вращающимся сборно- распределительным устройством Вертикальный	$R = \sqrt{\frac{q \cdot 10^{-3}}{11,3 \cdot K \cdot (U_0 - \omega) + \frac{d_{6n}^2}{4}}}$	$q = \frac{Q}{N}$
С нисходяще- восходящим потоком	$R = \sqrt{\frac{q \cdot 10^{-3}}{5,6 \cdot K \cdot U_0}}$	$q = \frac{Q}{N}$

Тонкослойный: - с противоточной и прямоточной схемой;	$L_{БЛ} = \frac{w \cdot h}{U_0}$	$q = 3600 \cdot K \cdot H_{БЛ} \cdot B \cdot w$
- с перекрестной схемой	$L_{БЛ} = \frac{w \cdot h \cdot K_1}{U_0}$	$q = 7200 \cdot K \cdot H_{БЛ} \cdot B \cdot w$

Условные обозначения: L, В – длина, ширина отстойника, м;

R – радиус отстойника, м;

q – пропускная способность, м³/ч;

N – число секций;

Q – расход воды, м³/ч;

d_{вп} – диаметр впускной трубы, м;

U₀ – гидравлическая крупность, м/с;

ω - вертикальная составляющая скорости, м/с;

w – скорость потока воды, м/с;

h – высота слоя отстаивания в тонкослойном отстойнике,

м;

L_{БЛ} – длина яруса в тонкослойном отстойнике, м;

H_{БЛ} – глубина тонкослойного отстойника с ярусами, м;

K – коэффициент использования объема;

K₁ – коэффициент выноса частиц:

K₁ = 1,2 – для плоских пластин,

K₁ = 1 – для рифленых пластин.

При проектировании первичных отстойников необходимы следующие данные:

- расход сточных вод Q, м³/ч;
- температура сточных вод t, °С;
- периодичность образования сточных вод;
- содержание тяжелых механических примесей C_{нт}, мг/л;
- содержание нефтепродуктов и масла C_{нл}, мг/л;

- плотность тяжелых и легких загрязнений ρ_t, ρ_l , кг/м³;
- требуемая степень очистки Ξ , % или допустимое содержание тяжелых $C_{кт}$ и легких $C_{кл}$ примесей в очищенной воде, мг/л;
- кинетика осаждения примесей тяжелее и легче воды при их расчетной концентрации в исходной воде, т.е. зависимость $\Xi = f(\tau)$ при $h = \text{const}$ и $t = 20^\circ\text{C}$.
- влажность осадка $X_{ос}$, %.

Горизонтальные отстойники

Схема горизонтального отстойника изображена на рис. 1.

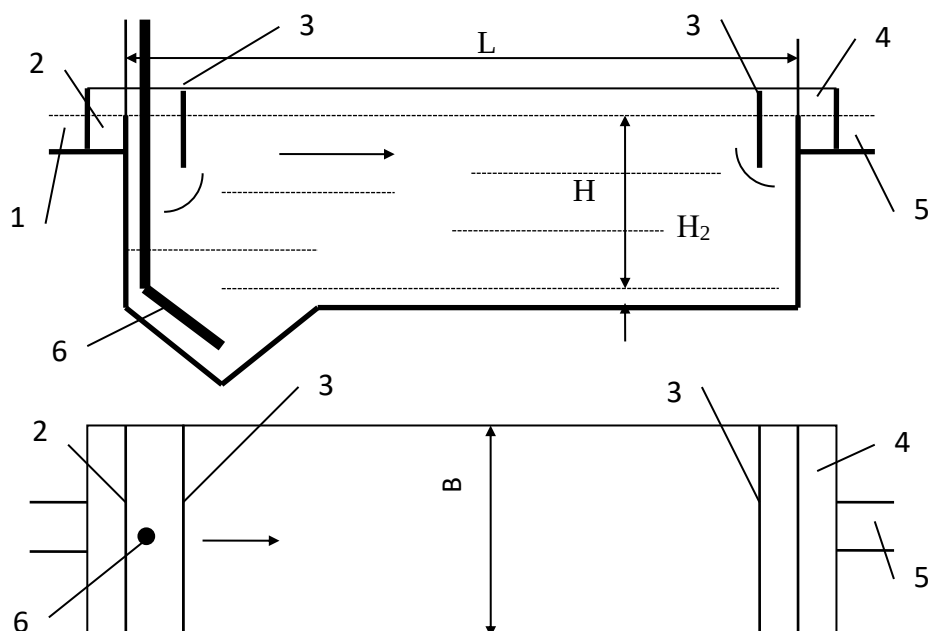


Рисунок 1 - Схема горизонтального отстойника:

1 - подводный лоток; 2 - распределительный лоток; 3 - полупогружные доски; 4 - сборный лоток; 5 - отводной лоток; 6 - трубопровод для удаления осадка.

H - глубина проточной части отстойника; H_2 - высота нейтрального слоя (от дна на выходе отстойника); L - длина отстойника; B - ширина.

Горизонтальные отстойники применяют при расходе сточных вод более 15000 м³/сут. Глубина отстойников достигает 1,5 – 4 м, отношение длины к глубине 8 – 12 (до 20), ширина отстойника зависит от способа выгрузки осадка и обычно находится в пределах 6 – 9 м. Число отстойников применяется не менее двух. В табл. 1 приведены основные показатели типовых первичных горизонтальных отстойников.

Таблица 1 - Основные показатели типовых первичных горизонтальных отстойников

Число отделений	Объем отстойной зоны, м ³	Пропускная способность при времени отстаивания $\tau = 1,5$ ч, м ³ /ч	Глубина, м	Длина, м	Ширина отделения, м	Номер типового проекта
4	3475	2132	3,2	30	9	902-2-386.85
6	5214	3198	3,2	30	9	902-2-387.85
8	6952	4264	3,2	30	9	902-2-388.85

Днище отстойника имеет уклон к приямку не менее 0,005. Перемещение выпавшего осадка к приямку осуществляется скребковыми механизмами тележечного или ленточного типа, сдвигающими выпавший осадок в приямок. Объем приямка равен двухсуточному количеству выпавшего осадка. Из приямка осадок удаляют насосами, гидроэлеваторами, грейдерами или под гидростатическим давлением. Угол наклона стенок приямка принимается равным 50 – 60°.

Основной расчетной величиной горизонтального отстойника является его длина (табл. 4). Для расчета общей длины отстойника используется уравнение

$$L = \frac{H \cdot w}{K \cdot (U_0 - \omega)}, \quad (7)$$

где L – общая длина отстойника, м (см. рис. 2);

H – глубина проточной части отстойника;

w – линейная скорость потока, мм/с;

K – коэффициент использования объема отстойника;

U_0 – гидравлическая крупность, рассчитанная по уравнению (2), мм/с;

ω - вертикальная составляющая скорости, мм/с;

Величины H и w назначаются по табл. 3; ω берется по табл. 1 или рассчитывается по уравнению (4).

Ширина отстойника B определяется по формуле

$$B = \frac{q}{3600 \cdot H \cdot w} = \frac{Q/N_c}{3600 \cdot H \cdot w}, \quad (8)$$

где B – ширина отстойника, м;

q – производительность отделения (секции) отстойника, $\text{м}^3/\text{ч}$;

Q – расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

N_c – число отделений (секций) отстойника.

При расчете ширины B числом отделений отстойника N_c необходимо задаваться, учитывая, что ширина отстойника лежит в пределах 6 – 9 м.

Действительная скорость $w_{\text{дейст}}$ потока вычисляется по уравнению

$$q = \frac{Q}{N_c} = 3600 \cdot H \cdot B \cdot w , \quad (9)$$

откуда
$$w_{\text{дейст}} = \frac{Q/N_c}{H \cdot B} . \quad (10)$$

Если поступление воды в отстойник неравномерно, то расчет отстойника выполняется по максимальному расходу Q_{max}

$$Q_{\text{max}} = K_N \cdot Q , \quad (11)$$

где Q_{max} – максимальный расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$;

K_N – коэффициент неравномерности поступления воды;

Q – средний часовой расход сточных вод, $\text{м}^3/\text{ч}$.

Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы студентам необходимо иметь при себе тетрадь, ручку, калькулятор для выполнения расчетов.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдение требований инструкции при работе в лаборатории.

Методика и порядок выполнения работы

Сделать конспект теоретической части работы;

Ознакомьтесь с теоретической частью работы;

Рассчитать горизонтальный отстойник для очистной станции производительностью $Q = 40000 \text{ м}^3/\text{сут}$. Средняя температура воды $t = 30^\circ\text{C}$. Коэффициент часовой неравномерности $K_n = 1,4$. Начальная концентрация взвешенных веществ $C_n = 1000 \text{ мг/л}$, остаточная концентрация взвешенных веществ в очищенной воде $C_k = 300 \text{ мг/л}$. Влажность выпавшего осадка $x_{oc} = 75 \%$, плотность осадка $\rho_{oc} = 1800 \text{ кг/м}^3$. Зависимость продолжительности отстаивания воды от эффекта ее осветления при $t = 20^\circ\text{C}$ при высоте слоя отстаивания $h = 500 \text{ мм}$ приведена в табл. 6.

Таблица 6. Продолжительность отстаивания воды в зависимости от эффекта ее осветления при $t = 20^\circ\text{C}$, $h = 500 \text{ мм}$, $C_n = 1000 \text{ мг/л}$

Эффективность отстаивания Э, %	30	40	50	60	70
Продолжительность отстаивания τ , с	260	390	450	680	1830

Результаты расчетов свести в табл. 7.

Таблица 7. Результаты расчета

№ варианта	H, м	U_0 , мм/с	N	B, м	$W_{\text{дейст}}$, мм/с	L, м	$V_{\text{от}}$, м^3	$\tau_{\text{от}}$, ч
1								
2								
3								

Содержание отчета и его форма

1. Тема работы;
2. Цель и содержание
3. Расчетные формулы, заполненные таблицы, выполненные задания
4. Вывод

Лабораторная работа 5

Исследование физико-химических методов очистки сточных вод

Цель работы: Формирование навыков расчета физико-химических методов очистки сточных вод.

Теоретическое обоснование

Ионный обмен, или ионообменная сорбция — процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы — ионита.

Ионный обмен является одним из основных способов умягчения, опреснения и обессоливания вод, а также способом рекуперации растворенных ионных компонентов. Очистка производственных сточных вод методом ионного обмена позволяет извлекать и утилизировать ценные примеси (соединения мышьяка, фосфора, а также хром, цинк, свинец, медь, ртуть и другие металлы), ПАВ и радиоактивные вещества, очищать сточную воду до предельно допустимых концентраций с последующим ее использованием в технологических процессах или в системах оборотного водоснабжения.

По знаку заряда обменивающихся ионов иониты делят на катиониты и аниониты, проявляющие соответственно кислотные и основные свойства. Иониты подразделяются на природные и искусственные, или синтетические. Практическое значение имеют неорганические природные и искусственные алюмосиликаты, гидроокиси и соли многовалентных металлов; применяются также иониты, полученные химической обработкой угля, целлюлозы и лигнина. Однако ведущая роль принадлежит синтетическим органическим ионитам — ионообменным смолам.

Важнейшим свойством ионитов является их поглотительная способность, так называемая обменная емкость.

Полная емкость ионита — количество находящихся в сточной воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м³ ионита до полного насыщения. *Рабочая емкость ионита* — количество находящихся в воде грамм-эквивалентов ионов, которое может поглотить 1 м³ ионита до начала проскока в фильтрат поглощаемых ионов.

При соприкосновении ионитов с водой происходит их набухание вследствие осмотических явлений; объем ионитов обычно увеличивается в 1,2...2 раза. На кинетику ионного обмена влияют также величина температуры, концентрация ионов и др.

Характерной особенностью ионитов является их обратимость, т.е. возможность проведения реакции в обратном направлении, что и лежит в основе их регенерации.

Процессы ионообменной очистки сточных вод осуществляются в аппаратах периодического действия - фильтрах или непрерывного действия (рис. 1).

Аппарат непрерывного действия состоит из ионообменной емкости, выполненной в виде усеченного конуса. Внутри этого конуса находится второй усеченный конус, где происходят процессы регенерации и отмывки. Сточная вода подается в колонну через трубу с коническими насадками. Пройдя через псевдоожиженный слой ионита, обработанная вода выходит из верхней части колонны. Отработанный ионит осаждается в нижней части колонны, откуда через трубчатое устройство с помощью эрлифта или эжектора подается в верхнюю часть колонны. Во внутреннем полуме усеченном конусе скорость движения потока воды уменьшают с помощью регулятора, что способствует вовлечению отработанного ионита в этот конус и последующему осаждению его в нижней части ионообменной колонны. Регенерационный раствор подается в нижнюю часть внутреннего усеченного конуса, а отводится из верхней части. Регенерированный ионит, продолжая опускаться навстречу восходящему потоку воды, промывается и переходит в

рабочую зону колонны. Аппарат прост в конструктивном исполнении и эффективен в работе.

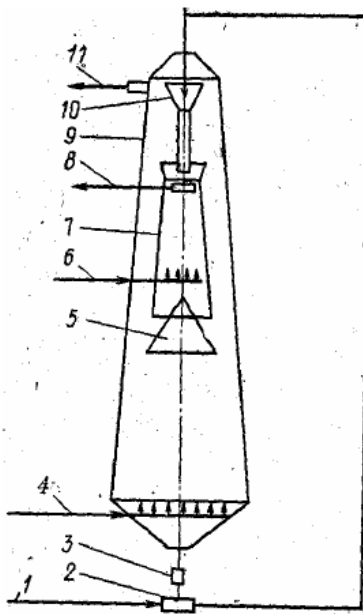


Рисунок 1 - Ионообменный аппарат непрерывного действия:

1 — подача воды; 2, 3 — устройство соответственно для транспортирования и отбора ионита; 4 — подача сточной воды; 5 — регулятор скорости движения потока воды в регенераторе; 6 — подача регенерационного раствора; 7 — внутренний корпус для регенерации ионита; 8 — отвод послерегенерационного раствора; 9 — ионообменная колонна; 10 — воронка для приема отработанного ионита; 11 — выпуск обработанной сточной воды.

Расчет установок ионного обмена

Гетерогенный ионный обмен или ионообменная сорбция представляет собой процесс обмена между ионами, находящимися в растворе, и ионами, присутствующими на поверхности твердой фазы – **ионита**.

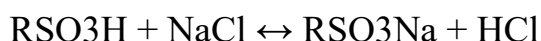
Иониты, способные поглощать из растворов электролитов положительные ионы, являются **катионитами**, а иониты, способные поглощать отрицательные ионы – **анионитами**. Катиониты обладают кислотными свойствами, а аниониты – основными свойствами. Если иониты обменивают и катионы, и анионы, их называют амфотерными.

Способность ионита к ионному обмену характеризуется **обменной емкостью**, которая равна числу его активных групп, принимающих участие в

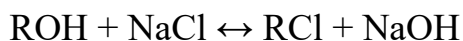
обмене. Для количественной характеристики ионообменных свойств определяют их полную, статическую и рабочую (динамическую) обменные емкости.

Ионный обмен происходит в эквивалентных отношениях, реакции протекают вследствие разности химических потенциалов обменивающихся ионов до установления ионообменного равновесия. Реакция ионного обмена протекает следующим образом:

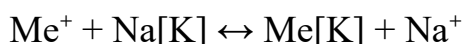
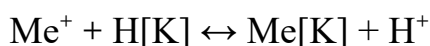
при контакте с катионитом



при контакте с анионитом



Если катиониты находятся в H^+ - или Na^+ - форме, обмен катионов будет проходить по реакции:



где Me^+ – катион, находящийся в сточной воде; $[\text{K}]$ – сложный комплекс катионита.

Расчет установок ионного обмена сводится к определению требуемого количества катионитовых и анионитовых фильтров для очистки сточной воды гальванического производства в зависимости от состава загрязняющих ионов.

1. Расчет катионитового фильтра

Определяется объем катионита, м^3 , по формуле

$$V_{\text{кат}} = \frac{K_{\text{сн}} \cdot Q_{\text{пол}} [\Sigma K]}{n_{\text{фц}} \cdot E_{\text{раб.к}}}, \quad (1)$$

где $K_{\text{сн}} = 1,1 - 1,35$ – коэффициент для учета воды на собственные нужды;

$Q_{\text{пол}}$ – расход обрабатываемой сточной воды, $\text{м}^3/\text{сут}$;

$[\Sigma K]$ – суммарная концентрация катионов в сточной воде, $\text{г-экв}/\text{м}^3$;

$n_{\text{фц}}$ – число регенераций каждого фильтра (не более двух);

$E_{\text{раб.к}}$ — рабочая обменная емкость катионита, г-экв/м³. рассчитывается по следующей формуле:

$$E_{\text{раб.к}} = a_{\text{эф}} \cdot K_{\text{обм}} \cdot E_{\text{полн}} - K_{\text{ион}} \cdot q_{\text{к}} \cdot [\Sigma K]. \quad (2)$$

где $a_{\text{эф}}$ — коэффициент эффективности регенерации, учитывающий полноту регенерации и принимаемый равным при удельных расходах H₂SO₄ в г/г-экв поглощаемых катионов:

<i>расход</i> H ₂ SO ₄	50	100	150	200
<i>величина</i> $a_{\text{эф}}$	0,68	0,85	0,91	0,93

$K_{\text{обм}}$ — коэффициент снижения обменной способности катионита, принимается равным 0,8-0,9;

$E_{\text{полн}}$ — полная обменная емкость катионита г-экв/м³, определяемая по заводским паспортным данным (для катионита КУ-1 = 300 г-экв/м³; для КУ-2 = 800 г-экв/м³);

$K_{\text{ион}} = 0,5$ — коэффициент, учитывающий тип ионита;

$q_{\text{к}}$ — удельный расход воды на промывку ионита, м³/м³ (на промывку 1 м³ Н-катионита принимается 4-6 м³/м³).

Принимая высоту загрузки $H_{\text{к}} = 2,5$ м, определяется площадь катионитовых фильтров, м²

$$F_{\text{кат}} = V_{\text{кат}} / H_{\text{к}}. \quad (3)$$

Диаметр катионитовых фильтров принимается равным $D_{\text{к}} = 2$ м и определяется количество рабочих фильтров:

$$n = F_{\text{кат}} / (\pi r^2). \quad (4)$$

Число округляется до целого, после чего уточняется общая площадь катионитовых фильтров, м²:

$$F_{\text{общ}} = n \pi r^2. \quad (5)$$

Для установки принимается n рабочих фильтров и 1 резервный.

Определяется скорость фильтрования воды, м/ч, через катионитовые фильтры:

$$v_k = Q_{\text{пол}} / (24 F_{\text{общ}}). \quad (5)$$

Регенерация катионитового фильтра проводится 7-10 % -ми растворами кислот (соляной или серной), затем катионит промывают водой со скоростью 6-8 м³/ч.

2. Расчет анионитового фильтра (очистка от анионов сильных кислот)

Расчетная скорость фильтрования воды через фильтры, м/ч, определяется по формуле

$$V_{\text{ан}} = \frac{E_{\text{раб ан}} \cdot H_{\text{ан}} - 0,5 H_{\text{ан}} \cdot [A]}{T \cdot [A] + 0,02 E_{\text{раб ан}} \cdot \ln[A] - 0,1 [A] \cdot \ln[A]}, \quad (6)$$

где $E_{\text{раб ан}}$ – рабочая обменная емкость анионитов, г-экв/м³

(для анионита АВ-17 $E_{\text{раб ан}} = 80$; для АН-18 = 1000, для ЭДЭ -1050 = 800).

$H_{\text{ан}}$ – высота загрузки анионитного фильтра, принимается равной 2,5 м;

$[A]$ – содержание анионов сильных кислот в сточной воде (Cl^- , SO_4^{2-}), г-экв/м³;

T – продолжительность работы каждого цикла между регенерациями, ч, которая находится по формуле

$$T = \frac{24}{n_{\text{рег}}} - (t_1 + t_2 + t_3) \quad (7)$$

здесь $n_{\text{рег}} = 2 - 3$ – число регенераций в сутки;

$t_1 = 0,25$ ч – продолжительность взрыхления анионита;

$t_2 = 1,5$ ч – продолжительность пропускания через анионит регенерационного раствора щелочи;

$t_3 = 3$ ч – продолжительность отмывки анионита после регенерации.

Общая площадь анионитовых фильтров, м², определяется как

$$F_{\text{ан}} = \frac{Q_{\text{пол}}}{n_{\text{рег}} \cdot T \cdot V_{\text{ан}}}.$$
(8)

Принимается диаметр анионитовых фильтров равным $D_{\text{к}} = 2\text{м}$ и определяется количество рабочих фильтров:

$$n = F_{\text{ан}} / (\pi r^2).$$
(9)

Число округляется до целого, после чего уточняется общая площадь катионитовых фильтров, м^2 :

$$F_{\text{общ}} = n \pi r^2.$$
(10)

Принимается n рабочих фильтров и 1 резервный.

Далее определяется фактическая скорость фильтрования воды через анионитовые фильтры, м/ч :

$$v_{\text{к}} = Q_{\text{пол}} / (n_{\text{рег}} \cdot T \cdot F_{\text{общ}}).$$
(11)

Регенерация анионитовых фильтров осуществляется 4-6 %-м раствором NaOH, кальцинированной соды или аммиака. При необходимости рассчитываются фильтры 2-ой ступени.

Флотация — процесс молекулярного прилипания частиц флотируемого материала к поверхности раздела двух фаз, обычно газа (чаще воздуха) и жидкости, обусловленный избытком свободной энергии поверхностных пограничных слоев, а также поверхностными явлениями смачивания.

Флотационные установки используют для удаления из сточных вод масел, нефтепродуктов, жиров, смол, гидроксидов, ПАВ и других органических веществ, твердых частиц с гидравлической крупностью менее $0,01 \text{ мм/с}$, полимеров, волокнистых материалов, а также для разделения иловых смесей.

Процесс очистки сточных вод методом флотации заключается в образовании комплексов «частицы—пузырьки», всплывании этих комплексов

и удалении образовавшегося пенного слоя с поверхности обрабатываемой жидкости. Прилипание частицы, находящейся в ней, к поверхности газового пузырька возможно только тогда, когда наблюдается несмачивание или плохое смачивание частицы жидкостью.

Смачивающая способность жидкости зависит от ее полярности, с возрастанием которой способность жидкости смачивать твердые тела уменьшается. Внешним проявлением способности жидкости к смачиванию является величина поверхностного натяжения ее на границе с газовой фазой, а также разность полярностей на границе жидкой и твердой фаз. Процесс флотации идет эффективно при поверхностном натяжении воды не более 60...65 мН/м. Большое значение при флотации имеют размер, количество и равномерность распределения воздушных пузырьков в сточной воде. Оптимальные размеры воздушных пузырьков 15...30 мкм, а максимальные 100...200 мкм.

Для интенсификации образования агрегатов пузырьков — частица в воду добавляют различные реагенты: собиратели, пенообразователи, регуляторы, которые увеличивают гидрофобизацию поверхности частиц, дисперсность и устойчивость газовых пузырьков.

Наиболее благоприятные условия разделения достигаются при соотношении между твердой и газообразной фазами $G_{\text{возд}}/G_{\text{ч}} = 0,01...0,1$. Это соотношение определяется по формуле

$$G_{\text{возд}}/G_{\text{ч}} = 1,3 Y^*(f P - 1) Q_1 / C Q, \quad (12)$$

где $G_{\text{возд}}$ — масса воздуха, г; $G_{\text{ч}}$ — масса суспензированных веществ, г; Y^* — растворимость воздуха в воде при атмосферном давлении и данной температуре, см³/л; f — степень насыщения; обычно $f = 0,5...0,8$; P — абсолютное давление, при котором вода насыщается воздухом; Q_1 — количество воды, насыщенной воздухом, м³/ч; Q — расход сточной воды, м³/ч; $C_{\text{ч}}$ — концентрация суспензированных веществ, г/м³.

В практике очистки сточных вод разработаны различные конструктивные схемы, приемы и методы флотации. Метод пенной флотации применяют для извлечения нерастворенных и частичного снижения концентрации некоторых растворенных веществ, метод пенной сепарации — для удаления растворенных веществ.

Существенные отличия способов флотации связаны с насыщением жидкости пузырьками воздуха определенной крупности. По этому принципу можно выделить следующие способы флотационной обработки производственных сточных вод:

- 1) флотация с выделением воздуха из раствора (вакуумные, напорные и эрлифтные флотационные установки);
- 2) флотация с механическим диспергированием воздуха (импеллерные, безнапорные и пневматические флотационные установки);
- 3) флотация с подачей воздуха через пористые материалы;
- 4) электрофлотация;
- 5) биологическая и химическая флотация.

Флотационные установки могут состоять из одного или двух отделений (камер). В однокамерных установках в одном и том же отделении происходят одновременно насыщение жидкости пузырьками воздуха и всплывание флотирующихся загрязнений. В двухкамерных установках, состоящих из приемного и отстойного отделений, в первом отделении происходит образование пузырьков воздуха и агрегатов «пузырек—частица», а во втором — всплывание шлама (пены) и осветление жидкости.

Пневматические флотационные установки применяют при очистке сточных вод, содержащих растворенные примеси, агрессивные к механизмам (насосам, импеллерам и др.), имеющим движущиеся части.

Расчет пневматической флотационной установки

Расчет флотационной установки очистки сточных вод сводится к определению размеров флотатора и характеристик устройства для подачи воздуха во флотационную камеру.

Объем флотатора, м³, определяется по формуле

$$V_{\Phi} = Q t_{\Phi} / [60 (1 - K_{\text{аэр}})], \quad (13)$$

где Q – расход сточных вод, м³/ч;

t_{Φ} – время флотации, мин;

$K_{\text{аэр}}$ – коэффициент аэрации.

Площадь флотатора, м², рассчитывается по формуле

$$F_{\Phi} = V_{\Phi} / H_{\Phi}, \quad (14)$$

где H_{Φ} – рабочая глубина флотатора.

Требуемый расход воздуха на проведение процесса флотации, м³/ч, находится по формуле

$$Q_{\text{в}} = I F_{\Phi}, \quad (15)$$

где I – интенсивность аэрации, м³/(м²·ч).

Количество флотаторов (n_{Φ}) для проведения процесса флотации принимается, исходя из ширины $B_{\Phi} = 3$ м и длины $l_{\Phi} = 7,5$ м. По дну флотаторов поперек секций располагаются воздухораспределительные трубы на расстоянии $l_{\text{тр}} = 0,25$ м друг от друга; общее число труб в каждом флотаторе равно

$$n_{\text{тр}} = l_{\Phi} / l_{\text{тр}} = 7,5 / 0,25 = 30. \quad (16)$$

Общее число сопел во флотаторе

$$n_{\text{с}} = Q_{\text{в}} / (3600 f_{\text{с}} v_{\text{с}}), \quad (85)$$

где $f_{\text{с}}$ – площадь отверстия каждого сопла, $f_{\text{с}} = 0,000000785$ м² (если диаметр отверстия

сопла $d_{\text{с}} = 1$ мм);

$v_{\text{с}}$ – скорость выхода струи воздуха из сопел, $v_{\text{с}} = 100$ м/с.

Число сопел на каждой воздухораспределительной трубе n'_c находятся по формуле

$$n'_c = n_c / (2 n_{\text{тр}}); \quad (17)$$

Расстояние между соплами на воздухораспределительной трубе

$$l_c = B_{\Phi} / n'_c. \quad (18)$$

Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы студентам необходимо иметь при себе тетрадь, ручку, калькулятор для выполнения расчетов.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдение требований инструкции при работе в лаборатории.

Методика и порядок выполнения работы

Сделать конспект теоретической части работы;

Ознакомьтесь с теоретической частью работы;

1. Рассчитать ионообменную установку для обезвреживания сточных вод гальванического цеха после их предварительной механической очистки. Исходные данные (таблица 2):

- расход сточных вод $Q_{\text{пол}}$, м³/сут;
- марка катионита;
- марка анионита
- Удельный расход H₂SO₄
- Ионный состав сточных вод приведен в следующей таблице 1

Таблица 1 – Ионный состав сточных вод

Наименование катиона	Содержание катионов, г/м ³	Наименование аниона	Содержание анионов, г/м ³
Cr ⁶⁺	120	CN [–]	90

Zn ²⁺	15	Cl ⁻	160
Cu ²⁺	12	SO ₄ ²⁻	470
Ni ²⁺	90	Σ[A]	720
Σ[K]	237		

Для расчета количества вещества в г/м³ на 1 г-экв/м³ необходимо молярную массу иона разделить на заряд иона. Содержание вещества в г-экв/м³ определяется отношением содержания вещества в г/м³ к найденному значению количества вещества в г/м³ на 1 г-экв/м³.

Пересчет количества вещества в г-экв/м³

Наименование катиона	Содержание вещества, г/м ³	Количество вещества, г/м ³ на 1 г-экв/м ³	Содержание вещества, г-экв/м ³	Наименование аниона	Содержание вещества, г/м ³	Количество вещества, г/м ³ на 1 г-экв/м ³	Содержание вещества, г-экв/м ³
Cr ⁶⁺	120			CN ⁻	90		
Zn ²⁺	15			Cl ⁻	160		
Cu ²⁺	12			SO ₄ ²⁻	470		
Ni ²⁺	90			Σ[A]	720		
Σ[K]		237		—		17,75	

Таблица 2 - Варианты исходных данных

Вариант	Q _{пол} , м ³ /сут	Марка катионита;	марка анионита	Удельный расход H ₂ SO ₄
1	1200	КУ-1	АВ-17	50
2	1500	КУ-2	АН-18	100
3	1000	КУ-1	ЭДЭ-1050	150
4	1700	КУ-2	АВ-17	200
5	2000	КУ-1	АН-18	50
6	1600	КУ-2	ЭДЭ-1050	100
7	1100	КУ-1	АВ-17	150
8	1300	КУ-2	АН-18	200
9	1800	КУ-1	ЭДЭ-1050	50
10	1200	КУ-2	АВ-17	100
11	1500	КУ-1	АН-18	150
12	1000	КУ-2	ЭДЭ-1050	200
13	1700	КУ-1	АВ-17	50
14	2000	КУ-2	АН-18	100
15	1600	КУ-1	ЭДЭ-1050	150
16	1100	КУ-2	АВ-17	200
17	1300	КУ-1	АН-18	50

2. Рассчитать пневматическую флотационную установку при следующих исходных данных

Расход сточных вод	$Q, \text{ м}^3 / \text{ ч}$
Время флотации	$t_{\text{ф}}, \text{ мин}$
Коэффициент аэрации	$K_{\text{аэр}}$
Рабочая глубина флотатора	$H_{\text{ф}}, \text{ м}$
Интенсивность аэрации	$I, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$

Таблица - Варианты расчетных данных

Вариант	$Q, \text{ м}^3 / \text{ ч}$	$t_{\text{ф}}, \text{ мин}$	$K_{\text{аэр}}$	$H_{\text{ф}}, \text{ м}$	$I, \text{ м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч}).$
1	400	12	0,25	3	20
2	300	13	0,2	2,2	19
3	500	14	0,21	2,5	18
4	350	15	0,22	3,1	17
5	450	16	0,3	2,3	19
6	500	17	0,23	2,4	20
7	330	18	0,4	2,6	21
8	370	11	0,3	2,7	23
9	430	12	0,25	2,8	24
10	400	15	0,27	2,9	21
11	500	14	0,28	2,5	22
12	500	20	0,3	2,8	23
13	350	16	0,35	3,0	24
14	450	13	0,36	3,2	21
15	500	17	0,39	3,3	22
16	330	18	0,4	3,5	23
17	400	19	0,3	3,4	24

Содержание отчета и его форма

1. Тема работы;
2. Цель и содержание
3. Расчетные формулы, заполненные таблицы, выполненные задания
4. Вывод

Лабораторная работа 6

Исследование аппаратов биологической очистки сточных вод

Цель работы: приобретение навыков расчета аппаратов биологический

Теоретическое обоснование

Процесс биологической очистки основан на способности микроорганизмов использовать загрязняющие вещества сточных вод для своего питания. Контактируя с органическим веществом, микроорганизмы частично разрушают его, превращая в воду, CO₂ и другие простые вещества. Разрушение органических веществ с помощью микроорганизмов называется биохимическим окислением. Для этой цели используют, преимущественно, аэробные процессы биохимического окисления органических веществ, растворенных в жидкой фазе сточных вод [1]. Такие процессы осуществляются как в естественных условиях (поля фильтрации или орошения и биологические пруды), так и в искусственно созданных очистных сооружениях – биологических реакторах (биофильтры и аэротенки). Действующим началом биологической очистки в аэротенках является активный ил, а в биофильтрах – биопленка, представляющие собой частицы органического вещества, населенные различными группами микроорганизмов. Методы биологической очистки по типу дыхания микроорганизмов, обеспечивающих протекание процессов биохимического окисления, подразделяются на анаэробные и аэробные. При аэробном методе очистки микроорганизмы культивируются в активном иле или в биопленке.

Биофильтры классифицируются по ряду признаков.

По степени очистки: на полную и неполную биологическую очистку.

По способу подачи воздуха: с искусственной аэрацией (*аэрофильтры*) и с естественной подачей воздуха.

По режиму работы: с рециркуляцией сточной воды, т.е. с возвратом части очищенной жидкости в биофильтр или без нее.

По технологической схеме: одно- и двухступенчатые биофильтры.

По пропускной способности: биофильтры малой пропускной способности (*капельные*) и большой (*высоконагружаемые*).

По типу загрузочного материала: биофильтры с объемной загрузкой (гравий, шлак, керамзит, щебень) и с плоскостной загрузкой (пластмассы, ткани, асбоцемент, керамика, металл).

Биофильтры с объемной загрузкой подразделяются по высоте загрузки на *капельные* ($1 \div 2$ м); *высоконагружаемые* ($2 \div 4$ м) и *башенные* ($8 \div 16$ м).

Биофильтры с плоскостной загрузкой подразделяются на биофильтры:

- *с жесткой засыпной загрузкой* (керамические, пластмассовые или металлические насыпные элементы);
- *с жесткой блочной загрузкой* (гофрированные или плоские листы или пространственные элементы);
- *с мягкой или рулонной загрузкой*, выполненной из металлических или пластмассовых сеток, синтетических тканей, которые крепят на каркасах или укладывают в рулонах;
- *погружные биофильтры*, состоящие из пакетов дисков, насаженных на горизонтальную ось вращения.

Капельные биофильтры рекомендуется применять при полной биологической очистке сточных вод при их расходе не более 1000 м³ в сутки. Гидравлическая нагрузка на капельных биофильтрах составляет $1 \div 3$ м³ на 1 м² поверхности загрузки в сутки. Рециркуляцию сточной воды на капельных биофильтрах применяют при значении БПК_{полн} сточной воды более 220 мг/л. Недостатками капельных биофильтров являются

низкая производительность и частые заиливания поверхности загрузочного материала.

Высоконагружаемые биофильтры применяют для полной и неполной биологической очистки сточных вод на станциях производительностью до 50000 м³ в сутки. Допустимое значение БПК_{полн} сточных вод без рециркуляции составляет 300 мг/л, а гидравлическая нагрузка – 10÷30 м³ на 1 м² поверхности загрузки в сутки.

Башенные биофильтры применяются для очистных сооружений с производительностью до 50000 м³ в сутки и при БПК_{полн} очищенных сточных вод до 20÷25 мг/л.

Биофильтры с плоскостной загрузкой компактны, имеют малую энергоемкость, надежны в эксплуатации, не подлежат заилению. Плотность загрузки составляет 10÷250 кг/м³, удельная площадь поверхности 60÷250 м²/м³. Гидравлическая нагрузка на 1 м³ объема биофильтра в сутки составляет 6÷18 м³.

Погружные биофильтры представляют собой комбинированные сооружения для биологической очистки сточных вод, имеющие признаки биофильтров и аэротенков. По виду пространственных конструкций погружные фильтры бывают *дисковые, шнековые, трубчатые, барабанные*.

Применяются для полной и неполной биологической очистки бытовых и производственных сточных вод с расходами от 1 м³ в сутки до 150 тыс. м³ в сутки. Оптимальная область применения – комплексы сооружений пропускной способностью 500 ÷ 1000 м³ в сутки по очистке сточных вод от отдельно стоящих зданий, малых населенных пунктов, кемпингов, санаторий, домов отдыха и т.п. 19

В технологической схеме станции очистки погружные биофильтры занимают место между сооружениями предварительной механической очистки и вторичными отстойниками.

Методика расчета капельных биофильтров

Без рециркуляции

1. Определяется коэффициент

$$K_{bf} = L_{en} / L_{ex}, \quad (1)$$

где L_{en} и L_{ex} – БПКполн поступающей и очищенной сточной воды, мг/л.

2. Находится высота биофильтра H_{bf} и гидравлическая нагрузка q_{bf} исходя из среднезимней температуры сточной воды T_w и значения K_{bf} по табл. 1.

3. По суточному расходу сточной воды Q_w , м³/сут, рассчитывается общая площадь биофильтров

$$F_{bf} = Q_w / q_{bf}, \text{ м}^2 \quad (2)$$

4. Подбирается количество секций n_{bf} и размеры типовых биофильтров. Число и размеры секций зависят от способа распределения сточной воды по поверхности. Обычно количество секций должно быть не менее 2 и не более 6÷8. Все секции рабочие.

В практике проектирования применяют биофильтры прямо-угольной формы в плане с размерами сторон 3х3; 3,6х4; 9х12; 12х12; 15х15; 12х18 и др., с высотой загрузки 2,3; 3 и 4 м, а также круглой формы в плане диаметром 6, 12, 18, 24, 30 м, с высотой слоя загрузки 2, 3 и 4 м.

Таблица 1 – Параметры для расчета капельных фильтров

Гидравлическая нагрузка q_{bf} , м ³ /(м ² ·сут)	Коэффициент K_{bf} при температурах T_w °С и высоте H_{bf} , м							
	$T_w = 8$		$T_w = 10$		$T_w = 12$		$T_w = 14$	
	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$	$H_{bf}=1,5$	$H_{bf}=2$
1,0	8,0	11,6	9,8	12,6	10,7	13,8	11,4	15,1
1,5	5,9	10,2	7,0	10,9	8,2	11,7	10,0	12,8
2,0	4,9	8,2	5,7	10,0	6,6	10,7	8,0	11,5
2,5	4,3	6,9	4,9	8,3	5,6	10,1	6,7	10,7
3,0	3,8	6,0	4,4	7,1	6,0	8,6	5,9	10,2

5. Рассчитывается объем загрузки

$$V_{bf} = n_{bf} \cdot F_1 \cdot H_{bf}, \text{ м}^3, \quad (3)$$

где F_1 – площадь одной секции биофильтра, м^2 .

6. Определяется объем избыточной биопленки V_{mud} , выносимой во вторичные отстойники, $\text{м}^3/\text{сут}$,

$$V_{mud} = \frac{100 \cdot q_{mud} \cdot Q_w \cdot L_{en}}{10^6 \cdot (100 - P_{mud}) \cdot \alpha} \quad (4)$$

где q_{mud} – удельное количество избыточной биопленки, принимается из расчета $8 \text{ г}/(\text{чел} \cdot \text{сут})$; P_{mud} – влажность биопленки, равная 96% ; α – количество БПК в сточной воде на одного жителя в сутки, $\text{г}/(\text{чел} \cdot \text{сут})$.

С рециркуляцией

1. По формуле (1) определяется коэффициент K_{bf} , причем вместо значения L_{en} подставляется максимально допустимое значение $\text{БПК}_{\text{полн}}$ (220 мг/л).

2. По табл. 1 определяется гидравлическая нагрузка q_{bf} и высота биофильтра H_{bf} .

3. Рассчитывается среднее значение $\text{БПК}_{\text{полн}}$ в смеси стоков перед биофильтром

$$L_{mix} = L_{ex} \cdot K_{bfmin}, \text{ мг/л}, \quad (5)$$

где K_{bfmin} – наименьшее ближайшее к K_{bf} значение в табл. 1.

4. Определяется коэффициент рециркуляции K_{rec} :

$$K_{rec} = (L_{en} - L_{mix}) / (L_{mix} - L_{ex}) \quad (6)$$

5. Определяется площадь биофильтров F_{bf} :

$$F_{bf} = Q_w(K_{rec} + 1) / q_{bf}, \text{ м}^2 \quad (7)$$

6. Подбираются количество и размеры типовых биофильтров, рассчитывается объем загрузки $V_{\text{б}}$ и количество избыточной биопленки V_{mud} по формулам (3) и (4).

Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы студентам необходимо иметь при себе тетрадь, ручку, калькулятор для выполнения расчетов.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдение требований инструкции при работе в лаборатории.

Методика и порядок выполнения работы

1. Сделать конспект теоретической части работы;
2. Ознакомьтесь с теоретической частью работы;
3. Рассчитать капельный биофильтр. *Исходные данные.* Суточный расход сточных вод $Q_w = 780$ м³/сут; БПК_{полн} поступающей сточной воды $L_{\text{en}} = 185$ мг/л; БПК_{полн} очищенной сточной воды $L_{\text{ex}} = 15$ мг/л; среднесуточная температура $T_w = 13$ °С; количество БПК_{полн} в сточной воде на одного жителя в сутки $\alpha = 40$ г/(чел·сут).
4. Рассчитать капельный биофильтр *Исходные данные.* БПК_{полн} поступающей сточной воды $L_{\text{en}} = 255$ мг/л, остальные данные из примера

Содержание отчета и его форма

1. Тема работы;
2. Цель и содержание
3. Расчетные формулы, заполненные таблицы, выполненные задания
4. Вывод

Лабораторная работа 7

Оценка полигона для размещения ТБО

Цель работы: приобретение навыков расчета высоконагружаемого полигона твердых бытовых отходов для условного населенного пункта.

Теоретическое обоснование

В настоящее время для любого населенного пункта проблема удаления или обезвреживания твердых бытовых отходов (ТБО) является, в первую очередь, проблемой экологической. При этом важно, чтобы процессы утилизации ТБО не нарушали экологическую безопасность города, нормальное функционирование городского хозяйства и не ухудшали условия жизни населения.

Производственная и бытовая деятельность человека неминуемо связана с образованием твердых отходов. Если газообразные и жидкие отходы сравнительно быстро поглощаются природной средой, то ассимиляция твердых отходов длится десятки и сотни лет. Места складирования отходов занимают громадные территории. Ежегодно в Украине складывается до 1,5 млрд. т твердых отходов. Свалки отходов занимают более 150 тыс.га.

Проблема отходов — это проблема больших городов, и чем больше город, тем эта проблема острее.

Отходы - какие-либо вещества, материалы и предметы, которые образуются в процессе человеческой деятельности и не имеют дальнейшего использования по месту их образования или появления, от которых их собственник должен избавиться путем утилизации или уничтожения [1].

Твердые бытовые отходы (ТБО) — непригодные для дальнейшего использования пищевые продукты и предметы быта, выбрасываемые человеком, не утилизированные, образующиеся в результате амортизации предметов быта и самой жизни людей вещества [2].

Исторически «муниципальными отходами» называли отходы, захоронением которых занимались городские власти. Однако в настоящее время в развитых странах значительное количество бытовых отходов собирается и перерабатывается не городскими коммунальными службами, а частными предприятиями, которые также имеют дело с промышленными отходами [3].

Утилизация отходов - это использование отходов как вторичных материальных или энергетических ресурсов [1]. Утилизация — употребление с пользой (от лат. слова utilis — польза).

Реутилизация (рецикл) — получение из использованной готовой продукции путем ее переработки новой продукции того же или близкого ей типа (например, бумаги из макулатуры, металла из металлолома и др.). Использование ТБО в качестве исходного продукта для другого производства также является одним из видов реутилизации.

Классификация отходов

Отходы подразделяются на:

- бытовые (коммунальные) — твердые и жидкие отходы, не утилизируемые в быту, образующиеся в результате жизнедеятельности людей и амортизации предметов быта;
- промышленные — остатки сырья, материалов, полуфабрикатов, образовавшиеся при производстве продукции или выполнении работ и утратившие полностью или частично исходные потребительские свойства;
- сельскохозяйственные — отходы, образующиеся в ходе сельскохозяйственного производства;
- строительные — отходы, образующиеся в процессе строительства зданий, сооружений (в том числе дорог и других коммуникаций) и производстве строительных материалов;
- потребления — изделия и машины, утратившие свои потребительские свойства в результате физического или морального износа;
- радиоактивные — неиспользуемые радиоактивные вещества и материалы, образующиеся при работе ядерных реакторов, при производстве и

применении радиоактивных изотопов.

Отходы промышленного и сельскохозяйственного производства называются также производственными отходами. Они могут быть токсичными и нетоксичными.

Токсичные — отходы, способные вызывать отравление или иное поражение живых существ.

Состав, свойства и объем твердых бытовых отходов

Морфологический состав. В состав ТБО входят следующие компоненты представленные в таблице 1 [3].

Таблица 1 - Морфологический состав ТБО

Наименование ТБО	Процентное содержание, %
бумага, картон	20,0 - 30,0
пищевые отходы	28,0 - 45,0
дерево	1,5 - 4,0
металл черный	1,5 - 4,5
металл цветной	0,2 - 0,3
текстиль	4,0 - 7,0
кости	0,5 - 2,0
стекло	3,0 - 8,0
кожа, резина, обувь	1,0 - 4,0
пластмасса	1,5 - 5,0
прочее	1,0 - 3,0

Процентные соотношения морфологического состава ТБО весьма условны, так как на соотношение составляющих оказывают влияние степень благоустройства жилого фонда, сезоны года, климатические и другие условия. В составе ТБО постоянно увеличивается содержание бумаги, пластмасс, фольги, различного рода банок, полиэтиленовых пленок и других упаковок.

Особенно велики сезонные колебания пищевых отходов — с 28% весной до 45% и более летом и осенью.

В состав пищевых отходов входят картофельные очистки, отходы овощей, фруктов, хлеба и хлебобулочных изделий, мясные и рыбные отходы, яичная скорлупа и другие. Они содержат крахмал, жиры, белки, углеводы, клетчатку, витамины. Влажность пищевых отходов колеблется от 60...70% весной до 80...85% летом и осенью. Влажность пищевых отходов ресторанов, столовых и других предприятий питания достигает 95%.

Ранее в регионах отходы складировались в основном на неподготовленных и необустроенных свалках. При такой организации свалок главную роль играли факторы, учитывающие сиюминутную экономию средств при эксплуатации свалок. Поэтому свалки оказались расположенными в основном на неиспользуемых землях, в отработанных карьерах стройматериалов, вблизи населенных пунктов. Игнорирование роли геологических условий при выборе участков под свалки ТБО и пренебрежение природоохранными мероприятиями привели к тому, что многие свалки стали источниками интенсивного воздействия на природную среду и человека. С каждым годом в регионах усиливается противоречие между городом (основной производитель ТБО) и пригородом (куда вывозят отходы на захоронение).

Решение проблемы экологической безопасности ТБО хорошо известно - вовлечение их в промышленную переработку и утилизацию. На данный момент наметились три пути решения этого вопроса: термическая обработка бытовых отходов, аэробное биотермическое компостирование, размещение и захоронение бытовых отходов на полигонах.

Условия размещения полигонов ТБО

Полигоны ТБО размещают при выполнении следующих условий.

На землях несельскохозяйственного назначения, непригодных для сельского хозяйства, ухудшенного качества, не занятых зелеными насаждениями.

На участках, где есть возможность осуществления мероприятий и внедрения инженерных решений, исключающих загрязнение окружающей природной среды, развитие опасных геологических процессов или других негативных процессов и явлений.

На участках, прилегающих к городским территориям, если они не включены в жилую застройку в соответствии с генеральным планом развития города на ближайшие 25 лет, а также под перспективную застройку.

На участках, характеризующихся природной защищенностью подземных вод от загрязнения.

За границами зон возможного влияния на водозаборы, поверхностные воды, заповедники, курорты и т.д.

С учетом розы ветров относительно жилой застройки, зон отдыха и других мест массового пребывания населения, за границами санитарно-защитной зоны.

За границами городов.

На расстоянии, не менее:

- 15 км от аэропортов;
- 3 км от границы курортного города, открытых водоемов хозяйственного назначения, объектов, используемых в культурно-оздоровительных целях, заповедников, мест отдыха перелетных птиц, морского побережья;
- 1 км от границы городов;
- 0,5 км от жилой и общественной застройки (санитарнозащитная зона);
- 0,2 км от сельскохозяйственных угодий и от автомобильных и железнодорожных путей общей сети;
- 0,05 км от границы леса и лесопосадок, не предназначенных для использования в рекреационных целях.

Грунтовые воды на участке размещения полигонов ТБО должны находиться на глубине не менее 2 м от его основания.

Полигоны ТБО в зависимости от особенностей расположения в рельефе делятся на:

- равнинные (расположенные на относительно ровной поверхности с уклоном рельефа до 5 %);
- склоновые (расположенные на склонах рельефа с уклоном местности более 5 %);
- водораздельные (расположенные на водораздельных пространствах);
- овражно-балочные (расположенные в природных понижениях рельефа, балках и оврагах);
- котлованные или карьерные (расположенные в искусственных выемках или карьерах после добычи строительных материалов или полезных ископаемых);
- горные (расположенные в горной местности);
- смешанные (например, карьерно-склоновые и др.).

Рекомендуемая площадь участка складирования ТБО при сроке эксплуатации 15 лет представлена в таблице 2 [4].

Таблица 2 - Рекомендуемая площадь участка складирования ТБО, га

Средняя численность обслуживаемого населения, тыс.чел.	Средняя высота складирования ТБО, м					
	12	20	25	35	45	60
50	6,5	5,5	—	—	—	—
100	12,	8,5	7,5	—	—	—
250	31,	21,	16,	13,	—	—
500	61,	41,	31,	23,	20	—
750	91,	61,	46,	34,	26	—
1000	12	81,	61,	45,	35	32,

При проектировании высотных полигонов ТБО наиболее экономичными являются земельные участки, близкие по форме к квадрату, и предполагающие максимальную высоту складирования ТБО. Заложение откосов высотного полигона определяется расчетами надежности в зависимости от физико-

механических характеристик ТБО и грунтов карьеров, из которых будут отсыпаться ограждающие сооружения. По контуру подошвы склонов высотного полигона ТБО следует предусмотреть лотки для сбора и отвода фильтрата.

Схематически разрез высотного полигона ТБО представлен на рисунке 1.

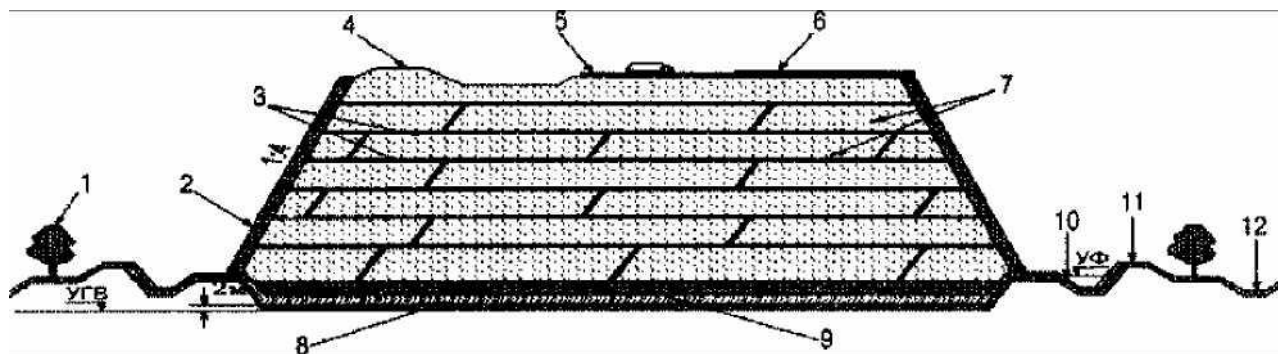


Рисунок 1 - Схема высотного полигона ТБО

1 - лесная полоса; 2 - боковой внешний изолирующий слой; 3 - промежуточный изолирующий слой; 4 - ТБО, укладываемые на рабочей карте; 5 - временная тупиковая дорога; 6 - временный проезд с твердым покрытием; 7 - твердые бытовые отходы; 8 - естественное или искусственное водонепроницаемое основание; 9 - насыщенные фильтратом отходы; УФ - уровень фильтрата, УГВ - уровень грунтовых вод; 10 - лоток для сбора и отвода фильтрата дождевых и талых вод со склонов; 11 - обваловка фильтратосборного лотка; 12 - нагорная канава для сбора и отвода незагрязненного поверхностного стока (дождевых и талых вод).

Фильтрат - жидкая фаза, образующаяся на полигоне при захоронении ТБО влажностью более 55% и вследствие атмосферных осадков, объем которых превышает количество влаги, испаряющейся с поверхности полигона.

Дно и откосы котлована должны иметь противофильтрационные экраны из природных материалов с коэффициентом фильтрации воды не более 10^{-9} м/с и толщиной не менее 1,0 м.

Если противофильтрационный экран из минерального грунта не отвечает требованиям, применяется искусственный противофильтрационный экран, имеющий коэффициент фильтрации воды не более 10^{-9} м/с, срок службы более 75 лет, стойкий к возможным нагрузкам, ультрафиолетовому излучению и повреждению грызунами. Для защиты искусственной гидроизоляции от механических повреждений на ее поверхность насыпают слой мелкого песка, измельченного суглинка или мелкозернистых промышленных отходов (IV класса опасности) с размером зерна не более 0,5 мм, мощностью не менее 0,5 м. Материал искусственной гидроизоляции должен быть химически стойким к длительному воздействию фильтрата.

Нормы накопления ТБО

Рекомендуемые нормы накопления ТБО представлены в таблице 3.

Таблица 3 - Рекомендованные нормы накопления ТБО

Тип жилья	Нормы накопления ТБО, м /чел. в год	Плотность, кг/м ³
Полностью благоустроенное	1,09 - 1,12	235 - 245
Неблагоустроенное одноэтажное здание с приусадебным участком	1,41	410

Расчет полигона твердых бытовых отходов проводится по следующим этапам.

1. Определение общей вместимости полигона ТБО

Для этого необходимы следующие данные:

- 1) расчетный срок эксплуатации полигона T , лет;
- 2) удельная норма образования отходов на одного человека в год W_1 , м³/челгод; в среднем $W_1 = 1,2$ м³/челгод.
- 3) скорость ежегодного прироста удельной нормы U , %; принимаем $U = 1,8\%$;
- 4) численность населения города на момент проектирования полигона N_1 , чел;

- 5) прогнозируемая численность населения города через T лет - N_2 , чел.;
- 6) ориентировочная высота «холма» ТБО на полигоне, согласованная с архитектурно-планировочным управлением города, H_{II}^{OP} , м;

2.1.1. Определение удельной нормы образования W_2 отходов через T лет, $m^3/чел \text{ год}$

$$W_2 = W_1 \cdot \left(1 + \frac{U}{100}\right)^T$$

2. Расчет общей вместимости полигона E_T , m^3

$$E_T = \frac{W_1 + W_2}{2} \cdot \frac{N_1 + N_2}{2} \cdot \frac{K_2}{K_1} \cdot T,$$

где N_1 - численность населения города на момент проектирования полигона, чел;

N_2 - численность населения на момент ввода полигона в эксплуатацию и спустя время T , чел.;

K - коэффициент уплотнения ТБО за весь период T ;

K_2 - объем изолирующих слоев грунта;

T - период эксплуатации полигона до его закрытия, лет;

Коэффициенты K_1 и K_2 определяются по таблице 2 и 3 в зависимости от ориентировочной высоты «холма» полигона ТБО H_{II}^{OP} , м.

Таблица 2 - Значения коэффициента K_1

Масса бульдозера, т	Ориентировочная	K_2
14	10	3,7
14	10.30	4,0
20...25	более 30	4,5

Таблица 3 - Значения коэффициента K_2

$$S_{yc} = \frac{3 \cdot V}{H} = \frac{3 \cdot E_T}{H_{II}^{op}}$$

$H_{II}, \text{ м}$	< 5,0	5-7	7,1-9,0	12	15	39	50
K_2	1,37	1,27	1,25	1,24	1,2	1,18	1,16

3. Определение площади полигона

Основание полигона принимаем в виде прямоугольника, а форму «холма» отходов - в виде усеченной пирамиды.

Из объема пирамиды ($V = S \cdot H_{II} / 3$) определяют ее основание (площадь участка складирования ТБО) $S_{yc}, \text{ м}^2$

Вокруг участка складирования отходов должны быть свободная площадь для движения и работы транспорта, механизмов, обслуживающего персонала и подъездных дорог. Поэтому необходимая под полигон площадь $S_n (\text{м}^2)$ должна быть больше участка складирования S_{yc} для размещения вспомогательной зоны S_{Bcn} (принимаем $S_{Bcn} = 0,6 \text{ га}$) и проездных дорог (коэффициент 1,1)

4. Уточнение высоты «холма» ТБО и расчет параметров котлована

Практика показывает, что грунт для изолирующих промежуточных слоев, а в будущем для рекультивационного (верхнего) слоя при закрытии

свалки экономически целесообразно заготавливать из котлована под основание участка складирования ТБО.

Холм полигона имеет вид усеченной пирамиды. Объем усеченной пирамиды $V, \text{ м}^3$ («холма» ТБО) можно определить по формуле:

$$V = \frac{1}{3} \cdot (S_H + S_B + \sqrt{S_H \cdot S_B}) \cdot H$$

где S_H, S_B - площадь нижнего и верхнего основания пирамиды, м^2 ; H - высота пирамиды, м .

Таким образом, общая вместимость полигона $E_{\Pi}, \text{ м}^3$

$$E_{\Pi} = \frac{1}{3} \cdot (S_{\text{yc}} + S_B + \sqrt{S_{\text{yc}} \cdot S_B}) \cdot H_{\Pi}$$

Отсюда, уточняем высоту полигона $H_{\Pi}, \text{ м}$

Площадь верхнего основания холма полигона представляет форму квадрата. Принимаем $S_B = 40 \times 40 \text{ м}^2$.

Определяем требуемый объем грунта $V_{\Gamma}, \text{ м}^3$

$$V_{\Gamma} = E_{\Pi} \cdot \left(1 - \frac{1}{K_2} \right)$$

Глубина котлована $H_K (\text{м})$ с учетом откосов (коэффициент 1,1) равна:

$$H_K = 1,1 \cdot \frac{V_{\Gamma}}{S_{\text{yc}}}$$

Оценивают верхнюю отметку полигона ТБО $H_{BO}, \text{ м}$

$$H_{BO} = H_{\Pi} - H_K + 1$$

Высоту наружного изолирующего слоя грунта принимают равным 1 м, что учтено в формуле (10).

Аппаратура и материалы

При выполнении лабораторной работы студентам необходимо иметь при себе тетрадь, ручку, калькулятор для выполнения расчетов.

Указания по технике безопасности

При выполнении работы необходимо соблюдение требований инструкции при работе в лаборатории.

Методика и порядок выполнения работы

Сделать конспект теоретической части работы;

Ознакомьтесь с теоретической частью работы;

Используя данные индивидуального задания предложенного преподавателем и методику расчета, изложенную в пунктах 2.1 - 2.3 необходимо:

- определить общую вместимость полигона ТБО;
- рассчитать площадь полигона;
- произвести уточнение высоты «холма» ТБО и расчет параметров котлована;
- по результатам расчетов заполнить таблицу 4;
- сделать выводы по работе.

Исходные данные для индивидуального расчета приведены в таблице 5.

Таблица 4 - Форма представления отчета

№	$E_T, \text{м}^3$	$S_{ус}, \text{м}^2$	$S_{П}, \text{м}^2$	$H_{П}, \text{м}$	$V_T, \text{м}^3$	$H_{ВО}, \text{м}$

Таблица 5 - Исходные данные для расчета

№ вар	T, лет	N_1 , тыс. чел	N_2 , тыс. чел	$H_{П}^{OP}$ м
1	20	350	500	20

2	20	1300	2000	40
3	25	280	450	25
4	18	630	1000	30
5	22	410	800	30
6	25	250	520	20
7	20	1100	1800	35
8	18	800	1100	30
9	19	425	630	30
10	22	370	530	30
11	23	1600	2200	40
12	25	1025	1500	40
13	20	220	390	20
14	18	420	610	25
15	18	550	950	25
16	22	1310	2000	40
17	22	355	940	20

Содержание отчета и его форма

1. Тема работы;
2. Цель и содержание
3. Расчетные формулы, заполненные таблицы, выполненные задания
4. Вывод

Министерство науки и высшего образования
Российской Федерации
Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
профессионального образования
«Северо-Кавказский федеральный университет»

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ

**по организации самостоятельной
работы студентов по дисциплине
«Современные методы защиты биосферы»
для обучающихся направления подготовки
20.04.01 «Техносферная безопасность»
Учебный план 2026 года**

Ставрополь 2026

Цели и задачи самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов по дисциплине «Современные методы защиты биосферы» позволяет сформировать знания, умения и навыки бакалавров направления подготовки 20.04.01 Техносферная безопасность в области обеспечения безопасности жизнедеятельности.

Подготовка к лабораторной работе проводится студентами самостоятельно перед занятием. Данный вид деятельности включает:

- ознакомление с методическими указаниями к лабораторной работе;
- изучение (повторение) темы дисциплины, по которой планируется выполнение работы, ознакомление с теоретической частью работы;
- теоретическое изучение лабораторного оборудования;
- подготовка отчета;
- подготовка ответов на вопросы к защите работы.

Содержание отчета и его форма приводятся в методических указаниях к работе. Защита работы проводится при наличии оформленного отчета после выполнения работы. Отчет может быть отправлен на доработку в случае неверного его оформления, отсутствия результатов выполнения работы, выводов и предложений.

Основанием для снижения оценки является отсутствие или неверное представление расчетов, неточное изложение теоретического материала при защите работы.

Самостоятельное изучение литературы (подготовка к собеседованию)

Проверка знаний материала лекционных и практических занятий проводится в виде собеседования (по всем темам) и тестирования (по некоторым темам при необходимости). Предполагается, что отдельные вопросы тем дисциплины изучаются студентами самостоятельно (указываются преподавателем). Знания указанных вопросов проверяется наличием конспектов и собеседованием. Паспорт фонда тестовых заданий представлен в ФОС. Ниже приведены вопросы для собеседования по всем темам курса «Безопасность жизнедеятельности». Вопросы структурированы по двум уровням: базовый и повышенный (выделен курсивом). Вопросы повышенного уровня требуют знаний дополнительных источников литературы, показывают умения и навыки студентов анализировать теоретический материал и готовность к применению теоретических знаний в практической деятельности.

Процедура проведения данного оценочного мероприятия включает в себя собеседование и тестирование по вопросам тем дисциплины.

Тестирование – это эффективная форма для текущего и итогового контроля знаний учащихся. **Тест** — это инструмент оценивания обученности учащихся, состоящий из системы тестовых заданий, стандартизированной процедуры проведения, обработки и анализа результатов. Тестирование является самостоятельной формой контроля результатов самостоятельного изучения тем дисциплины.

Данное оценочное мероприятия проводится на каждом практическом занятии на основании материалов и знаний, полученных на лекциях, а также при изучении основной и дополнительной литературы. Для подготовки к данному оценочному мероприятию студенту необходимо подготовить устные ответы на вопросы собеседования, либо законспектировать данные ответы в тетрадь (не обязательно).

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования материалами лекций, основной и дополнительной литературы, а также интернет-ресурсов.

При проверке задания, оцениваются:

- правильность ответов;
- чёткое знание терминологии;
- умение грамотно, четко и последовательно излагать материал;
- использование дополнительной литературы при подготовке;
- умение анализировать теоретический материал и сопоставлять его с практикой;
- знание статистических данных об изучаемых процессах и явлениях;
- умение приводить конкретные примеры.

В процессе самостоятельного изучения отдельных вопросов тем дисциплины рекомендуется работа с литературой, перечень которой приведен в конце методических указаний.

Вопросы для собеседования

Тема 1. Характеристика загрязнений окружающей среды и основные методы защиты

1. Назовите и охарактеризуйте основные источники загрязнения атмосферы.
2. Назовите и охарактеризуйте основные источники загрязнения литосферы.
3. Назовите и охарактеризуйте основные источники загрязнения гидросферы.
4. Что такое аэрозоль? Назовите виды аэрозолей.
5. Дайте определения понятиям: пыль, туман, дым.
6. Что такое дисперсность? Каким образом она влияет на свойства аэрозолей?
7. Какая характеристика аэрозолей является основной при разработке и выборе пылеулавливающих аппаратов?
8. Что понимается под «фракционным составом аэрозолей»?
9. Назовите основные характеристики размеров частиц аэрозолей. дайте определения.
10. Что называют пылью? Каким образом классифицируются пыли?
11. Что характеризует сыпучесть пылей?
12. Что такое слипаемость пылей? Назовите Группы пылей по слипаемости.
13. Дайте определения и охарактеризуйте следующие свойства пылей: гигроскопичность, влагосодержание, влажность, смачиваемость.
14. Какие показатели характеризуют электрические свойства пылей?
15. Чем определяется горючесть и взрываемость пылей?
16. Для чего нужна коагуляция аэрозолей? Назовите и охарактеризуйте виды коагуляции.
17. Назовите виды промышленных вод. сточных вод.
18. Как классифицируются примеси жидкостей по фазово-дисперсному составу?
19. Какие жидкие неоднородные системы вы знаете?
20. Дайте определения понятиям эмульсия, суспензия, пена.
21. Каким образом устанавливается класс опасности промышленных отходов?
22. Как классифицируются средозащитные технологии в зависимости от закономерностей процессов, протекающих в них?
23. Дайте определения процессам, протекающим в технологиях защиты.
24. Что такое дисперсность? Что характеризует дисперсный состав аэрозолей?
25. Каким образом определяют дисперсный состав пылей? С какой целью определяют дисперсный и фракционный состав пылей?
26. Почему плотность является основным свойством пылей? Какие виды плотности разделяют для пылей?
27. От чего зависит скорость коагуляции?
28. Как классифицируются примеси жидкостей по фазово-дисперсному составу?
29. Назовите и охарактеризуйте виды гетерогенных систем.
30. Назовите и охарактеризуйте виды гомогенных систем.
31. Чем отличаются свойства сточных вод от свойств чистой воды? Ответ поясните.
32. Чем отличаются активные методы защиты окружающей среды от пассивных? Приведите примеры.
33. Какие процессы лежат в основе средозащитных технологий? Дайте определения, приведите примеры.

Тема 2. Методы и аппараты очистки от аэрозольных примесей

1. Что является основным элементом систем пылеочистки?
2. От чего зависит выбор средств и способов пылеочистки?
3. Назовите и охарактеризуйте этапы процесса обеспыливания.
4. Назовите и охарактеризуйте способы обеспыливания.
5. Каким образом (по каким признакам) классифицируются пылеулавливающие аппараты?
6. Назовите характеристики аппаратов для очистки аэрозолей. какие из них являются основными? Какие общими?
7. Как характеризуется производительность аппарата?
8. На что влияет гидравлическое сопротивление аппарата пылеочистки?
9. От чего зависит расход энергии аппарата очистки?
10. Для чего необходим показатель энергетического баланса аппарата?
11. Какие процессы происходят в процессах фильтрации?
12. Какие механизмы происходят при фильтрации?
13. Поясните принцип работы волокнистых фильтров?
14. Каков принцип работы и область применения тонковолокнистых фильтров?
15. Каков принцип работы и область применения грубоволокнистых фильтров?
16. Для чего нужны тканевые фильтры?
17. Назовите виды тканевых фильтров? в чем их достоинства и недостатки?
18. Какие фильтровальные ткани вы знаете?
19. Какими свойствами должны обладать фильтровальные ткани?
20. Какие требования предъявляются к фильтровальным тканям?
21. Назовите виды волокон в фильтровальных тканях?
22. Назовите аппарат мокрой очистки газов.
23. Назовите и поясните недостатки мокрой очистки.
24. Назовите и охарактеризуйте стадии процесса обеспыливания в электрофильтре.
25. Назовите основные элементы электрофильтров. Поясните их назначение.
26. От чего зависит процесс улавливания пыли? Каким образом при этом классифицируются пыли?
27. Назовите и охарактеризуйте методы обеспыливания. Назовите области их применения.
28. Какие механизмы пылеулавливания вы знаете? Оцените каждый из них.
29. Каким образом оценивается эффективность работы пылеуловителей?
30. Как определяется коэффициент очистки пылеулавливающих аппаратов?
31. Каким образом определяется фракционная эффективность очистки?
32. Как определяется общая эффективность пылеулавливающего аппарата?
33. Поясните принцип работы и области применения рукавных фильтров.
34. Поясните принцип работы и области применения зернистых фильтров.
35. В чем преимущество мокрых пылеуловителей перед аппаратами очистки других видов?
36. Назовите аппаратные механизмы мокрого улавливания аэрозолей.
37. поверхности контакта фаз и принципа действия.
38. Поясните принцип работы и области применения полых газопромывателей.
39. Поясните принцип работы и области применения орошаемых циклонов с водяной пленкой
40. Поясните принцип работы и области применения пенный пылеуловителей
41. Поясните принцип работы и области применения ударно-инерционных пылеуловителей
42. Поясните принцип работы и области применения скоростных пылеуловителей (скрубберов Вентури).
43. Поясните принцип работы и области применения электрофильтров.

Тема 3. Очистка газовых выбросов

1. Что такое абсорбция? Назовите составляющие процесса.
2. Назовите виды абсорбции. Охарактеризуйте их.
3. Поясните назначение процесса десорбции.
4. Как влияет температура на растворимость газов? Ответ поясните.
5. Назовите вещества, которые могут выступать в качестве растворителя.
6. Назовите требования к сорбенту.
7. Дайте определение понятию "динамическое равновесие системы".
8. Назовите факторы, влияющие на процессы абсорбции - десорбции.
9. Назовите и охарактеризуйте виды диффузии.
10. Что такое коэффициент массопередачи?
11. Что является движущей силой абсорбции? Поясните ответ.
12. Поясните схему прямоточной абсорбции.
13. Поясните схему противоточной абсорбции.
14. Что такое адсорбция? Назовите составляющие процесса.
15. Назовите виды адсорбции. Охарактеризуйте их.
16. Назовите виды адсорбентов.
17. Охарактеризуйте свойства адсорбентов.
18. Как классифицируются адсорбенты в зависимости от пористости?
19. Как влияет пористость адсорбента на эффективность процесса адсорбции?
20. Объясните понятие "активность сорбента". Какие виды активности сорбента вы знаете?
21. Какие факторы влияют на процесс десорбции?
22. Как рассчитывается время десорбции целевых компонентов?
23. Приведите примеры состава отходящих газов по отраслям промышленности.
24. От чего зависит степень нейтрализации обезвреженных газовых выбросов?
25. В чем достоинство каталитических методов очистки газов?
26. Назовите недостатки каталитических методов очистки газов.
27. Каким образом оценивается эффективность катализатора при очистке?
28. Поясните понятия "катализ" и "ингибирование".
29. Поясните понятия "каталитические яды" и "промоторы".
30. В чем заключается преимущество высокотемпературного обезвреживания газовых выбросов.
31. Поясните области применения метода конденсации газообразных примесей.
32. Как называются аппараты, в которых проходят процессы абсорбции? Каков принцип их работы?
33. От чего зависит растворимость газов?
34. Каким образом достигается динамическое равновесие в процессе абсорбции? Ответ поясните.
35. Поясните процессы массообмена между жидкостью и газом.
36. Охарактеризуйте кинетические закономерности процесса абсорбции.
37. Что называют сорбционной емкостью сорбента? От чего она зависит?
38. Объясните механизм протекания процесса адсорбции.
39. Каким образом определяется время защитного действия слоя сорбента?
40. Каким образом достигается равновесие при адсорбции?
41. Назовите и охарактеризуйте методы термообезвреживания в зависимости от типа происходящих реакций.
42. Поясните принцип реализации каталитических методов очистки газовых выбросов.

43. Назовите области применения высокотемпературного обезвреживания газовых выбросов.
44. Назовите области газоочистки, где конденсация является необходимым элементом процесса очистки.
- 45.

Тема 4. Управление качеством гидросферы

1. Какие факторы оказывают влияние на загрязнение водоемов?
2. Дайте определение и охарактеризуйте химическое загрязнение гидросферы.
3. Дайте определение и охарактеризуйте биологическое загрязнение гидросферы.
4. Дайте определение и охарактеризуйте физическое загрязнение гидросферы.
5. Что является наиболее распространенным загрязнителем Мирового океана? Каким образом они попадают в воду?
6. Охарактеризуйте особенности и последствия загрязнения гидросферы канцерогенами.
7. Назовите и охарактеризуйте группы сточных вод, содержащих различные примеси.
8. Каким образом оценивается санитарное состояние водоема?
9. Какие методы применяются очистки воды от суспензированных и эмульгированных примесей?
10. Какие методы применяются очистки воды от неорганических соединений?
11. Какие методы применяются очистки воды от органических соединений?
12. Какие методы применяются очистки воды от газов и паров?
13. Какие методы применяются для уничтожения вредных веществ в воде?
14. Какие сооружения применяют для первичной очистки сточных вод? Дайте определения.
15. Для чего применяют усреднители? Каким образом их устанавливают?
16. Назовите области применения решеток для очистки сточных вод? Каким образом они устанавливаются?
17. Назовите виды решеток? Каким образом они подбираются в общую схему очистки?
18. Назовите аппараты, применяемые для осаждения примесей из сточных вод?
19. Отстойники: области применения, виды, принципы расчета.
20. Поясните принцип работы нефтеловушек.
21. Жидкостные сепараторы: виды, преимущества, принцип действия.
22. Назовите виды фильтрационные установок. Поясните особенности применения каждой.
23. Особенности применения барабанных сеток и микрофильтров.
24. Принцип работы и особенности применения зернистых фильтров.
25. Принцип работы и особенности применения электромагнитных фильтров.
26. Общие принципы расчета фильтров.
27. Какие установки и аппараты применяются для физико-химической очистки сточных вод?
28. Сорбционные и ионообменные установки: принцип работы, особенности применения, порядок выбора.
29. Установки для электрохимической очистки сточных вод: принцип работы, особенности применения, порядок выбора.
30. Какие аппараты применяют для химической очистки сточных вод?

31. Какие процессы и аппараты для биологической очистки сточных вод?
32. Какие процессы и аппараты применяют для глубокой очистки (доочистки) сточных вод?
33. Чем опасно загрязнение водоемов ПАВ?
34. Чем опасно наличие детергентов (синтетических поверхностно-активных веществ - СПАВ) в воде?
35. Назовите нормируемые показатели качества воды.
36. Как определяется допустимый состав сточных вод по концентрации взвешенных веществ?
37. Как определяется допустимый состав сточных вод по концентрации растворенных вредных веществ?
38. Как проводится расчет кратности разбавления сточных вод в водоемах?
39. Охарактеризуйте этап механической очистки сточных вод.
40. Песколовки: области применения, виды, принципы расчета.
41. Гидроциклоны: виды, преимущества, принцип действия.
42. Применение центрифугирования для очистки воды: условия применения, виды устройств, принципы расчета.
43. Установки для коагулирования и флокулирования примесей сточных вод: принцип работы, особенности применения, порядок выбора.
44. Флотационные установки: принцип работы, особенности применения, порядок выбора.
45. Экстракционные аппараты и установки: принцип работы, особенности применения, порядок выбора.
46. Особенности нейтрализации сточных вод.
47. Особенности применения аппаратов для окисления примесей сточных вод.
48. Что такое азотенки? Объясните назначение и принцип работы.
49. Что такое окситенки? Объясните назначение и принцип работы.
50. Что такое биофильтры? Объясните назначение и принцип работы.

Тема 5. Защиты литосферы

1. Назовите и охарактеризуйте методы переработки отходов.
2. Назовите и охарактеризуйте методы утилизации отходов.
3. Назовите и охарактеризуйте методы обезвреживания отходов.
4. Как классифицируются методы обработки осадков?
5. Назовите и охарактеризуйте машины и аппараты для отстаивания активного ила.
6. Дайте определения понятиям: аэробная стабилизация и анаэробное сбраживание осадков.
7. Поясните суть методов кондиционирования осадков сточных вод.
8. Каковы области применения и особенности уплотнения осадков.
9. Охарактеризуйте особенности сушки осадков на иловых площадках.
10. Каким образом осуществляется термическая сушка осадков?
11. Назовите и дайте краткую характеристику процессам переработки твердых отходов.
12. Охарактеризуйте методы механической обработки твердых отходов.
13. Поясните области применения и сущность процессов дробления и измельчения.

14. Поясните области применения и сущность процессов грохочения и классификации.
15. Назовите способы обогащения твердых отходов.
16. Каким образом осуществляется гравитационное обогащение?
17. Каким образом осуществляется магнитное обогащение?
18. В чем заключаются электрические методы обогащения?
19. Поясните особенности сборов отходов.
20. Поясните особенности сортировки отходов.
21. Поясните особенности подготовки отходов к переработке.
22. Каким образом осуществляется утилизация металлоотходов?
23. Каким образом осуществляется утилизация макулатуры.
24. Каким образом осуществляется утилизация отходов древесины.
25. Каким образом осуществляется утилизация волокнистых материалов.
26. Каким образом осуществляется утилизация резинотехнических изделий.
27. Каким образом осуществляется утилизация полимерных отходов.
28. Каким образом осуществляется утилизация золошлаковых отходов.
29. Каким образом осуществляется утилизация ртутьсодержащих отходов.
1. Каким образом оценивается количество образования типовых отходов?
2. Какие факторы учитываются при выборе методов переработки, обезвреживания и обезвреживания отходов?
3. Опишите процессы, сопровождающие аэробную стабилизацию осадков.
4. Опишите процессы, сопровождающие анаэробное сбраживание осадков.
5. В чем заключается сущность метода механического обезвреживания осадков.
6. Поясните области применения и сущность процессов прессования и компактирования отходов.
7. Каким образом осуществляется флотационное обогащение?
8. Каким образом осуществляется подземное захоронение промышленных стоков?

Оценка «отлично» выставляется студенту, если он исчерпывающе, последовательно, четко и логически стройно отвечает на вопросы базового и повышенного уровней, умеет тесно увязывать теорию с практикой, не затрудняется с ответом при видоизменении заданий, использует в ответе материал дополнительной литературы, владеет разносторонними навыками и приемами выполнения практических задач.

Оценка «хорошо» выставляется студенту, если он твердо знает материал как базового, так и повышенного уровней, грамотно и по существу излагает его, не допуская существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет теоретические положения при решении практических вопросов и задач, владеет необходимыми навыками сопоставления теории и практики.

Оценка «удовлетворительно» выставляется студенту, если он имеет знания только материала базового уровня, но не усвоил его деталей, допускает неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, испытывает затруднения при сопоставлении теории и практики.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, который не знает значительной части программного материала, допускает существенные ошибки, неуверенно, с большими затруднениями выполняет практические работы. Отметка «неудовлетворительно» выставляется также, если обучающийся отказался отвечать на вопросы.

Данное оценочное мероприятия проводится на каждом занятии на основании материалов и знаний, полученных на лекциях, а также при изучении основной и дополнительной литературы. Для подготовки к данному оценочному мероприятию студенту необходимо подготовить устные ответы на вопросы собеседования, либо законспектировать данные ответы в тетрадь (не обязательно)

При подготовке к ответу студенту предоставляется право пользования материалами лекций, основной и дополнительной литературы, а также интернет-ресурсов.

При проверке задания, оцениваются (*например, последовательность и рациональность выполнения, точность расчетов и др.*):

- правильность ответов;
- чёткое знание терминологии;
- умение грамотно, четко и последовательно излагать материал;
- использование дополнительной литературы при подготовке;
- умение анализировать теоретический материал и сопоставлять его с практикой;
- знание статистических данных об изучаемых процессах и явлениях;
- умение приводить конкретные примеры.

Оценочный лист проверки знаний (собеседование)

Критерии оценки	Оценка			
	неудовлетворительно	удовлетворительно	хорошо	отлично
правильность ответов	+/-	+/-	+	+
чёткое знание терминологии	+/-	+	+	+
умение грамотно, четко и последовательно излагать материал	+/-	+	+	+
использование дополнительной литературы при подготовке	-	-	+/-	+
умение анализировать теоретический материал и сопоставлять его с практикой	-	-	+/-	+
знание статистических данных об изучаемых процессах и явлениях	-	+/-	+	+
умение приводить конкретные примеры	+	+	+	+