Важным условием надежной работы сухих электрофильтров, очищающих газы с температурой выше 100°С, является правильная теплоизоляция их корпусов, что, к сожалению, часто не учитывается на практике. Некачественная теплоизоляция стенок корпуса приводит к местному охлаждению стенок и как следствие— к коррозии их и налипанию пыли, также как в случае местных охлаждений в результате подсосов.

Кроме того, плохая теплоизоляция несущих элементов корпуса (рам, балок, ребер) вызывает большие температурные перепады в сечениях этих элементов, на которые они не рассчитаны, что ведет в конечном счете к возникновению остаточных деформаций и короблению корпусов, а в ряде случаев чревато разрушениями элементов корпуса. Особенно опасна эксплуатация с некачественной теплоизоляцией электрофильтров больших размеров (например, серии УГ2 и УГ3), а также высокотемпературных электрофильтров (серии УГТ).

Эксплуатация электрофильтров регламентируется «Правилами технической эксплуатации газоочистных и пылеулавливающих установок», разработанными Государственной инспекцией по контролю за работой газоочистных и пылеулавливающих установок и обязательными для всех министерств и ведомств.

Особенности техники безопасности при обслуживании установок электрической очистки газов определяются тем, что электрофильтры представляют собой достаточно сложные высоковольтные агрегаты с большим количеством точек обслуживания, которые устанавливаются в составе технологических линий. Этим установки электрофильтров отличаются от большинства других высоковольтных установок, которые размещаются обособленно, в специальных помещениях или на специальных площадках и обслуживаются специальным персоналом.

Поэтому при обслуживании установок электрической очистки газов необходимо вести тщательный контроль за соблюдением всех требований, обусловленных «Правилами устройства электроустановок» и «Правилами технической эксплуатации электроустановок потребителей и «Правилами техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей», и производить обучение персонала в соответствии с действующими правилами и производственными инструкциями.

Внутренний осмотр и ремонт электрофильтров должен производиться только под непосредственным наблюдением или при участии лица, ответственного за эксплуатацию электрофильтра, и допускается только после снятия напряжения и заземления агрегатов питания и высоковольтного кабеля, питающего коронирующую систему.

Для предотвращения случайных соприкосновений персонала с частями электрофильтра, находящимися под напряжением, дверцы изоляторных коробок, как правило, оснащаются блокирующими заземляющими устройствами.

Вблизи всех люков предусматриваются заземляющие винты для присоединения переносных заземлений, без наложения которых на участки коронирующей системы доступ в электрофильтр не допускается.

РАЗДЕЛ СЕДЬМОЙ
ГАЗОВЫЕ ТРАКТЫ

7.1. КОНСТРУКЦИИ ГАЗОХОДОВ

Газоходы могут иметь круглое или прямоугольное поперечное сечение. Первые менее металлоемки и проще в изготовлении, поэтому газоходы прямоугольного сечения применяются только в тех случаях, когда это диктуется компоновочными соображениями, обычно при коротких участках между аппаратами с прямоугольным сечением присоединительных патрубков.

Для того чтобы газоходы не забивались осевшей золой или пылью и имели при этом умеренное гидравлическое сопротивление, скорость газов при выборе их сечения обычно принимают в пределах от 10 и 20 м/с, однако в некторых случаях избежать значительных отложений пыли удается лишь при скорости газов до 30 м/с.

Таблица 7.1. **Профиль ребер жесткости для газоходов круглого сечения при расстоянии между ними 1500 мм**

Наружный диаметр × толщина стенок, мм	Профиль, мм
1000×3	Полосовая сталь 60×6
2000×3	Уголок 60×60×5
2000×5	Полосовая сталь 60×6
2500×5	Уголок 60×60×5
3000×5	Уголок 60×60×5
3500×5	Уголок 75×75×6
4000×5	Уголок 75×75×6

Таблица 7.2. Предельные размеры сторон коробов с толщиной стенки 3 мм без тепловой изоляции в зависимости от профиля поперечных ребер жесткости, м

Давление (разрежение), Па	Полоса 50×5 мм						Полоса 70×6 мм						Уголок 50×50×5 мм					
	$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$	
	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1000	2,5	1,2	2,6	1,8	2,3	2,3	3,6	1,8	3,9	2,7	3,5	3,5	4,2	2,1	4,6	3,2	4,4	4,4
2000	1,9	0,9	2,0	1,4	1,8	1,8	2,7	1,3	2,9	2,0	2,6	2,6	3,5	1,7	3,7	2,5	3,3	3,3
3000	1,5	0,7	1,7	1,2	1,5	1,5	2,3	1,1	2,5	1,7	2,1	2,1	2,9	1,4	3,1	2,1	2,7	2,7
4000	1,4	0,7	1,5	1,0	1,3	1,3	2,0	1,0	2,2	1,5	1,9	1,9	2,6	1,3	2,8	1,9	2,4	2,4
	Уголок 63×63×6 мм						Уголок 75×75×6 мм						Швеллер № 10					
1000	6,4	2,7	5,6	3,9	5,5	5,5	6,4	3,2	6,8	4,7	6,2	6,2	7,5	3,7	8,5	5,9	7,7	7,7
2000	4,4	2,2	4,7	3,2	4,1	4,1	4,9	2,4	5,3	3,7	4,6	4,6	6,1	3,0	6,5	4,5	5,8	5,8
3000	3,6	1,8	3,9	2,7	3,4	3,4	4,1	2,0	4,4	3,0	3,9	3,9	5,1	2,5	5,5	3,8	4,8	4,8
4000	3,2	1,6	3,4	2,3	3,0	3,6	1,8	1,8	3,9	2,7	3,4	3,4	4,5	2,2	4,8	3,3	4,2	4,2
	Швеллер № 12						Швеллер № 16											
3000	6,1	3,0	6,6	4,6	5,8	5,8	8,2	4,1	8,9	6,2	7,8	7,8	—	—	—	—	—	—
4000	5,4	2,7	5,8	4,0	5,0	5,0	7,2	3,6	7,8	5,4	6,8	6,8	—	—	—	—	—	—

Таблица 7.3. Предельные размеры сторон коробов с толщиной стенки 3 мм с тепловой изоляцией, в зависимости от профиля поперечных ребер жесткости, м

Давление (разрежение), Па	Температура, °С	Полоса 5×50 мм						Полоса 6×70 мм						Уголок 50×50×5 мм					
		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1000	200	1,9	0,9	2,0	1,4	1,9	1,9	2,8	1,4	2,9	2,0	2,7	2,7	3,6	1,8	3,7	2,5	3,5	3,5
	300	1,4	0,7	1,4	1,0	1,4	1,4	2,1	1,0	2,1	1,4	2,0	2,0	2,6	1,3	2,7	1,8	2,6	2,6
	400	1,2	0,6	1,2	0,8	1,2	1,2	1,8	0,9	1,8	1,2	1,7	1,7	2,3	1,1	2,3	1,6	2,2	2,2
2000	200	1,6	0,8	1,7	1,2	1,5	1,5	2,3	1,1	2,5	1,7	2,2	2,2	3,0	1,5	3,1	2,1	2,9	2,9
	300	1,2	0,6	1,2	0,6	1,1	1,1	1,7	0,8	1,8	1,2	1,7	1,7	2,2	1,1	2,3	1,6	2,1	2,1
	400	1,0	0,5	1,1	0,7	1,0	1,0	1,5	0,7	1,6	1,1	1,4	1,4	1,9	0,9	2,0	1,1	1,9	1,9
3000	200	1,4	0,7	1,5	1,0	1,3	1,3	2,0	1,0	2,2	1,5	1,9	1,9	2,6	1,3	2,8	1,9	2,5	2,5
	300	1,0	0,5	1,1	0,7	1,0	1,0	1,5	0,7	1,6	1,1	1,4	1,4	1,0	0,9	2,1	1,4	1,9	1,9
	400	0,9	0,4	0,9	0,6	0,8	0,8	1,3	0,6	1,4	1,0	1,3	1,3	1,7	0,8	1,8	1,2	1,6	1,6
4000	200	1,2	0,6	1,3	0,9	1,2	1,2	1,6	0,9	1,9	1,4	1,7	1,7	2,3	1,1	2,5	1,7	2,2	2,2
	300	0,9	0,4	1,0	0,7	0,9	0,9	1,4	0,7	1,4	1,0	1,3	1,3	1,7	0,8	1,9	1,3	1,7	1,7
	400	0,8	0,4	0,9	0,5	—	—	1,2	0,6	1,3	0,9	1,1	1,1	1,5	0,7	1,6	1,1	1,5	1,5
		Уголок 63×63×6 мм						Уголок 75×75×6 мм						Швеллер № 10					
1000	200	4,5	2,2	4,7	3,2	4,1	4,1	5,1	2,5	5,3	3,7	4,9	4,9	6,3	3,1	6,5	4,5	6,1	6,1
	300	3,3	1,6	3,4	2,3	3,2	3,2	3,7	1,8	3,8	2,6	3,6	3,6	4,6	2,3	4,8	3,3	4,5	4,5
	400	2,8	1,4	2,9	2,0	2,8	2,8	3,2	1,6	3,3	2,3	3,1	3,1	4,0	2,0	4,1	2,8	3,9	3,9
2000	200	3,7	1,8	3,9	2,7	3,6	3,6	4,2	2,1	4,4	3,0	4,0	4,0	5,2	2,6	5,5	3,8	5,0	5,0
	300	2,8	1,4	2,9	2,0	2,6	2,6	3,1	1,5	3,3	2,3	3,0	3,0	3,9	1,9	4,1	2,8	3,7	3,7
	400	2,4	1,2	2,5	1,7	2,3	2,3	2,7	1,3	2,8	1,9	2,6	2,6	3,4	1,7	3,5	2,4	3,2	3,2
3000	200	3,2	1,6	3,4	2,3	3,4	3,4	3,7	1,8	3,9	2,7	3,5	3,5	4,5	2,2	4,8	3,3	4,3	4,3
	300	2,4	1,2	2,6	1,8	2,3	2,3	2,7	1,3	2,9	2,0	2,6	2,6	3,4	1,7	3,6	2,5	3,2	3,2
	400	2,1	1,0	2,2	1,5	2,0	2,0	2,4	1,2	2,5	1,7	2,3	2,3	3,0	1,5	3,1	2,1	2,8	2,8
4000	200	2,9	1,4	3,1	2,1	2,8	2,8	3,3	1,6	3,5	2,4	3,1	3,1	4,1	2,0	4,3	3,0	3,9	3,9
	300	2,2	1,1	2,3	1,6	2,1	2,1	2,5	1,2	2,0	1,8	2,3	2,3	3,1	1,5	3,3	2,3	2,9	2,9
	400	1,9	0,9	2,0	1,4	1,8	1,8	2,2	1,1	2,3	1,6	2,1	2,1	2,7	1,3	2,9	2,0	2,6	2,6

Продолжение табл. 7.3

Давление (разрежение), Па	Температура, °С	Полоса 5×50 мм						Полоса 6×70 мм						Уголок 50×50×5 мм					
		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
		Швеллер № 12						Швеллер № 16						Швеллер № 20					
3000	200	5,5	2,7	5,8	4,0	5,3	5,3	7,3	3,6	7,8	5,4	7,0	7,0	—	—	—	—	—	—
	300	4,1	2,0	4,3	3,0	3,9	3,9	5,5	2,7	5,8	4,0	5,3	5,3	7,0	3,5	7,4	5,1	6,7	6,7
	400	3,6	1,8	3,8	2,6	3,4	3,4	4,8	2,4	5,1	3,5	4,6	4,6	6,1	3,0	6,5	4,5	5,9	5,9
4000	200	4,9	2,4	5,2	3,6	4,6	4,6	6,6	3,3	7,0	4,9	6,3	6,3	—	—	—	—	—	—
	300	3,7	1,8	3,9	2,7	3,5	3,5	5,0	2,5	5,4	3,7	4,7	4,7	6,3	3,1	6,7	4,6	6,0	6,0
	400	3,3	1,6	3,4	2,3	3,1	3,1	4,4	2,2	4,6	3,2	4,2	4,2	5,6	2,8	5,6	4,1	5,3	5,3

Таблица 7.4. **Предельные размеры сторон коробов с толщиной стенки 4—5 мм с тепловой изоляцией в зависимости от профиля поперечных ребер жесткости, м**

Давление (разрежение), Па	Температура, °С	Полоса 50×5 мм						Полоса 70×6 мм						Уголок 50×50 мм					
		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$		$b/a=0,5$		$b/a=0,7$		$b/a=1$	
		a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b	a	b
1000	200	2,0	1,0	2,0	1,4	1,9	1,9	2,9	1,4	3,0	2,1	2,8	2,8	3,7	1,8	3,8	2,6	3,5	3,5
	300	1,4	0,7	1,5	1,0	1,8	1,8	2,1	1,0	2,2	1,5	2,1	2,1	2,7	1,3	2,8	1,9	2,6	2,6
	400	1,2	0,6	1,3	0,9	1,2	1,2	1,8	0,9	1,9	1,3	1,8	1,8	2,3	1,1	2,4	1,6	2,3	2,3
2000	200	1,6	0,8	1,7	1,2	1,6	1,6	2,4	1,2	2,5	1,7	2,3	2,3	3,1	1,5	3,2	2,2	2,9	2,9
	300	1,2	0,6	1,3	0,9	1,2	1,2	1,8	0,9	1,9	1,3	1,7	1,7	2,3	1,1	2,4	1,6	2,4	2,4
	400	1,0	0,5	1,1	0,7	1,0	1,0	1,6	0,8	1,6	1,1	1,5	1,5	2,0	1,0	2,1	1,4	1,9	1,9
3000	200	1,4	0,7	1,5	1,0	1,4	1,4	2,1	1,0	2,2	1,5	2,0	2,0	2,7	1,3	2,8	1,9	2,6	2,6
	300	1,1	0,5	1,1	0,7	1,0	1,0	1,6	0,8	1,7	1,2	1,5	1,5	2,0	1,0	2,1	1,4	1,9	1,9
	400	0,9	0,4	1,0	0,7	0,9	0,9	1,4	0,7	1,4	1,0	1,3	1,3	1,8	0,9	1,8	1,2	1,7	1,7
4000	200	1,3	0,6	1,4	1,0	1,2	1,2	1,9	0,9	2,0	1,4	1,8	1,8	2,4	1,2	2,6	1,8	2,3	2,3
	300	1,0	0,5	1,0	0,7	0,9	0,9	1,4	0,7	1,5	1,0	1,4	1,4	1,8	0,9	1,9	1,3	1,7	1,7
	400	0,8	0,4	0,9	0,6	0,8	0,8	1,2	0,2	1,3	0,9	1,2	1,2	1,6	0,8	1,7	1,2	1,5	1,5
		Уголок 63×63×6 мм						Уголок 75×75×6 мм						Швеллер № 10					
1000	200	4,9	2,4	5,1	3,5	4,7	4,7	5,9	2,9	6,1	4,2	5,6	5,6	6,3	3,1	6,5	4,5	5,9	5,9
	300	3,6	1,8	3,7	2,5	3,5	3,5	4,3	2,1	4,3	3,1	4,2	4,2	4,6	2,3	4,7	3,2	4,5	4,5
	400	3,1	1,5	3,2	2,2	3,0	3,0	3,7	1,8	3,8	2,6	3,6	3,6	1,0	2,0	4,1	2,8	3,9	3,9
2000	200	4,1	2,0	4,3	3,0	4,0	4,0	4,9	2,4	5,2	3,6	4,7	4,7	5,2	2,6	5,5	3,8	5,0	5,0
	300	3,1	1,5	3,2	2,2	2,9	2,9	3,7	1,8	3,8	2,6	3,5	3,5	3,9	1,9	4,1	2,8	3,7	3,7
	400	2,7	1,3	2,8	1,9	2,6	2,6	3,2	1,6	3,3	2,3	3,1	3,1	3,4	1,7	3,5	2,4	3,3	3,3
3000	200	3,7	1,8	3,8	2,6	3,4	3,4	4,3	2,1	4,5	3,1	4,1	4,1	4,6	2,3	4,8	3,3	4,4	4,4
	300	2,7	1,3	2,8	1,9	2,6	2,6	3,2	1,6	3,4	2,3	3,1	3,1	3,4	1,7	3,6	2,5	3,3	3,3
	400	2,4	1,2	2,5	1,7	2,3	2,3	2,8	1,4	3,0	2,1	2,7	2,7	3,0	1,5	3,2	2,2	2,9	2,9
4000	200	3,2	1,6	3,4	2,3	3,1	3,1	3,9	1,9	4,1	2,8	3,7	3,7	4,1	2,0	4,4	3,0	3,9	3,9
	300	2,4	1,2	2,6	1,8	2,3	2,3	2,9	1,4	3,1	2,1	2,8	2,8	3,1	1,5	3,3	2,3	2,9	2,9
	400	2,1	1,0	2,3	1,6	2,0	2,0	2,6	1,3	2,7	1,8	2,4	2,4	2,7	1,3	2,9	2,0	2,6	2,6
		Швеллер № 12						Швеллер № 16						Швеллер № 20					
3000	200	5,5	2,7	5,8	4,0	5,2	5,2	7,4	3,7	7,8	5,4	7,0	7,0	—	—	—	—	—	—
	300	4,1	2,0	4,3	3,0	3,9	3,9	5,5	2,7	5,8	4,0	5,3	5,3	7,0	3,5	7,4	5,1	6,7	6,7
	400	3,6	1,8	3,8	2,6	3,5	3,5	4,8	2,4	5,1	3,5	4,6	4,6	6,1	3,0	6,5	4,5	5,9	5,9
4000	200	4,9	2,4	5,2	3,6	4,7	4,7	6,6	3,3	7,0	4,9	6,3	6,3	—	—	—	—	—	—
	300	3,7	1,8	3,9	2,7	3,5	3,5	5,0	2,5	5,3	3,7	4,8	4,8	6,3	3,1	6,7	4,6	6,0	6,0
	400	3,3	1,6	3,5	2,4	3,1	3,1	4,4	2,2	4,7	3,2	4,2	4,2	5,6	2,8	5,9	4,1	5,3	5,3

Выбранные сечения газоходов должны быть увязаны с сечением клапанов и компенсаторов.

При отсутствии специальных требований к выбору материала газоходы изготавливаются из листовой стали ВСт3пс6 или ВСт3кп2 толщиной 3—5 мм и усиливаются ребрами жесткости. Расстояния между ребрами жесткости должны быть увязаны с размерами матов теплоизоляции.

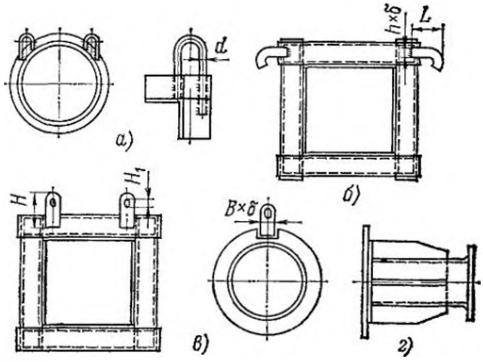


Рис. 7.1. Такелажные детали:
а — скобы; *б* — крюки; *в* — серьги; *г* — цапфы

Газоходы круглого сечения, как правило, снабжаются только поперечными ребрами жесткости с расстоянием между ними 1,5 м. При диаметре менее 1000 мм и вертикальном расположении газоходов круглого сечения ребра жесткости обычно не устанавливаются. Профиль ребер жесткости для газоходов круглого сечения в зависимости от толщины стенки и диаметра газохода может быть выбран по табл. 7.1.

Предельные размеры сторон газоходов прямоугольного сечения в зависимости от профиля ребер жесткости, толщины стенки, температуры (для газоходов с теплоизоляцией) и давления (разрежения) газов могут быть приняты по табл. 7.2, 7.3 и 7.4, а расстояния между ребрами жесткости — по табл. 7.5.

Таблица 7.5. **Расстояния между поперечными ребрами жесткости газоходов прямоугольного сечения**

Давление (разрежение), Па	Температура среды, °С	Расстояние между поперечными ребрами жесткости, мм
1000	30	1000
	200	1000
	300	1000
	400	500
2000	30	1000
	200	1000
	300	750—500
	400	500
3000	30	1000
	200	750—500
	300	500
	400	—
4000	30	750
	200	500
	300	500
	400	—

Таблица 7.6. **Расстояние между продольными ребрами жесткости газоходов прямоугольного сечения, мм**

Толщина стенки короба, мм	Разрежение, Па			
	1000	2000	3000	4000
3	1000	1000	500	500
5	1500	1500	1000	1000

Таблица 7.7. **К выбору размеров, мм, такелажных деталей (рис. 7.1)**

Скобы		Крюки					Серьги				
Нагрузка, кгс	*d*	Нагрузка, кгс	*H*	*h*	*L*	б	Нагрузка, кгс	*B*	*H*	H_1	б
800	16	1100	93	45	140	10	1200	80	210	60	8
1200	20	2500	129	60	200	16	2500	120	250	90	12
1600	24										
2500	30										

таблица 7.8. **Примерная масса, кг, 1 м длины газохода круглого сечения с толщиной стенки 5 мм, включая массу приварных элементов**

Наружный диаметр, мм	Без изоляции	С изоляцией
426	59	128
478	62	135
529	73	150
630	92	179
720	100	201
820	115	227
920	129	254
1020	143	278
1120	158	306
1220	170	330
1320	181	351
1420	192	376
1620	218	432
1820	242	482
2020	268	536
2220	292	586
2420	328	648
2820	367	727
3220	421	848

Таблица 7.9. **Примерная масса, кг, 1 м² стенки газохода прямоугольного сечения, включая массу приварных элементов**

Характеристика газохода	Толщина стенки, мм	
	3	5
Без изоляции	40	60
С изоляцией при температуре теплоносителя до 200°С	90	110
То же до 400°С	110	130

Продольные ребра жесткости для газоходов прямоугольного сечения независимо от профиля поперечных ребер обычно выполняются из полосовой стали 50×5 мм. Расстояния между ними в зависимости от толщины стенки короба и разрежения в газоходе могут быть приняты по табл. 7.6.

В конструкции газоходов должны быть предусмотрены такелажные детали, необходимые при транспортировке и производстве монтажных работ. К ним относятся скобы, крюки и серьги (рис. 7.1), изготавливаемые из стали марки ВСт3пс6. Размеры, показанные на рис. 7.1, принимаются в зависимости от предельной вертикальной нагрузки по табл. 7.7. Вертикальная нагрузка от массы газоходов может быть определена по табл. 7.8 и 7.9.

7.2. ЗАПОРНЫЕ И РЕГУЛИРУЮЩИЕ КЛАПАНЫ

Для регулирования расхода газов и отключения отдельных газоочистных аппаратов или их секций применяются круглые и прямоугольные поворотные клапаны.

Конструкция круглого клапана показана на рис. 7.2, основные размеры круглых клапанов с наиболее часто применяемыми сечениями приведены в табл. 7.10.

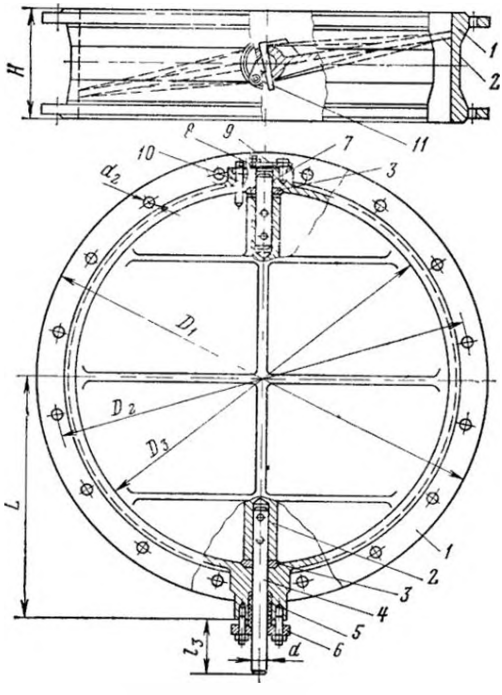


Рис. 7.2. Круглый клапан:

1 — корпус; *2* — заслонка; *3* — упорное кольцо; *4* — вал; *5* — набивка сальника; *6* — крышка сальника; *7* — вал концевой; *8* — прокладка; *9* — крышка; *10* — упор; *11* — штифт конический разводной

Конструкция клапанов прямоугольного сечения показана на рис. 7.3, их основные размеры приведены в табл. 7.11. Основные технические характеристики клапанов повышенных сечений Зуевского энергомеханического завода приведены в табл. 7.12.

Корпус круглого клапана имеет прилив для крепления приводного устройства. Для прямоугольных клапанов установка приводного устройства предусмотрена на шейке

Таблица 7.10. **Клапаны круглого сечения**

Условный проход D_y, мм	Размеры, мм								Количество отверстий во фланце, шт	$M_{кр}$, Н·м	Масса, кг
	H	D_1	D_2	D_3	d	d_2	l_3	c			
300	180	430	385	310	30	18	35	250	10	7,35	45,8
325		450	405	330				260	10	9,8	47,8
350		480	435	360				275	10	11,8	52,6
400		535	490	410				300	12	17,6	65,6
450		585	540	640				325	14	24,5	72,0
500		645	600	520				355	16	33,3	84,5
600		745	700	620				405	16	62,0	102,0
700	220	850	800	710	40	22	104	455	16	77,5	162,5
800		950	900	810				505	18	113,0	185,5
900		1050	1000	910				555	20	156,5	210,0
1000		1150	1100	1010				605	22	215,5	242,0
1000	240	1250	1200	1110	50	22	105	675	24	284,0	340,0
1200	260	1350	1300	1210				725	26	372,0	394,0
1300	280	1450	1400	1310				775	28	430,0	439,0
1400	300	1550	1500	1410				825	30	470,0	491,0

Таблица 7.11. **Клапаны прямоугольного сечения**

Размеры, мм					Число осей, шт.	Число отверстий во фланце, шт.	$M_{кр}$, Н·м	Масса, кг
A×B	L	L_1	L_2	h				
300×400	681	428	528	160	1	18	9,30	48,7
300×500	781		628			20	11,75	54,4
300×600	881		728			22	14,0	60,0
300×700	981		838			24	16,2	66,0
400×500	781	528	628			18	16,6	61,0
400×600	881		728			20	20,6	67,0
400×700	981		828			22	24,8	73,7
400×800	1081		928			24	32,6	84,2
500×600	881	628	728			22	37,8	78,4
500×800	1081		928			26	56,3	98,0
500×900	1181		1028			26	62,7	106
500×1000	1281		1128			28	77,0	114
600×700	1015	718	828		2	26	23,9	111
600×800	1116		928			28	27,3	127
600×900	1216		1028			30	30,8	136
700×500	816	818	826			24	38,8	100
700×700	1016		828			28	40,8	117
700×800	1116		928			30	46,5	136
800×800		918	928			32	47,3	144
800×1200	1522	930	1340	180		40	76,5	191
800×1600	1922		1740			40	100,25	241
900×400	1216	1018	528	160		22	36,0	105
900×700	1016		828			28	63,0	139

Продолжение табл. 7.11

Размеры, мм					Число осей, шт	Число отверстий во фланце, шт	$M_{кр}$, Н м	Масса, кг
A×B	L	L_1	L_2	h				
900×1200	1522	1030	1340	180		36	114,6	212
1000×600	916	1118	729	160	2	30	54,5	139
1000×700	1022	1130	840	180		32	67,5	160
1000×800	1122		940			34	77,4	180
1000×1000	1322		1140			36	96,8	207
1200×600	922	1310	740		3	34	57,3	175
1200×700	1022		840			36	67,0	190
1200×800	1122		940			38	76,9	217
1200×1000	1322		1140			40	96,0	246
1200×1200	1522		1340			44	114,0	279
1400×700	1022	1540	840			40	101,0	228
1400×800	1122		940			42	114,8	257
1400×900	1122		1040			42	128,3	277
1400×1000	1322		1140			44	144,0	296
1400×1200	1522		1340			48	172,5	331
1500×800	1122	1610	940	240	3	42	115,5	260
1500×900	1222		1040			42	130,0	280
1500×1000	1322		1140			44	145,0	299
1500×1200	1522		1340			48	174,5	335
1600×1000	1322	1740	1140		4	46	188,0	329
1600×1200	1322		1340			50	220,5	383
1600×1400	1722		1540			54	262,8	405
1600×1600	1922		1740			56	301,0	459
1800×900	1242	1980	1080			40	171,3	385
1800×1000	1342		1180			40	188,0	410
1800×1200	1542		1310			44	228,8	454
1800×1400	1742		1580			46	268,0	493
1800×1800	2142		1980			52	350,0	609
2000×1000	1342	2140	1180			42	139,0	432
2000×1200	1542		1380			46	252,0	281
2000×1600	1942		1780			50	310,0	596
2000×1800	2142		1980			54	348,2	644
2000×2000	2342		2180			56	387,0	698
2200×1200	1542	2380	1380		5	48	286,0	539
2200×1400	1742		1580			50	342,0	597
2200×1600	1942		1780			52	380,1	671
2200×1800	2142		1980			56	430,0	721
2200×2000	2342		2180			58	477,0	780
2400×1200	1542	2580	1380			32	289,0	582
2400×1400	1742		1580			54	338,0	648
2400×1600	1942		1780			56	385,0	725
2400×1800	2142		1980			60	435,0	781
2400×2000	2342		2180			62	484,0	846

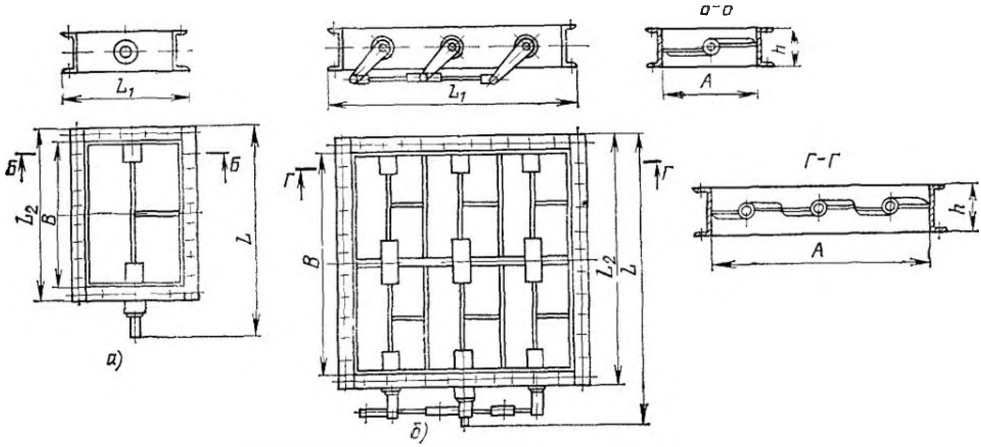


Рис. 7.3. Клапаны прямоугольного сечения:
а — с одной заслонкой; *б* — со многими (в данном случае с тремя) заслонками

Таблица 7.12. Прямоугольные клапаны Зуевского энергомеханического завода

Размеры сечения, мм	Число осей, шт.	Масса, кг	Размеры сечения, мм	Число осей, шт.	Масса, кг
2500×1300	6	913	3500×1600	7	1510
3000×2000	6	1422	3300×2700	6	1824
1600×2800	4	1130	2700×2400	6	1458
5500×2500	12	3445	4300×2500	8	2188

подшипника ведущего вала. Присоединительные размеры для подшипников прямоугольных клапанов, размеры и расположение отверстий для болтов унифицированы, что позволяет выполнять перестановку подшипников и валов с одной стенки корпуса клапана на другую (противоположную). Это обеспечивает возможность осуществлять закрытие клапана вращением маховика по часовой стрелке при любой компоновке вертикального привода.

Для управления клапанами применяются дистанционные и местные ручные или электрические и пневматические приводы. Электрические и пневматические приводы находят применение, главным образом, при автоматизированном управлении работой систем пыле- и золоулавливания.

При расположении клапанов непосредственно на отметках управления применяются приводы местные червячные и рычажные.

Примерные компоновки дистанционных ручных приводов даны на рис. 7.4. Однако любая из этих компоновок может быть в зависимости от конкретных требований изменена добавлением промежуточных узлов — коробки перемены направления или шарнирного узла. Коробки перемены направления служат как для изменения направления вращения вала, так и для изменения положения оси вала в пространстве.

Шарнирные узлы применяются в случаях, когда требуется обойти препятствие на пути прохождения вала либо когда расстояние между колонкой и клапаном превышает 4 м.

Для осуществления кинематической связи валов с углом наклона до 30° и длиной трубы не более 4 м применяются шарнирные муфты, которые компонуются только с колонковыми приводами — вертикальными и консольными.

В дистанционных приводах каждый вал, соединяющий какие-либо два жестко закрепленных узла, должен иметь компенсатор, который располагается у муфт (муфта соединяет червячный привод с одной из сторон коробки перемены направления или валом клапана).

Приводы дистанционные колонковые вертикальные для клапанов, установленные ниже отметки управления, изготавливаются с верхним и нижним расположением шарнирных муфт. Дистанционный привод обеспечивает закрытие клапана вращением маховика по часовой стрелке. Это достигается выбором соответствующего варианта коробки перемены направления, при отсутствии коробки перемены направления требуемое направление вращения маховика может быть обеспечено с помощью червячного редуктора.

Приводы для круглых и прямоугольных клапанов выбираются в зависимости от крутящего момента и диаметра вала.

Привод дистанционный рычажный с горизонтальным и вертикальным расположением вала применяется для всех типо-

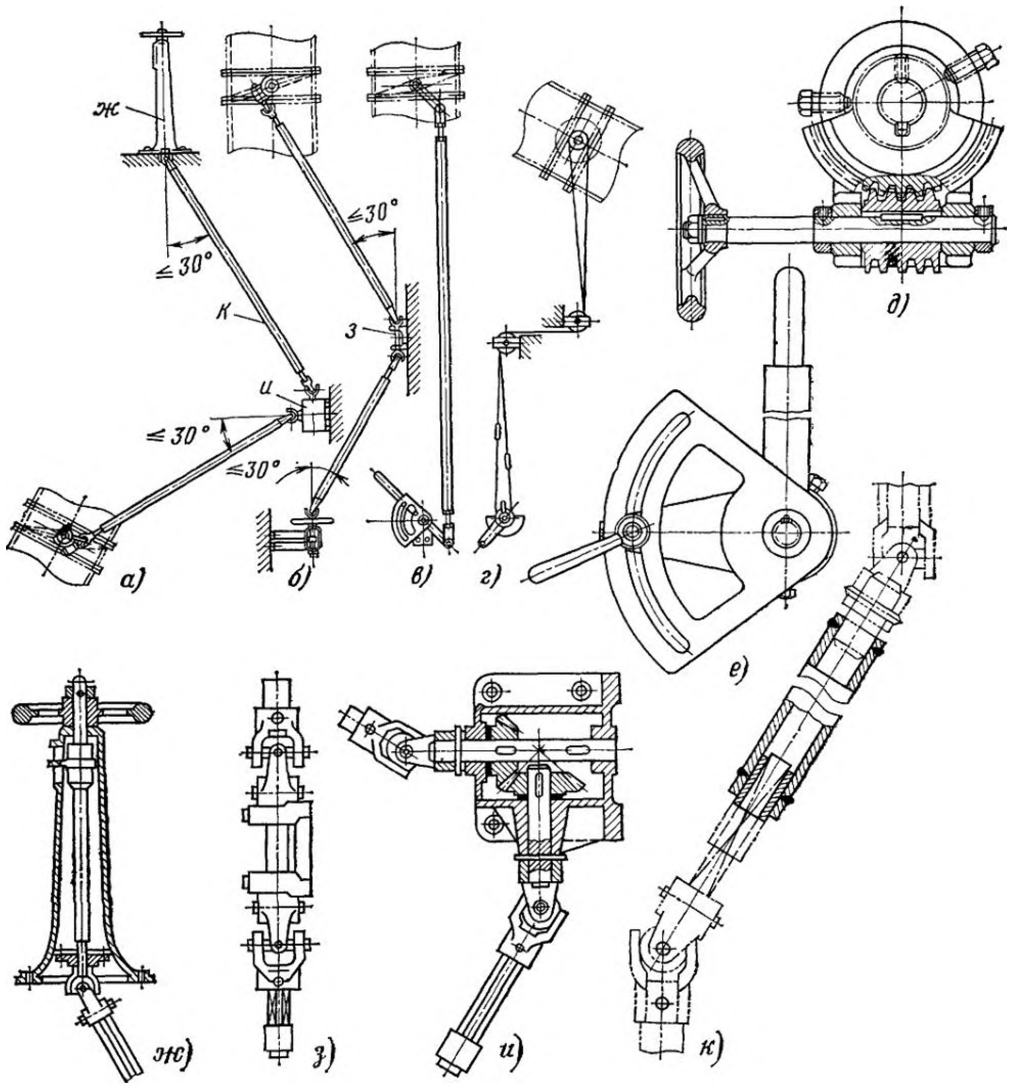


Рис. 7.4. Ручные приводы к клапанам:

а — колонковый с червячным редуктором; *б* — консольный с червячным редуктором; *в* — рычажный; *г* — тросовый; *д* — местный червячный; *е* — местный рычажный; *ж* — колонка; *з* — шарнирный узел; *и* — коробка перемены направления; *к* — штанга

размеров как круглых, так и прямоугольных клапанов.

Привод колонковый с карданным валом — вал вертикальный или наклонный под углом 30° — также пригоден для всех типоразмеров круглых и прямоугольных клапанов.

Привод местный рычажный используется при крутящем моменте $M_{кр}=20$ Н·м и диаметре вала $D_в=20$ мм только для круглого клапана $D_у=100$; при $M_{кр}=20$ Н·м и $D_в=28$ мм — для круглого клапана D от 150 до 275; при $M_{кр}=70$ Н·м и $D_в=30$ мм — для круглых клапанов $D_у$ от 300 до 600; при $M_{кр}=100$ Н·м и $D_в=40$ мм — для прямоугольных клапанов от 300×400 до 500×1000 мм; при $M_{кр}=70$ Н·м и $D_в=400$ мм — для всех типоразмеров прямоугольных клапанов.

Приводы, выбранные по этим данным, применяются без червячного привода.

Приводы консольные могут применяться как с верхним, так и с нижним расположением шарнирных муфт и предназначаются для клапанов с червячным приводом.

Редукторы червячные могут компоно-

ваться как с верхним, так и с нижним расположением шарнирных муфт, могут использоваться в четырех исполнениях и выбираются в зависимости от диаметра вала клапана: при наибольшем крутящем моменте $M_{кр}=100$ Н·м — для диаметров валов клапанов 20 и 30 мм и при наибольшем крутящем моменте $M_{кр}=500$ Н·м — для диаметров валов клапанов 40 и 50 мм.

Приводы дистанционные рычажные компонуются из привода рычажного, рычага с вилкой и соединяющего их трубчатого вала с наибольшим крутящим моментом 100 Н·м. Приводы дистанционные тросовые компонуются из привода тросового, направляющих тросовых роликовых блоков, талрепов, ведомого ролика, закрепляемого на валу клапана, и троса (наибольший крутящий момент 50 Н·м).

В качестве электрического привода для клапанов обычно применяют исполнительные механизмы типа МЭО Чебоксарского ПО «Промприбор». Типоразмеры этих механизмов составляют ряд: МЭО-4/10-0,25; МЭО-4/25-0,63; МЭО-10/10-0,25; МЭО-10/25-0,63; МЭО-10/25-0,25; МЭО-10/63-0,63; МЭО-10/160-0,63; МЭО-25/10-0,25; МЭО-25/25-0,63; МЭО-25/25-0,25; МЭО-25/63-0,63; МЭО-25/63-0,25; МЭО-25/160-0,63; МЭО-25/63-0,25; МЭО-25/160-0,63; МЭО-63/10-0,25; МЭО-63/25-0,63; МЭО-63/25-0,25; МЭО-63/63-0,63, МЭО-63/63-0,25; МЭО-83/160-0,63; МЭО-160/25-0,25, МЭО-160/63-0,63; МЭО-160/63-0,25; МЭО-160/160-0,63; МЭО-400/63-0,25; МЭО-400/160-0,63; МЭО-1000/63-0,25; МЭО-1000/160-0,63.

Цифры после букв МЭО обозначают: номинальный крутящий момент на выходном валу, выраженный в кгс·м; номинальное время полного хода выходного вала, с; номинальный полный ход выходного вала в долях оборота. Например, МЭО-4/10-0,25 обозначает, что номинальный крутящий момент составляет 4 кгс·м (40 Н·м); номинальное время полного хода выходного вала составляет 10 с и за это время он совершит 0,25 оборота.

В качестве привода механизмов МЭО могут быть использованы электродвигатели типа ДАУ или АОЛ. В последнем случае к обозначению типоразмера добавляется буква К. Например, МЭО-400/163-0,25К.

Механизмы МЭО-63/25-0,25; МЭО-63/63-0,63; МЭО-160/25-0,25 и МЭО-160/63-0,063 могут быть поставлены в пыленепроницаемом исполнении.

В качестве пневмопривода для клапанов могут быть применены механизмы типа ПСП.

Механизм исполнительный пневматический поршневой опытного завода ОКБ «Теплоавтомат» (г. Харьков) выпускается в двух модификациях: ПСП-1 — с позиционером и ПСП-Т-1 — с позиционером и тормозом. Обе модификации механизма рассчитаны на давление рабочей среды воздуха 0,6 МПа, имеют ход штока 320 мм и могут развивать усилия до 6200 Н. Габаритные размеры и масса механизма ПСП-1 составляют 730×175×200 мм и 26 кг, а механизма ПСП-Т-1 — 730×195×225 мм и 28 кг.

Механизмы исполнительные, пневматические мембранные, пружинные типа МИМ, МИМП и МИМЭК выпускаются Могилев-Подольским приборостроительным заводом. Диаметр заделки мембраны в каждом из этих механизмов может составлять 160, 200 или 250 мм. Максимально допустимое давление сжатого воздуха в рабочей полости механизмов составляет при диаметре заделки мембраны 160 мм 0,4 МПа, при диаметре заделки мембраны 200 и 250 мм — 0,25 МПа.

Полный рабочий ход выходного элемента рассматриваемых механизмов осуществ-

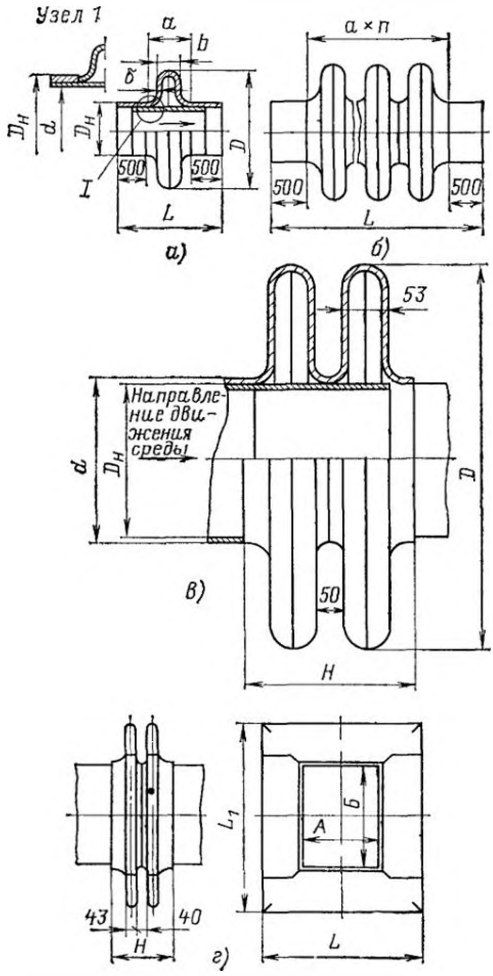


Рис. 7 5. Линзовые компенсаторы:
а и *б* — круглого сечения; *в* — прямоугольного сечения

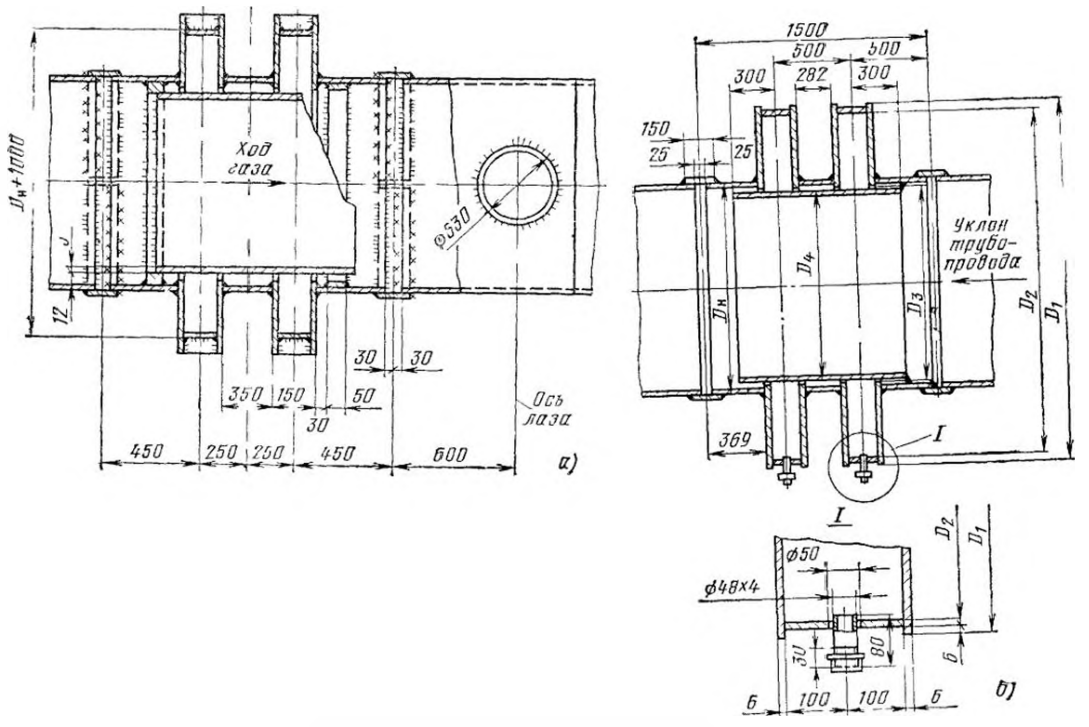


Рис. 7.6. Дисковые компенсаторы:

а — конструкция института Днепрпроектстальконструкция; *б* — конструкция Челябинского института Гипромез

ляется при изменении пневматического командного сигнала от 0,02 до 0,1 МПа. Длина рабочего хода в зависимости от диаметра заделки мембраны и исполнения механизма для механизмов МИМ может составлять 6; 10; 16 и 25 мм, для механизмов МИМЦ — 10; 16 и 25 мм и для механизмов МИМ-К — 100 мм.

7.3. КОМПЕНСАТОРЫ

На газоходах, по которым подается газ с температурой выше 70°С и трассировка которых не обеспечивает самокомпенсации, следует предусматривать компенсаторы температурных удлинений.

Компенсаторы устанавливаются также на газоходах перед дымососами и вентиляторами независимо от температуры газа в непосредственной близости от последних во избежание передачи усилий на механизмы и вибраций от механизмов на газоходы. Кроме того, компенсаторы могут устанавливаться на вертикальных участках газоходов с любой температурой газа для распределения нагрузок, передаваемых на различные элементы здания.

Температурное удлинение газохода, м, определяют по уравнению

$$l = 12{,}5 \cdot 10^{-6} t_{ст} L,$$

где $12{,}5 \cdot 10^{-6}$ — коэффициент расширения стали, 1/°С; $t_{ст}$ — температура стенки газохода, °С; L — длина газохода, м.

На газоходах систем пыле- и золоулавливания обычно устанавливаются линзовые и в последнее время дисковые компенсаторы. Линзовые компенсаторы могут быть изготовлены круглого сечения (рис. 7,5,*а* и *б*) (табл. 7.13, 7,14 и табл. 7.15) и прямоугольного (рис. 7,5,*в*, табл. 7.16 и 7.17).

Дисковые компенсаторы могут быть изготовлены по чертежам института Днепрпроектстальконструкция (рис. 7.6,*а*, табл. 7.18) или челябинского института Гипромез (рис. 7.6,*б*, табл. 7.19).

7.4. ПРЕДОХРАНИТЕЛЬНЫЕ КЛАПАНЫ

При очистке газов, содержащих взрывоопасные примеси, газоходы и газоочистные аппараты должны снабжаться предохранительными клапанами.

При отсутствии специальных требований к конструкции предохранительных клапанов и материалу их мембран предохранительные клапаны диаметром 250—350 м изготавливаются с асбестовой диафрагмой, диаметром более 350 мм — с металлической диафрагмой. Клапаны с асбе-

Таблица 7.13. Основные размеры круглых компенсаторов

$D_у$, мм	$D_н$, мм	D, мм	d, мм	H, мм		Масса, кг	
				Однолинзовый	Двухлинзовый	Однолинзовый	Двухлинзовый
200	219	516	225	130	235	5,54	10,8
250	273	616	279			7,42	14,6
300	325	616	331	150	265	7,23	13,9
350	377	716	383			9,45	18,2
400	426	617	432	180	285	9,12	17,2
450	480	816	486			11,6	21,9
500	530	916	536	200	305	14,7	27,6
600	630	1016	635	240	345	17,6	32,3
700	720	1116	726			20,3	37,0
800	820	1216	826			22,7	41,3
900	920	1320	926			25,1	45,7
1000	1020	1416	1026			27,5	40,3
1100	1120	1520	1126			29,9	54,1
1200	1220	1616	1226			33,1	59,0
1300	1320	1720	1326			34,7	62,8
1400	1420	1816	1426			37,0	66,4
1600	1620	2016	1626			41,6	74,7
1800	1820	2216	1826			45,6	83,5
2000	2020	2420	2026			51,4	92,2
2200	2220	2616	2226			55,8	100
2400	2420	2820	2426			63,4	112
2800	2820	3220	2826			70,3	126
3200	3220	3620	3226			79,9	143

Таблица 7.14. Основные технические характеристики круглых линзовых компенсаторов

$D_у$, мм	Компенсирующая способность одной линзы				Распорное усилие при деформации на величину Δ, Н	
	без предварительной растяжки Δ, мм		с предварительной растяжкой на величину Δ, мм			
	Температура среды, °С					
	200	420	200	420	200	420
200	15		30		1400	
250					1700	
300	20		40		2300	
350					2550	
400	20		40		3300	2150
450	18		36		2550	2250
500	25		50		2300	1950
600	35	24	70	48	4000	2000
700					4100	2200
800					4600	2450
900					4800	2550
1000					5150	2700
1100		22		44	5800	2750
1200					6200	6200
1300					6600	3200
1400					6900	3300
1600					7400	3600
1800		20		40	8500	4450
2000					10 900	5600
2200					11 400	5900
2400	32	18			10 000	5150
28 00	30	17	60	34	12 700	6450
3200					13 800	6550

Примечание. Для $D_у \leq 500$ приведенные значения Δ определяются конструкционными возможностями выполнения отбортовки у полулинз.

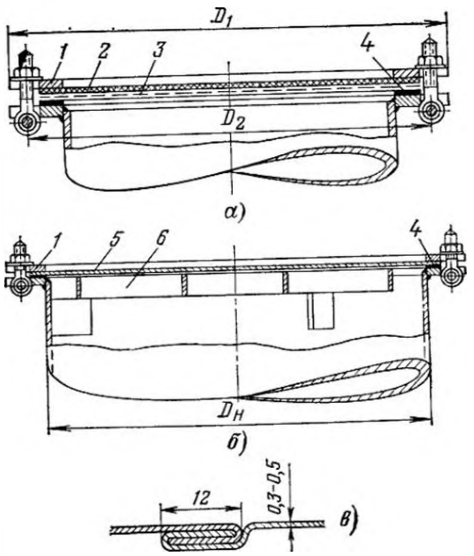


Рис. 7.7. Предохранительные клапаны:

а — с асбестовой диафрагмой; *б* — с металлической диафрагмой; *в* — соединение металлической диафрагмы; *1* — фланец; *2* — асбестовая диафрагма; *3* — сетка; *4* — асбестовая прокладка; *5* — диафрагма из белой жести марки А; *6* — решетка

Таблица 7.15. **Компенсаторы круглого сечения на давление до 0,2 МПа**

$D_у$, мм	$D_н$, мм	D, мм	δ, мм	Однолинзовый		Двухлинзовый		Трехлинзовый		Четырехлинзовый		Компенсирующая способность с предварительной растяжкой одной линзы, мм	Наибольшее предварительное растяжение или сжатие, мм	Сила сжатия (растяжения) одной линзы, H
				L, мм	Масса, кг	L, мм	Масса, кг	L, мм	Масса, кг	L, мм	Масса, кг			
350	377	750	2,5	445	46,5	585	65,7	725	85,0	865	103,3	49	25	9750
400	426	830			54,0		76,7		99,5		122,2	57	29	9950
450	478	880			60,0		84,6		109,2		133,7	55	28	10 600
500	529	930			68,2		96,9		125,5		153,8	54	27,5	11 200
600	630	1030			80,2		113,2		146,2		179,3	52	26,5	12 500
700	720	1120		465	92,1	625	130,2	785	167,9	945	206,5	51	26	13 600
800	820	1220			104,8		147,9		190,4		234,2	51	26	14 800
900	920	1320	3,0		123,3		177,9		231,8		287,0	42	21,5	22 900
1000	1020	1420		485	139,2	665	200,8	845	262,2	1025	323,9	41	21	24 700
1200	1220	1620			191,0		274,9		358,4		442,3	40	20,5	28 200
1400	1420	1820			222,1		318,1		414,2		510,8	39	20	31 700
1500	1520	1920		505	242,9	705	350,7	905	458,7	1105	565,1	38	19,5	33 500
1600	1620	2020			259,7		374,4		489,0		601,5	38	19,5	35 200
1800	1820	2220			289,8		417,8		546,0		671,4	37	19	38 600
2000	2020	2420		545	326,3	785	478,6	1025	633,5	1265	787,3	36	19	42 100
2200	2220	2620			394,7		580,5		729,3		898,2	34	18,5	45 600
2400	2480	2820			430,2		610,9		794,6		977,8	32	17,5	49 100

Примечание. Полная компенсирующая способность относится к температуре среды не более 100°С; до 400°С значение компенсирующей способности уменьшается на 5% на каждые 100°С.

Таблица 7.16. **Основные размеры прямоугольных линзовых компенсаторов**

Условный размер, $D_у$ мм	A	$Б$	L	L_1	H, мм		Масса, кг	
					Однолинзовый	Двухлинзовый	Однолинзовый	Двухлинзовый
300×400	309	409	615	715	185	265	10,9	20,0
300×500		509		815			12,0	22,0
300×600		609		915			13,0	24,0
400×500	409	509	715	815			13,1	24,0
400×600		609		915			14,2	26,0
400×800		809		1115			16,15	30,4
500×600	509	609	815	915			15,4	28,1
500×800		809		1115			17,6	32,4
500×1000		1009		1315			19,8	36,1
600×800	611	809	905	1115			18,6	34,2
600×1000		999	1017	1405	245	325	29,3	52,5
600×1200		1181		1587			32,1	57,3
800×1000	811	999		1405			32,3	57,7
800×1200		1181	1217	1587			35,1	62,6
800×1600		1611	1217	2017			41,5	74,0

Продолжение табл. 7.16

Условный размер, $D_у$ мм	А	Б	L	L_1	H, мм		Масса, кг	
					Однолинзовый	Двухлинзовый	Однолинзовый	Двухлинзовый
1000×1200	1011	1181	1417	1587	245	325	38,2	68,0
1050×1350	1061	1341	1467	1747			41,4	73,4
1000×1600	1011	1611	1417	2017			44,7	79,5
1000×2000		1971		2377			50,2	89,3
1200×1600	1211	1611	1617	2017			47,6	84,8
1200×2000		1971		2377			53,0	94,5
1200×2400		2411		2817			59,6	106
1500×2750	1511	2791	1905	3167			69,2	123
1600×2000	1611	1971	2017	2377			59,2	107
1600×2400		2411		2817			65,8	119
1600×3200		3211		3617			77,8	140
2000×2400	2011	2411	2417	2817			72,0	128
2000×3200		3211		3617			84,0	149
2000×4000		4011		4417			96,4	170
2400×3200	2411	3211	2817	3617			90,0	159
2400×4000		4011		4417			102,0	180

Таблица 7.17. Компенсирующая способность прямоугольных линзовых компенсаторов

Вылет линзы, мм	Компенсирующая способность, мм			
	Температура среды, °С			
	200	4200	200	4200
	без предварительной растяжки		с предварительной растяжкой	
150	9	5	18	10
200	16	9	32	18

стовой диафрагмой устанавливаются только внутри зданий. Металлическая диафрагма выполняется из мягкой жести толщиной не более 0,5 мм с одинарным швом посредине либо из алюминиевого листа толщиной от 0,5 до 1 мм с надрезом по средней линии на 50% его толщины.

Предохранительные клапаны должны располагаться в верхней части газоходов. Для клапанов, устанавливаемых вблизи мест прохода обслуживающего персонала, ставятся вытяжные короба, чтобы при подрыве клапана не обожгло людей.

На рис. 7.7,*б* показан снабженный решеткой предохранительный клапан, уста-

Таблица 7.18. Основные технические характеристики дисковых компенсаторов института Днепрпроектстальконструкция

$D_н$, мм	Основная осадка одной волны, мм			Усилие сжатия одной волны на 1 см, Н		
	Толщина стенки, мм			Толщина стенки, мм		
	4	5	6	4	5	6
630	41	32	27	1730	3380	5850
720	40	32	26	1880	3680	6360
820	39	31	26	2030	3960	6850
920	38	31	26	2180	4260	7370
1020	38	30	25	2330	4550	7870
1120	55	45	37	2480	4850	8380
1220	55	44	37	2620	5130	8860
1320	55	44	37	2790	5440	9620
1420	54	43	36	2950	5750	9940
1520	54	43	36	3090	6030	10 420
1620	53	42	35	3240	6330	10 940
1720	53	42	35	3400	6630	11 460
1820	52	41	35	3560	6960	12 030
2020	52	41	35	3840	7510	12 970
2220	51	41	34	4180	8170	14 110
2420	50	40	34	4460	8720	15 070
2520	50	40	34	4600	8980	15 510
2620	50	40	34	4750	9270	16 020
2820	49	39	33	5170	10 090	17 430
3020	49	39	33	5320	10 390	17 960

Таблица 7.19. **Основные размеры дисковых компенсаторов, мм, Челябинского института Гипромез**

$D_у$	$D_н$	D_1	D_2	D	D_4	Усилия сжатия одной волны на 1 см, Н
700	720	1744	1720	702	692	6000
800	820	1844	1820	802	792	6500
900	920	1944	1920	902	892	7500
1000	1020	2044	2020	1002	992	8000
1100	1120	2144	2120	1102	1092	8500
1200	1220	2244	2220	1202	1192	9000
1300	1320	2344	2320	1302	1292	10 000
1400	1420	2444	2420	1390	1376	10 000
1500	1520	2544	2520	1490	1476	10 500
1600	1620	2644	2620	1590	1576	11 000
1800	1820	2844	2820	1790	1777	12 000
2000	2020	3044	3020	1990	1977	13 000
2200	2200	3244	3220	2190	2176	14 500
2400	2420	3444	3420	2390	2376	15 000
2500	2520	3544	3520	2490	2476	15 500
2600	2620	3644	3620	2590	2576	16 000
2800	2820	3844	3820	2790	2776	17 500
3000	3020	4044	4020	2990	2976	18 000
3200	3220	4244	4220	3190	3176	19 000
3500	3520	4544	4520	3490	3476	20 500

Примечание. Компенсирующая способность одного диска 30 мм.

навливаемый на тракте, работающем под разрежением. При установке клапанов на тракте, находящемся под давлением, применение решетки не требуется. Сечение предохранительного клапана в этом случае должно быть принято с учетом давления в газоходе.

Технические характеристики предохранительных клапанов приведены в табл. 7.20.

Таблица 7.20. **Технические характеристики предохранительных клапанов**

Размеры, мм				Масса, кг		
				Материал диафрагмы		
$D_у$	$D_н$	D_1	D_2	жесть	алюминий	асбест
250	273	363	330	—	—	9,90
300	325	415	385	—	—	11,90
350	377	467	435	—	—	13,30
400	426	538	498	23,3	22,9	—
450	480	592	555	24,8	24,5	—
500	530	642	605	27,7	27,4	—
600	630	744	705	32,4	31,9	—
700	720	834	795	37,1	36,4	—
800	820	934	895	40,1	39,2	—
900	920	1024	995	44,9	43,9	—
1000	1020	1134	1095	50,3	48,9	—

РАЗДЕЛ ВОСЬМОЙ

ВЕНТИЛЯТОРЫ И ДЫМОСОСЫ. ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ

8.1 ВЕНТИЛЯТОРЫ И ДЫМОСОСЫ

Номенклатура вентиляторов в достаточно полном объеме может быть приведена только в специальной справочной литературе. Вместе с тем особенности работы систем пыле- и золоулавливания ограничивают применимость для них большинства вентиляторов общепромышленного назначения.

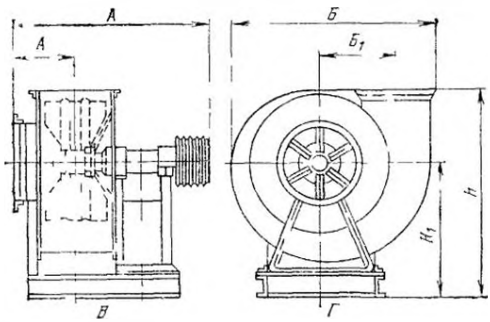


Рис. 8.1. Основные размеры вентилятора ЦП-7-40

В данном справочнике рассмотрены технические характеристики лишь тех вентиляторов, которые по своим аэродинамическим характеристикам наиболее применимы в рассматриваемой отрасли техники.

Центробежные вентиляторы ЦП-7-40 предназначены для систем пылеулавливания и пневмотранспорта при гидравлическом сопротивлении сети не более 4000 Па (рис. 8.1 и 8.2, табл. 8.1).

Вентиляторы имеют бронированные лопатки и могут быть использованы при температурах газов до 200°С.

Центробежные вентиляторы Ц6-30 (рис. 8.3 и 8.4, табл. 8.2) предназначены для транспортировки газов, содержащих неабразивные и нелипкие твердые примеси с концентрацией до 0,5 кг/кг, и выпускаются в зависимости от температуры пе-

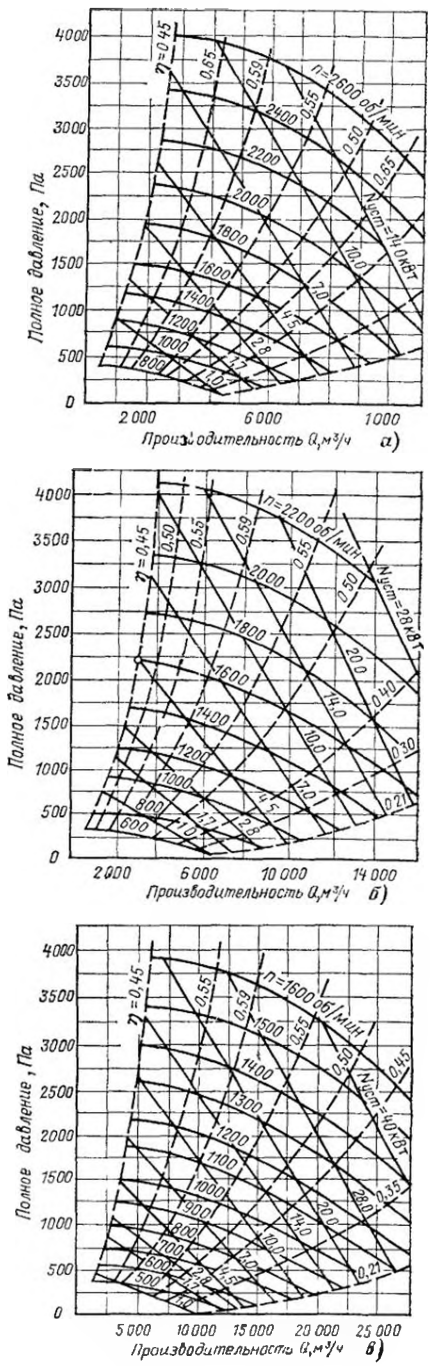


Рис. 8.2. Аэродинамические характеристики вентиляторов ЦП-7-40:
а — № 5; *б* — № 6; *в* — № 7

Таблица 8.1. **Основные размеры, мм, вентиляторов ЦП-7-40**

Номер вентилятора	Размеры, мм							
	А	$А_1$	*Б*	$Б_1$	*В*	*Г*	*Н*	$Н_1$
5	804	242	773	250	500	490	850	550
6	920	300	921	300	600	570	960	600
8	1262	400	1223	400	900	710	1275	820

ремещаемой среды с водяным охлаждением подшипникового узла или без такового.

Вентиляторы высокого давления серии ВВД (рис. 8.5) предназначены для перемещения воздуха и газов при температуре до 100°С, не содержащих липких и длинноволокнистых веществ. Содержание твердых примесей не должно превышать 150 мг/м³.

Вентилятор В-Ц12-49-8-01 Московского вентиляторного завода, разработанный специально для подачи атмосферного воздуха в холодильники цементных печей, благодаря аэродинамическим характеристикам (рис. 8.6) находит применение в системах газоочистки. В табл. 8.3 указаны габаритные размеры и масса вентилятора, а также мощность, потребляемая в зависимости от типа комплектующего электродвигателя.

Вентиляторы типа ВЦ предназначены для работы в системах отсоса воздуха или газа, содержащего волокнистые примеси. Основные технические характеристики вентиляторов андижанского завода «Коммунар» приведены в табл. 8.4.

Мельничные вентиляторы предназначены для работы при температурах газов до 200°С. Рабочие колеса вентиляторов ВМ-18А и ВМ-20А изготавливаются из низколегированной стали 10Х-СНД. Все мельничные вентиляторы могут работать при запыленности газов до 80 г/м³.

Подшипники вентиляторов имеют жидкую картерную смазку, для охлаждения масла при температуре газов свыше 70°С в корпус вставляется змеевик водяного охлаждения. Расход воды с температурой не выше 20°С должен составлять: для вентиляторов ВМ-18А и ВМ-20А — не менее 0,7 м³/ч, для всех остальных вентиляторов ВМ приведена в табл. 8.5.

Техническая характеристика вентиляторов ВМ приведена в табл. 8.5.

Дутьевые вентиляторы ВДН (рис. 8.7) помимо своего основного назначения — подачи воздуха в топки котлоагрегатов — находят широкое применение и в системах пылеулавливания. Характеристики вентиляторов серии ВДН на режиме максимального КПД приведены в табл. 8.6 и 8.7.

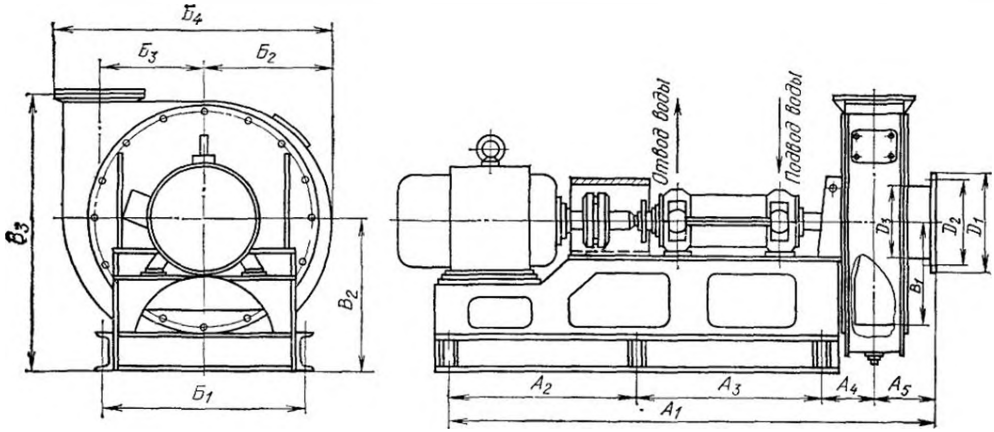


Рис. 8.3. Основные размеры вентиляторов Ц-6-30

Таблица 8.2. **Основные размеры вентиляторов Ц6-30**

Номер вентилятора	Размеры, мм														
	A_1	A_2	A_3	A_4	A_5	$Б_1$	$Б_2$	$Б_3$	$Б_4$	$В_1$	$В_2$	$В_3$	$Д_1$	$Д_2$	$Д_3$
5,6	1400	480	480	130	152	520	330	280	735	560	400	730	290	260	222
6,3	1621	530	530	191	160	520	372	317	827	630	480	850	320	290	250
8	1850	600	780	204	186	560	490	402,5	1049	800	580	960	390	360	320

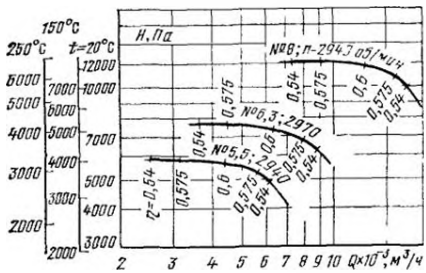


Рис. 8.4. Аэродинамические характеристики вентиляторов Ц6-30

Таблица 8.3. **Технические характеристики вентилятора В-Ц12-49-8-01**

Марка электродвигателя	Потребляемая мощность, кВт	Размеры, мм		Масса, кг
		L	h	
4А200L6У3	35,8	2448	200	1125
4А250S6У3		2533		1315
4А250М6У3		2573	250	1360
4А280S4У3	121	2788	280	1610
4А280М4У3		2828		1670
4А315S4У3		2883	315	1805

Таблица 8.4. **Технические характеристики вентиляторов серии ВЦ**

Наименование	Марка вентилятора			
	1ВЦ	ВЦ-8М	ВЦ-10М	ВЦ-12М
Производительность, тыс. м³/ч	40—43	5,8—12,5	9—18	9—29
Полное давление, Па	3920	2700—2300	4800—4300	6600—5200
Максимальный КПД	0,66	0,8	0,7	0,72
Установленная мощность электродвигателя, кВт	75	10	30	55
Диаметр рабочего колеса, мм	800	800	1000	1200
Габаритные размеры с электродвигателем, мм:				
длина	2370	1520±30	1660±30	1993±30
ширина	1330	1436±15	1680±15	1930±15
высота	1340	1365±25	1575±25	1825±25
Масса, кг	1080	375	885	1358

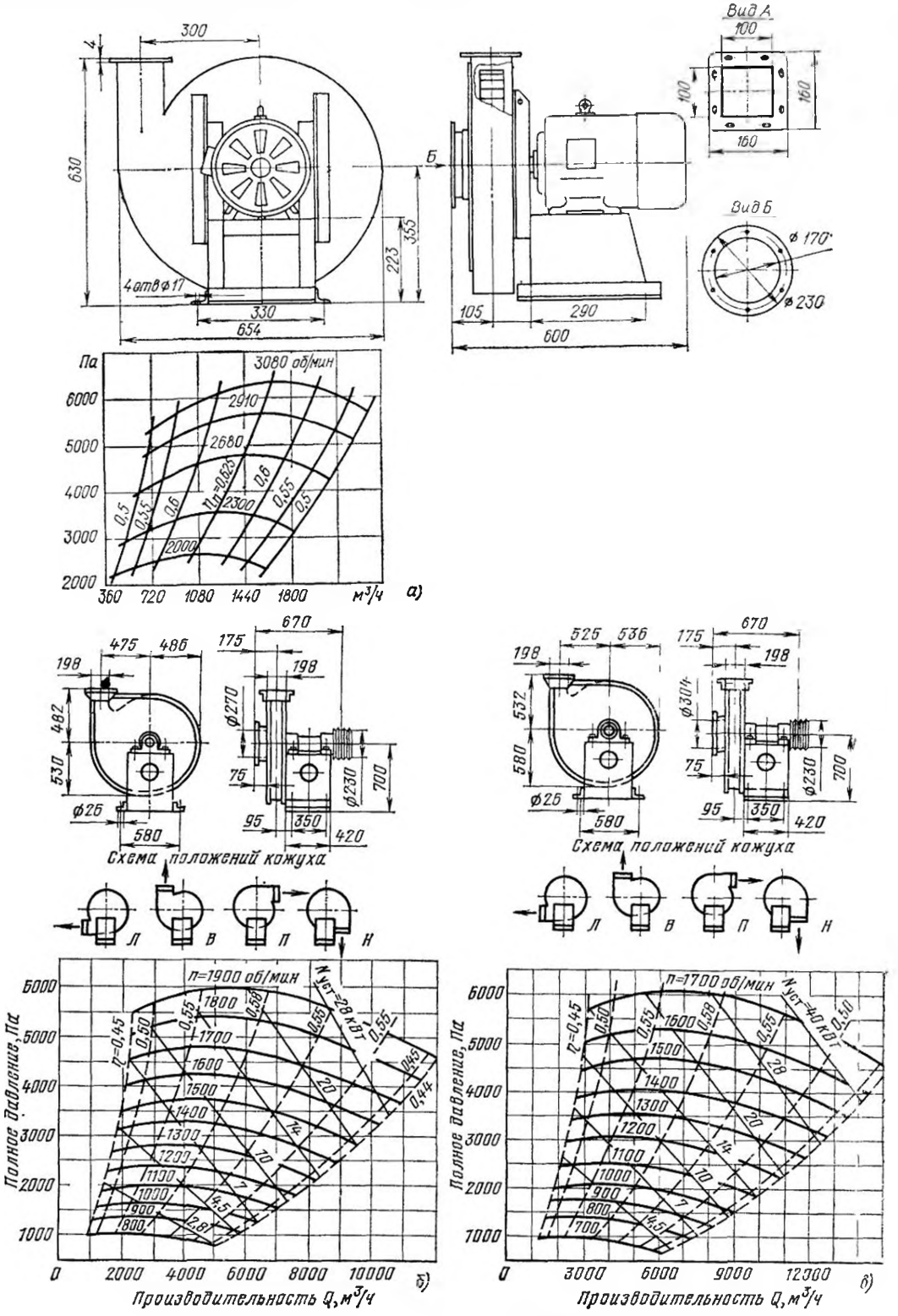


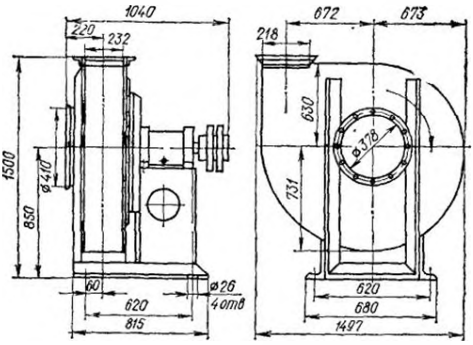
Рис. 8.5. Основные размеры и аэродинамические
а — ВВД № 5; *б* — ВВД № 8, *в* — ВВД № 9;

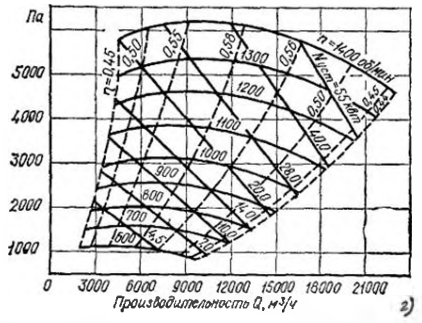
Таблица 8.5. **Техническая характеристика вентиляторов серии ВМ**

Наименование	Марка вентилятора								
	ВМ-15	ВМ-17	ВМ-18А	ВМ-20А	ВМ-160/850у	ВМ-180/1100	ВВСМ-1у	ВВСМ-2у	ВВСМ-3у
Диаметр рабочего колеса, мм	1500	1700	1800	2000	2220	1830	1200	1800	1800
Производительность, тыс. м³/ч	38	58	108	150	160	180	14	33	60
Полное давление, Па	7300	9200	10 650	12 900	9000	12 800	5300	5120	4750
Температура, °С	70	70	70	70	60	120	80	80	80
Частота вращения, об/мин	1480	1480	1480	1480	980	1480	1480	980	980
Мощность на валу, кВт	95	180	395	660	540	800	33,5	73	125
Максимальный КПД, %	82	82	81	81	72	76	62	62	62
Габаритные размеры, мм:									
длина	2155	2420	2645	2690	1530	2950	1605	2000	2000
ширина	2550	2915	3135	3374	3680	3730	1700	2480	2750
высота	2660	3002	3172	3424	4640	2865	1870	2630	2680
Масса без электродвигателя, кг	3000	4000	4300	4700	6900	6800	1900	4200	4800

Примечание. Номинальные параметры приведены при максимальном КПД.

Вентиляторы горячего дутья серии ВГДН и дымососы серии ДН, ДРЦ, ДЦ и ГД (рис. 8.8, табл. 8.6, 8.8 и 8.9) могут быть использованы при температурах газов до 400°С.





характеристики вентиляторов ВВД:
а — ВВД № 11

8.2. ДЫМОВЫЕ ТРУБЫ

Металлические дымовые трубы высотой до 45 м применяются при умеренной производительности пыле- и золоулавливающих установок для рассеивания газов в атмосфере. Разработан ряд типовых металлических труб диаметром 400, 500, 630, 800 и 1000 мм. Трубы первых трех диаметров имеют высоту 20 и 30 м, последних — 30 и 45 м. Дымовые трубы раскрепляются оттяжками, расположенными в зависимости от высоты труб в один или два яруса. В каждом ярусе устанавливается по три оттяжки, в плане оттяжки расположены под углом 120°, угол наклона оттяжек к горизонту принят в пределах 40—60°. Материал стволов труб — мартеновская сталь марки ВСтЗпс.

Цоколи дымовых труб запроектированы в двух вариантах: с надземным и подземным примыканием газоходов. Для чистки каналов в стенке цоколя предусмотрен проем, заполняемый кирпичной кладкой на глиняном растворе.

Максимально допустимая температура отходящих газов в случае применения металлических труб без футеровки составляет 350°С.

Для защиты металлических труб от коррозии при отводе серосодержащих газов внутренняя поверхность труб в период монтажа, когда трубы находятся в горизонтальном положении, покрывается двумя слоями жаростойкого и коррозионно устойчивого лака ФГ-9. Наружная сторона труб и оттяжки окрашиваются двумя слоями того же лака с добавлением 6% алюминиевой пудры.

Трубы высотой до 100—150 м могут быть выполнены из кирпича или железобе-

Таблица 8.6. **Основные размеры, мм, вентиляторов серии ВДН и дымососов серии ДН Бийского котельного завода (рис. 8.7)**

Номер вентилятора или дымососа	A	A_1	A_2	B	B_1	B_2	B_3	D	D_1	H	H_1	H_2	L_1	L_2
8	277	330	610	1331	765	520	400	800	530	1210	560	582	470	300
9	296			1491	855	585	450	900		1360	630		480	335
10	315			1651	945	650	500	1000	660	1506	700	602	355	375
11,2	343	565	760	1843	1055	728	560	1120		1690	785	702	577	420
12,5	368			2050	1170	812	625	1250	685	1885	875	732	667	470

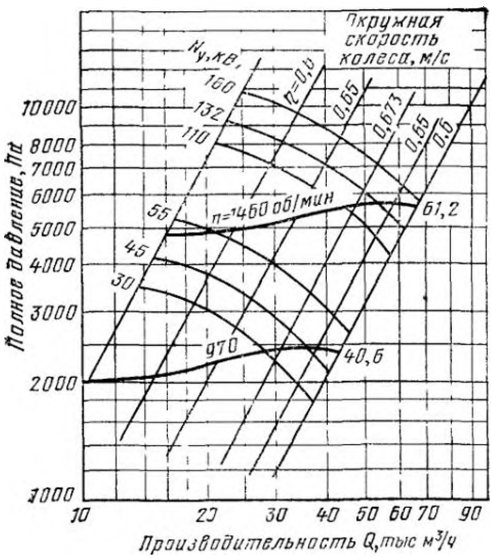


Таблица 8.7. **Техническая характеристика вентиляторов серии ВДН**

Марка вентилятора	Частота вращения, об/мин	Производительность, тыс. м³/ч	Полное давление, Па	Потребляемая мощность, кВт	Масса без электродвигателя, кг
ВДН-15	1000	54	3200	60	3500
ВДН-17	1000	60	4800	90	2630
ВДН-18	1000	152	3940	190	5500
ВДЕ-20	1000	215	4800	326	6100
ВДН-22-IIу	750	210	3400	225	7600
ВДН-24-IIу	750	275	4030	350	8400
ВДН-26-IIу	750	350	4700	520	9400
ВДН-28-IIу	750	430	5150	700	15 800
ВДН-32Б	750	475	6150	920	16 500
ВДН-31,5	750	275	10 570	990	12 800
ВДН-25×2	1000	520	8000	1265	26 800
ВДН-25×2-1	1000	560	9000	1680	26 900
ВДН-36×2	920	1550	1350	6450	54 700

Примечание. Производительность и полное давление показаны при расчетной температуре 30°С.

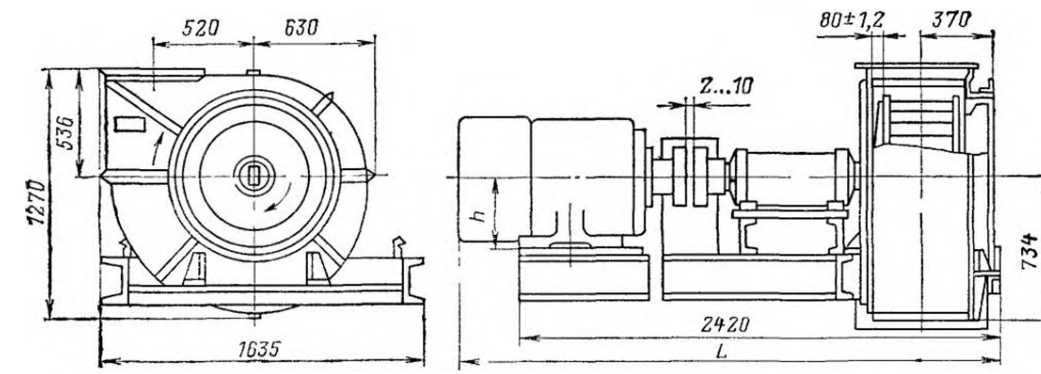


Рис. 8.6. Основные размеры и аэродинамические характеристики вентиляторов В-Ц12-49-8-01

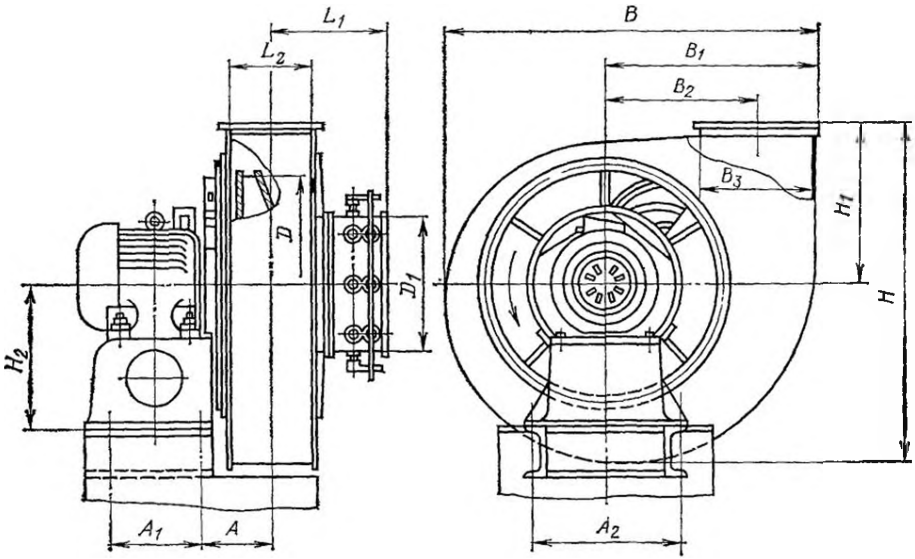


Рис. 8.7. Основные размеры вентиляторов ВДН и дымососов ДН Бийского котельного завода

тона. Более высокие, применяемые в основном на электростанциях, трубы (до 250 м и выше), выполняются исключительно из железобетона. Для защиты железобетонных труб от коррозии их покрывают изоляцией — эпоксидным лаком и стеклотканью и футеруют красным или кислотоупорным кирпичом на диабазовой или андезитовой замазке. Внутренняя поверхность футеровки затирается с последующей кисловкой

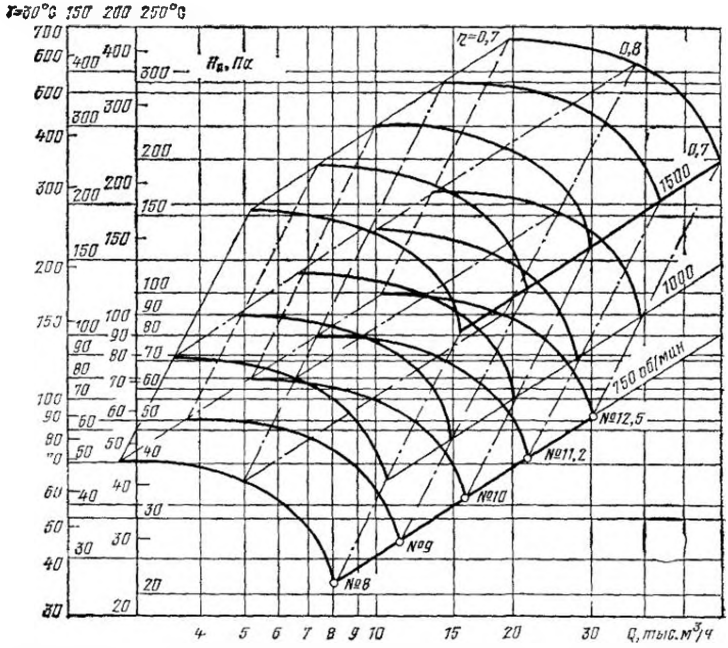


Рис. 8.8. Аэродинамические характеристики вентиляторов ВДН и дымососов ДН Бийского котельного завода

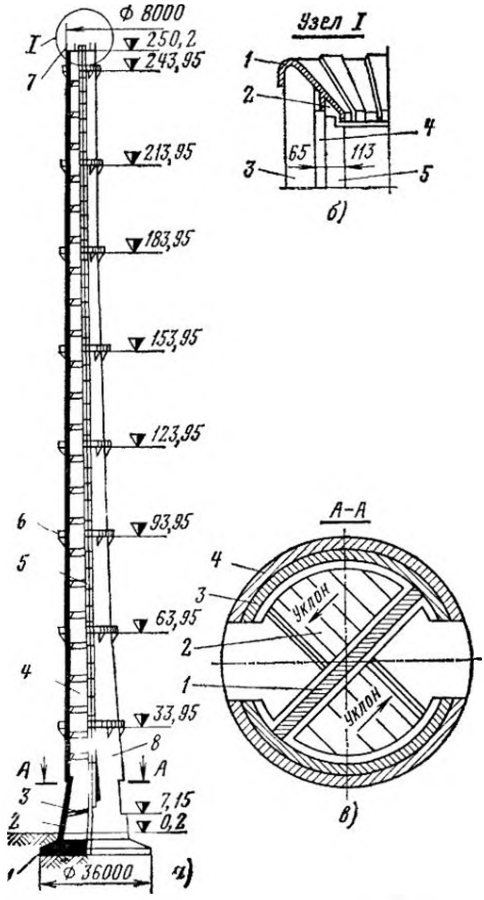


Рис 8.9 Железобетонная дымовая труба высотой 250 м с диаметром устья 8 м:

а — общий вид: *1* — фундамент; *2* — цоколь, *3* — пандус; *4* — ствол, *5* — ходовая лестница; *6* — светофорная площадка, *7* — громоотвод, *б* — верхняя часть: *1* — чугунный колпак, *2* — асбестовая прокладка, *3* — ствол *4* — изоляция; *5* — футеровка; *в* — нижняя часть (разрез по А-А): *1* — перегородка, *2* — пандус, *3* — футеровка; *4* — ствол

Таблица 8.8. Техническая характеристика дымососов серии ДН, ДРЦ и ДЦ

Марка дымососа	Частота вращения, об/мин	Производительность, тыс. м³/ч	Полное давление, Па	Потребляемая мощность, кВт	Расчетная температура, °С	Масса без электродвигателя, кг
ДН-15	1000	50	2260	40	200	2620
ДН-15НЖ	1500	68	3800	85	400	2490
ДН-17	1000	76	3000	73	200	2990
ДН-17НЖ	1000	68	2100	50	400	2850
ДН-19	1000	102	4460	172	100	7290
ДН-19НЖ	1000	106	2720	98	400	6800
ДН-21	1000	143	5850	284	100	6200
ДН-22	750	162	3200	175	100	8030
ДН-24	750	210	3810	270	100	8940
ДН-26	750	267	4470	403	100	10 100
ДН-22×2-0,62	750	289	3300	325	100	18 400
ДН-24×2-0,62	750	375	3930	502	100	21 500
ДН-26×2-0,62	750	447	4610	749	100	29 100
ДРЦ-21×2	740	420	3150	575	170	14 200
ДЦ-25×2	970	280	6600	690	350	16 400

Таблица 8.9. Техническая характеристика вентиляторов и дымососов для работы при высоких температурах

Наименование	Марка вентилятора и дымососа									
	ВГД-13,5у	ВГД-15,5у	ВГД-20у	ВГДН-15	ВГДН-17	ВГДН-19	ВГДН-21	ГД20-500у	ГД-31	ГД26×2
Диаметр рабочего колеса, мм	1350	1550	2000	1500	1700	1900	2100	2000	3100	2600
Производительность, тыс. м³/ч	60	85	146	50	73	102	128	200	330	600
Полное давление, Па	2190	2870	2750	1590	2030	2530	3100	4900	4300	5680
Температура, °С	400	400	400	400	400	400	400	400	347	345
Частота вращения, об/мин	970	970	730	980	980	980	980	1000	750	1000
Мощность на валу, кВт	51	95	156	27,5	51	90	190	390	480	1090
Максимальный КПД, %	70	70	70	82	83	83	83	68	84	83
Габаритные размеры, мм:										
длина	2580	2660	3300	2758	2585	4500	—	3345	4285	6480
ширина	2290	2620	3380	3180	3450	3240	—	3835	5900	—
высота	2145	2385	3030	2250	2550	2880	—	3420	4600	—
Масса без электродвигателя, кг	2400	2800	4800	2890	3085	—	4790	5800	14 000	30 000

Примечание номинальные параметры приведены при максимальном КПД

Таблица 8.10. **Типоразмеры железобетонных дымовых труб по типовым чертежам института Теплопроект**

Диаметр трубы, м	Высота трубы, м			
	120	150	180	250
4,2	×	—	—	—
4,8	×	—	—	—
6,0	×	×	×	—
6,5	—	—	—	×
7,2	×	×	×	—
8,0	—	—	—	×
8,4	×	×	×	—
9,6	—	×	×	×

20%-ным раствором серной кислоты. Между железобетонным стволом и футеровкой может быть предусмотрен изолирующий слой из минеральной ваты. Типоразмеры железобетонных дымовых труб по типовым чертежам института Теплопроект приведены в табл. 8.10, пример их конструкционного оформления — на рис. 8.9.

Более сложные по конструкции трубы с узким вентилируемым зазором между стволом и футеровкой, трубы типа «труба в трубе» со значительным зазором между дымоотводящим и несущим стволами, позволяющим обеспечить свободное движение людей и проведение необходимых ремонтных работ, а также многоствольные дымовые трубы, объединенные общим несущим стволом (оболочкой), применяются только на мощных тепловых электростанциях и рассматриваются в [8.2].

Высокие дымовые трубы должны иметь светофорные площадки для светооградительных огней, устанавливаемых через каждые 15 или 30 м.

Обслуживание светофорных площадок предусматривается с помощью огражденных лестниц или лифта. Кроме того, трубу окрашивают полосами красного цвета шириной 2—2,5 м с интервалами по высоте 15 м.

Для всех труб предусматривается система молниезащиты.

РАЗДЕЛ ДЕВЯТЫЙ

УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫГРУЗКИ ЗОЛЫ ИЛИ ПЫЛИ ИЗ СИСТЕМ ПЫЛЕ- И ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ

9.1. МЕХАНИЗМЫ СУХОЙ ВЫГРУЗКИ ЗОЛЫ ИЛИ ПЫЛИ

Устройства для сухой выгрузки золы или пыли по характеру работы делятся на пылевые затворы непрерывного и периодического действия.

К непрерывно действующим относятся мигалки с конусным или плоским клапаном, двойные пылевые затворы с электроприводом и лопастные шлюзовые питатели, а также некоторые виды конвейеров.

К периодически действующим относятся шиберные и шаровые затворы.

Затворы для непрерывной выгрузки пыли

Мигалки с конусным клапаном (рис. 9.1) могут устанавливаться в случае, если разрежение над ними не превышает 1000 Па. При больших разрежениях могут устанавливаться последовательно две мигалки. В случае работы на влажных пылях угол раскрытия конуса уменьшается с 90 до 60°. Высоту вертикального участка над мигалкой, м, необходимую для предупреждения подсосов воздуха, определяют по формуле

$$h = \frac{\Delta p}{g\rho_{нас}} + 0,1, \qquad (9.1)$$

где Δp — разрежение в аппарате, Па; $g = 9,81$ — ускорение силы тяжести, м/с²;

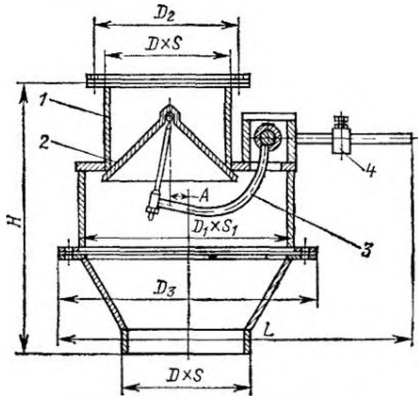


Рис. 9.1. Мигалка с конусным клапаном: 1 — входной патрубок; 2 — клапан; 3 — рычаг; 4 — груз

Таблица 9.1. Типоразмеры мигалок с конусным клапаном Сызранского турбостроительного завода, мм

Условный диаметр $D_у$, мм	Размер, мм							Масса, кг
	$D \times S$	$D_1 \times S_1$	D_2	D_3	H	L	A	
100	108×4	219×6	134	302	412	377	24	18
150	159×5	273×7	186	356	412	486	22	28
200	219×6	351×8	250	434	462	590	34	46
300	325×8	480×6	350	564	557	750	25	86
450	480×6	720×7	512	804	620	1032	20	159,7
600	630×6	920×7	675	1005	918	1316	18	269,7

$\rho_{нас}$ — насыпная плотность золы или пыли, кг/м³.

Диаметр мигалки (внутренний диаметр входного патрубка), м, расочитывают по формуле

$$D = 1{,}12\sqrt{G_{ул}/q}, \qquad (9.2)$$

где $G_{ул}$ — количество выгружаемой пыли, кг/с; q — удельная нагрузка мигалки, при отсутствии других рекомендаций может быть принята в пределах 60—100 кг/(м²×с).

Нормализованные значения условного диаметра мигалки $D_у$ составляют ряд: 100, 150, 200, 300, 450 и 600 мм (табл. 9.1).

Регулировка мигалки — создание требуемой герметичности (т. е. отсутствия подсоса воздуха) и равномерный спуск пыли при минимальном колебании клапана — сводится к нахождению наивыгоднейшего положения груза, обеспечивающего

Таблица 9.2. Типоразмеры клапанных затворов (мигалок с плоским клапаном), мм

Условный диаметр $D_у$, мм	Размер, мм						Масса, кг
	$D_н$	D	D_1	H	l	L	
200	219	217	325	600	150	305	83,9
250	273	273	377	660	170	325	122
300	325	321	426	700	195	350	138
400	426	416	630	810	250	848	229
500	530	527	720	850	300	948	272
600	630	629	820	900	350	1048	354

поддержание определенного столба пыли над клапаном мигалки.

При отрегулированной работе мигалки пыль или зола должны непрерывно и почти равномерно высыпаться наружу. Клапан либо стоит неподвижно либо совершает медленные колебания с амплитудой 2—3 мм, не ударяясь об обрез трубы. Если мигалка недогружена, то даже при самом тщательном ее изготовлении и самой тонкой регулировке мигалка теряет чувствительность и работает неудовлетворительно.

Мигалки с плоским откидным клапаном (рис. 9.2 и табл. 9.2 и 9.3) используются, если участок течки, непосредственно примыкающий к устройству для выгрузки золы или пыли, имеет наклон к вертикали более 5°, так как конусные мигалки устанавливать не допускается.

Противовесы мигалок с плоским откидным клапаном, указанные в табл. 9.3, подобраны с учетом разрежения на участке их установки до 2000 Па и наличия

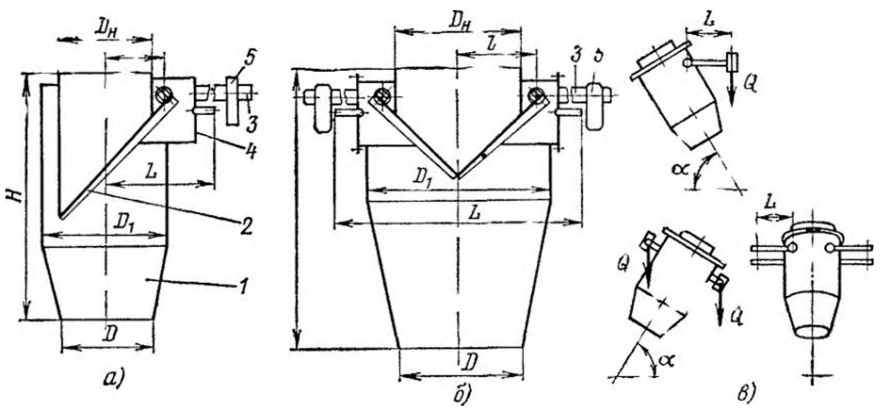


Рис. 9.2. Мигалки с плоским клапаном:

а — с одним клапаном; *б* — с двумя клапанами; *в* — схемы установки мигалок для подбора груза по табл. 9.3; *1* — корпус; *2* — клапан; *3* — рычаг; *4* — лючок; *5* — груз

Таблица 9.3. Расположение груза в зависимости от угла наклона установки мигалки с плоским клапаном

D_y, мм	Масса груза на одном рычаге, кг	Угол наклона оси затвора α			
		90°	80°	70°	60°
		L, мм (рис. 9.2)			
Мигалки с одним клапаном					
200	5	440	410	370	310
250	10	430			320
300	15	500	480	470	370
Мигалки с двумя клапанами					
400	10	530	510	510	480
500		900	860	860	850
600	15	1030	1030	1010	1000

уплотняющего столба пыли высотой 0,8—1 м при насыпной плотности пыли 900 кг/м³.

Двойной пылевой затвор с электроприводом разработан институтом Гипрогазоочистка Затвор может работать при температуре до 400°С и разрежении в аппаратах до 1000 Па.

На рис. 9.3 показан двойной пылевой затвор производительностью 1,5 кг/с, выпускаемый Нижне-Туринским машиностроительным заводом.

Шлюзовые питатели (рис. 9.4) при отсутствии над ними уплотняющего столба золы или пыли могут являться источником подсоса воздуха в систему газоочистки. Поэтому их желательно применять в сочетании с уровнемером, отключающим питатель до того, как будет сработан весь слой скопившейся над ним золы или пыли, и включающим его вновь после того, как уровень уловленного материала в бункере газоочистного аппарата превысит некоторое заданное значение.

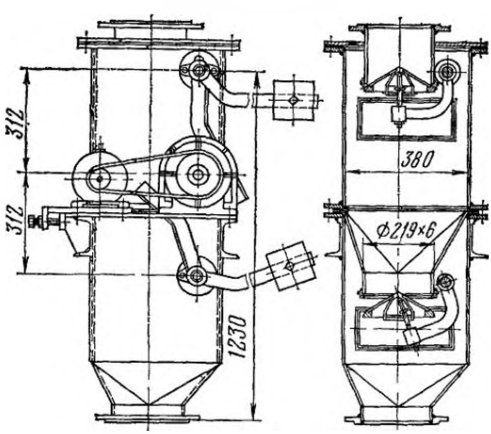


Рис. 9.3 Двойной пылевой затвор с электроприводом

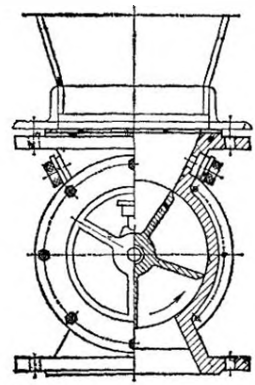


Рис. 9.4. Шлюзовой питатель

Технические характеристики и основные габаритные размеры шлюзовых питателей Дмитровоградского завода химического машиностроения приведены в табл. 9.4 и 9.5.

К конвейерам, которые могут быть использованы в качестве пылевыгрузочных устройств и одновременно с этим для транспортировки уловленной золы или пыли на умеренные расстояния, относятся

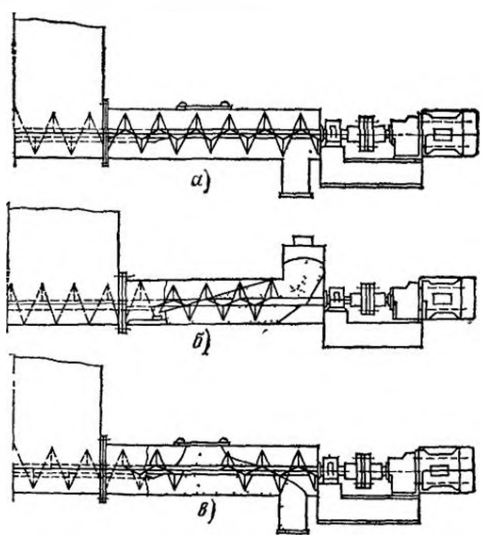


Рис. 9.5. Шнековые конвейеры:

а — со сплошным винтом; *б* и *в* — принципиальные схемы конвейеров с уплотняющими винтами

Таблица 9.4. Технические характеристики шлюзовых питателей Дмитровоградского завода химического машиностроения

Марка питателя	Диаметр загрузочного штуцера, мм	Производительность, м³/ч	Ротор			Электродвигатель		
			Частота вращения, об/мин	Диаметр, мм	Емкость, м³	Марка	Мощность, кВт	Частота вращения вала, об/мин
Ш1-15	100	0,14—1,34	2—19	150	0,0012	4АХ80А6 / ВАО-21-6	0,75 / 0,8	920 / 930
Ш1-20	150	0,39—3,7	2—19	200	0,0033	4АХ80В6 / ВАО-21-6	0,75 / 0,8	920 / 930
Ш1-30	250	1,46—14,2	2—19	300	0,0126	4АХ80В6 / ВАО-22-66	1,1	920 / 930
Ш1-45	400	5,9—55,8	2,1—20	450	0,05	4АХ904 / ВАО-32-6	2,2	1420 / 950

Примечания 1. Для питателей с нерегулируемым приводом производительность имеет максимальное значение.
2. В числителе—для общепромышленного исполнения, в знаменателе—для взрывозащищенного

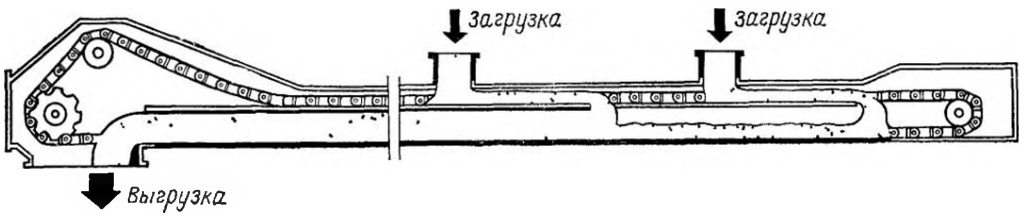


Рис 9 6 Конвейер типа КПС

шнековые винтовые конвейеры и конвейеры с погружными скребками

Шнековый конвейер может иметь сплошной винт (рис 9 5,*а*), или лишенный нескольких витков уплотняющий шнек для создания в конвейере уплотняющей пробки золы или пыли (рис 9 5,*б* и *в*)

Винт уплотняющего шнека, показанного на рис 9 5*б*, монтируется частично в бункере аппарата и частично в собственном кожухе Перед выгружным патрубком шнека, конец которого лишен нескольких витков устанавливается наклонная металлическая плоскость, благодаря которой образующаяся в этом месте пробка из пыли проталкивается шнеком в боковую разгрузочную течку.

В уплотняющем шнеке, показанном на рис 9 5,*в*, образование пылевой пробки происходит примерно в центре шнека, где исключены от одного до двух витков винта

В шнеки перед пуском в эксплуатацию необходимо насыпать достаточное количество пыли для образования запирающей

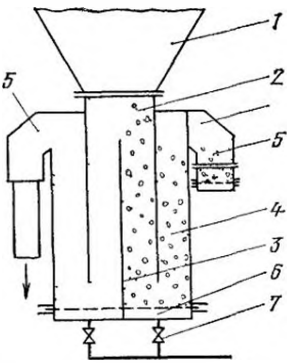


Рис. 9 7. Пневмослоевой затвор — переключатель ВТИ

Таблица 9.5. **Габаритные размеры, мм, и масса, кг, шлюзовых питателей типа Ш1**

Марка питателя	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг
Ш1-12РНУ-01	635	630	330	164
Ш1-15РНК-01				157
Ш1-15РВУ-01		714		158
Ш1-15РКВ-01				188
Ш1-15ЭНУ-01		755		170
Ш1-15ЭНК-01				163
Ш1-15ПНУ-01	681	864	515	168
Ш1-15ПНК-01				161
Ш1-15ПВУ-01		923		199
Ш1-15ПВК-01				192
Ш1-15БНУ-01	609	655	330	150
Ш1-15БНК-02				143
Ш1-15БВУ-02		717		177
Ш1-15БВК-02				170
Ш1-20РНУ-01	685	630	382	176
Ш1-20РНК-01				174
Ш1-20РВУ-01		714		207
Ш1-20РВК-01				205
Ш1-20ЭНУ-01		755		182
Ш1-20ЭНК-01				160
Ш1-20ПНУ-01	731	864	520	180
Ш1-20ПНК-01				178
Ш1-20ПВУ-01		923		211
Ш1-20ПВК-01				209
Ш1-20БНУ-02	659	655	382	162
Ш1-20БНК-02				160
Ш1-20БВУ-02		714		189
Ш1-20БВК-02	795	675	470	187
Ш1-30РНУ-01				224
Ш1-30РНК-01		739		224
Ш1-30РВУ-01				258
Ш1-30РВК-01				258
Ш1-30ЭНУ-01		775		232
Ш1-30ЭНК-01				232
Ш1-30ПНУ-01	830	884	530	230
Ш1-30ПНК-01				230
Ш1-30ПВУ-01		948		262
Ш1-30ПВК-01				262
Ш1-30БНУ-02	760	675	470	209
Ш1-30БНК-02				209
Ш1-30БВУ-02		739		240
Ш1-30БВК-02				240
Ш1-45РНУ-01	963	670	645	350
Ш1-45РНК-01				342
Ш1-45РВУ-01		725		380
Ш1-45РВК-01				371
Ш1-45ЭНУ-01		760		356
Ш1-45ЭНК-01				348

Продолжение табл. 9.5

Марка питателя	Длина, мм	Ширина, мм	Высота, мм	Масса, кг
Ш1-45ПНУ-01	1000	905	653	345
Ш1-45ПНК-01				346
Ш1-45ПВЧ-01		960		383
Ш1-45ПВК-01				375
Ш1-45БНУ-02	925	670	653	336
Ш1-45БНК-02				328
Ш1-45БВУ-02		725		365
Ш1-45БВК-02				357

Примечание Буквы Р, П и Э обозначают способ управления работой питателя: ручное, пневматическое или электрическое

Буква В обозначает, что для привода пылепитателя установлен электродвигатель во взрывобезопасном исполнении

Буква У обозначает исполнение питателя из углеродистой стали или чугуна, а буква К—коррозионностойкое исполнение из стали 08Х22Н5Т.

пробки Оптимальная форма и высота металлического листа уплотняющего шнека, так же как и длина участка, на котором образуется пробка за счет изъятия части витков, должна определяться опытным путем в зависимости от свойств золы или пыли и перепада давления

Технические характеристики наиболее распространенных шнековых конвейеров приведены в табл. 96 и 97

Конвейеры с погружными скребками КПС (рис. 96) представляют собой закрытый металлический короб, состоящий из отдельных последовательно соединенных секций Между приводной и натяжной головками внутри короба перемещается тяговая цепь со скребками Трасса конвейера может быть горизонтальной, наклонной и горизонтально-наклонной Для установки под бункерами пылеулавливающих аппаратов находят применение в основном конвейеры Гороховецкого завода ПТО (табл 98).

Пневмослоевые затворы ПСЗ и пневмослоевые затворы-переключатели ПСП разработаны ВТИ для удаления золы из бункеров сухих золоуловителей Принцип действия аппаратов аналогичен принципу действия гидрозатвора, в котором роль жидкости выполняет аэрированный слой золы

На тепловых электростанциях с системами сбора сухой золы аэрожелобами обычно устанавливается два параллельных аэрожелоба, один из которых является резервным, поэтому практическое применение нашли в основном аппараты типа ПСП (рис 97)

При работе аппарата зола из бункера *1* поступает в спускной стояк *2*, разделенный на две секции сплошной вертикальной

Таблица 9.6. **Основные характеристики шнековых конвейеров машиностроительного завода „Металлист" (г. Вельск)**

Наименование	Диаметр шнека, мм			
	200	320	400	500
Производительность при коэффициенте наполнения винта 0,3 (максимально), м³/ч	5,4	21	28	48
Шаг винта, м	0,16	0,24	0,32	0,40
Частота вращения винта, об/мин	60	60	37,5	37,5
Толщина витков винта, м	0,004	0,004	0,006	0,006
Толщина стенок желобов, м	0,003	0,003	0,004	0,004
Сечение загрузочного патрубка, м	0,2×0,2	0,3×0,3	0,4×0,4	0,5×0,5
Сечение разгрузочного патрубка, м	0,184×0,184	0,26×0,26	0,35×0,35	0,45×0,45
Масса 1 м конвейера без привода, кг	58	106	127	166
Максимальная длина конвейера, м	20	20	30	30

Таблица 9.7. **Основные характеристики шнековых конвейеров Брянского ремонтно-механического предприятия**

Наименование	Диаметр шнека, мм			
	200	320	400	500
Производительность при коэффициенте наполнения винта 0,3, м³/ч	5,8	23	49	96
Шаг винта, м	0,16	0,25	0,32	0,40
Частота вращения винта, об/мин	63—65	63—65	63—65	63—65
Толщина витков винта, м	0,004	0,004	0,006	0,004
Размеры загрузочного патрубка (в свету), м	0,20×0,20	0,28×0,28	0,415×0,415	0,515×0,515
Размеры разгрузочного патрубка (в свету), м	0,18×0,18	0,28×0,28	0,36×0,36	0,44×0,44
Масса 1 м длины конвейера без привода, кг	43,6	90	102	125

Таблица 9.8. **Основные технические характеристики конвейеров типа КПС**

Наименование	Марка конвейера			
	КПС-М-200Т	КПС-М-320Т	КПС-М-500Т	КПС-М-650Т
Ширина короба, мм	200	320	500	600
Максимальный угол наклона трассы	15°	15°	15°	15°
Угол подъема наклонной трассы	15°	15°	15°; 30°	15°; 30°
Скорость движения цепи, м/ч	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4	0,16; 0,2; 0,25; 0,315; 0,4
Производительность при скорости движения цепи 0,16 м/с, м³/ч:				
по горизонтальным участкам с холодным, до 200 °С, грузом	21	45	80	110
по участкам с максимальным наклоном с горячим, до 450 °С, грузом	7	12	28	36
Максимальная длина конвейера, м	65	50	70	60
Мощность электродвигателя в зависимости от производительности и длины конвейера, кВт	1,5—7,5	1,5—7,5	5,5—15	5,5—15

перегородкой *3*. К двум боковым стенкам примыкают подъемные стояки *4*, из которых по наклонным рукавам *5* зола направляется в соответствующую транспортную магистраль. Под каждым подъемным стояком и примыкающей к нему секцией спускного стояка имеются автономные аэрирующие устройства *6* с соответствующим подъодом сжатого воздуха *7*. При подаче воздуха в аэрирующее устройство расположенный над ним слой золы в подъемном

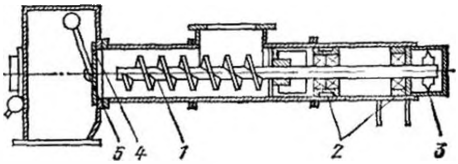


Рис. 9.8. Винтовой затвор конструкции института Ленгипрогазоочистка

и спускном стояках приходит в псевдоожиженное состояние, и начинается движение золы из бункера в транспортную магистраль, пока уровень слоя в подъемном и спускном стояках не выравнивается. При отключении аэрирующего воздуха движение золы прекращается.

Основные технические характеристики затворов переключателей ПСП приведены ниже:

	ПСП-300×300	ПСП-400×400	ПСП-500×500
Расход воздуха, м³/ч	16	30	45
Производительность при высоте слоя золы 1 м, т/ч	5—10	10—15	15—20
Габаритные размеры, мм:			
длина	712	912	1112
ширина	406	506	606
высота	1200	1200	1200

Винтовой затвор, разработанный институтом Ленгипрогазоочистка, состоит (рис. 9.8) из винта *1* с переменным шагом, консольно закрепленного в подшипниковой охлаждаемой опоре *2*. На другом конце вала насажена звездочка *3*, которая посредством цепной передачи получает вращение от мотора-редуктора. На выходе корпуса имеется обратный клапан *4*. Усилия прижима клапана к седлу регулируются грузами *5*, установленными на рычагах, которые закреплены на одном валу с клапанами. Благодаря этому в затворах создается пылевая пробка, гарантирующая герметичность в период выгрузки пыли. При отсутствии пыли герметичность до-

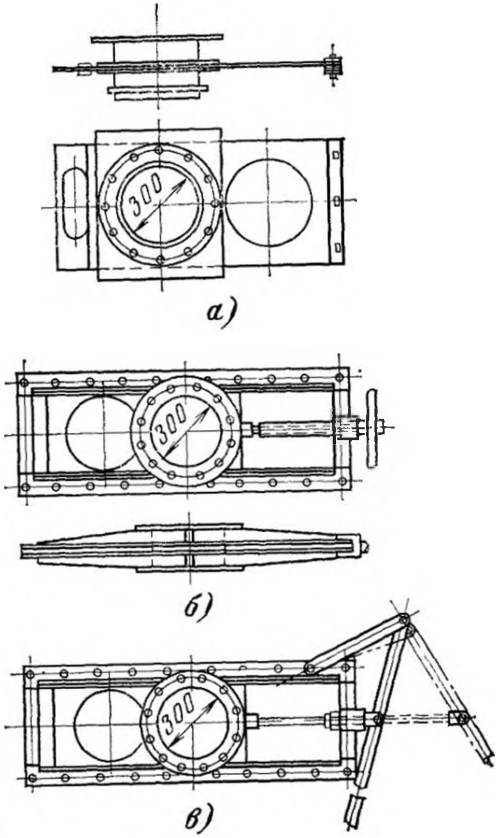


Рис. 9.9. Шиберные самоочищающиеся затворы:

а — обычный; *б* — герметичный винтовой; *в* — герметичный рычажный

стигается за счет плотного прилегания клапана к седлу.

Техническая характеристика винтового затвора

Производительность, м³/ч	8,8
Максимальная температура пыли, °С	250
Максимальное разрежение, МПа	0,015
Привод	Мотор-редуктор МП₂2-50-45·6
Частота вращения винта, об/мин	30
Шаг винта	Переменный
Диаметр винта, мм . . .	250

Затворы периодического действия

Шиберные затворы (рис. 9.9) при отсутствии над ними уплотняющего слоя золы или пыли обеспечивают хорошую герметичность при давлении до ±1000 Па для шибера, показанного на

Таблица 9.9. **Техническая характеристика элеваторов**

Марка элеватора	Производительность, м³/ч	Ширина ковша, мм	Емкость ковша, л	Скорость движения ковша, м/с	Высота транспортирования, м
Элеваторы ленточные					
ЛК-03	5,0	160	0,25	1,3	4,9—36,2
ЛК-06	8,4	160	0,6	1,3	4,9—36,2
ЛК-250, ЛМ-250	14 9,8	250	2 1,4	1,4	До 40
ЛГ-320, ЛМ-320	22 15,5	320	4 2,7	1,4	До 40
ЛГ-400, ЛМ-400	39 26	400	6,3 4,2	1,78	До 40
Элеваторы цепные					
ЦГ-200	18	200	1,3	1,25	4,4—34,7
ЦО-250	22,3	250	3,6	0,5	5,0—30
ЦС-320	45	320	8,0	0,47	5,0—30
ЦС-400	75	400	16,5	0,5	5,0—38
ЦГТ-500С	50	500	—	0,5	39,8
ЦГТ-650С	80	650	—	0,5	39,9
ЦГТ-800С	130	800	—	0,5	40,9
ЦГТ-1000С	200	1000	—	0,5	28,5

Примечание. Элеваторы типа ЛК, ЛГ, ЛМ и ЦГ выпускает Карагандинский машиностроительный завод № 2 им Пархоменко, а типа ЦО, ЦС и ЦГТ—Белохолунинский машиностроительный завод (Кировская обл).

рис. 9 9,*а*, и до ±3000 Па для шиберов, показанных на рис. 9 9,*б* и *в*. При изготовлении шиберов следует обеспечивать легкое скольжение и тщательную пригонку задвижки

Шаровой затвор (рис. 9.10) при хорошей подгонке сегмента к седлу пылевыпускного отверстия обеспечивает герметичность при перепадах до 1000 Па.

На выпускном штуцере шарового затвора приваривается либо кольцо из прутка диаметром 12 мм для подсоединения рукава в случае непосредственной выгрузки пыли в ту или иную тару либо фланец в случае подсоединения к системе пылетранспорта.

Устройство для подачи уловленного продукта в сборные бункера и силосы

В ряде случаев возникает необходимость подачи уловленной золы или пыли

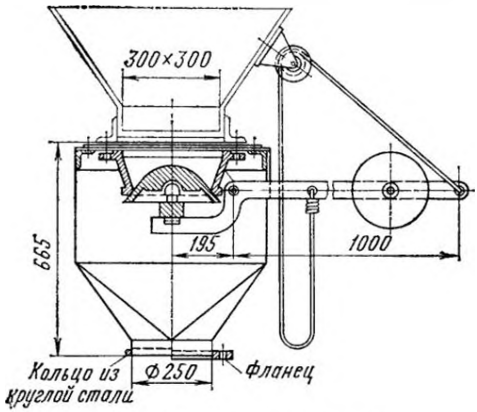


Рис 9 10 Шаровой затвор

в сборные бункера или силосы. Необходимая при этом высота подъема уловленного продукта может доходить до нескольких десятков метров. В подобных случаях могут быть использованы ленточные или цепные элеваторы (табл. 9 9), пневмовинтовые (табл. 9.10) или камерные (табл. 9.11) насосы.

Таблица 9.10. **Техническая характеристика пневмовинтовых насосов**

Наименование	Марка насоса				
	НПВ-63-2	НПВ-36-4	НПВ-110-2	НПВ-63-4	ТА-14А
Производительность, т/ч, по пыли с насыпной плотностью 1,25 т/м³	63	36	110	63	36
Приведенная длина пылепровода (не более), м	200	400	200	400	200
В том числе по вертикали, м	30	30	30	30	30
Давление сжатого воздуха, МПа	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Расход сжатого воздуха, м³/мин	22	25	38	41	15
Диаметр пылепровода, мм	175	175	250	250	140
Расход воды на охлаждение, т/ч	4	4	4	4	—
Мощность привода, кВт	55	132	100	132	30
Масса, кг	2150	2252	2940	3030	980
Габаритные размеры, мм:					
длина	4130	4182	4405	—	3450
ширина	660	660	700	—	640
высота	900	900	940	—	870

Примечание Насосы типа НПВ выпускает Красногорский завод цементного машиностроения, насосы ТА-14А—Ленинградский завод строительных машин.

Таблица 9.11. Техническая характеристика камерных насосов

Наименование	Марка насоса		
	ТА-28	ТА-29	ТА-23
Производительность по пыли с насыпной плотностью 1,25 т/м³, т/ч	100/125	60	40
Приведенная длина пылепровода, м, не более	1000/500	1000	300
В том числе по вертикали, м	50	50	25
Диаметр пылепровода, мм	250	200	150
Давление сжатого воздуха, МПа	0,6	0,6	0,4
Расход сжатого воздуха, м³/мин	100	76	—
Температура стенки камеры, °С	До 150	До 150	До 150
Габаритные размеры, мм:			
длина	6000	3770	3000
ширина	3700	3350	1012
высота	5500	4190	1600
Масса, кг	17 000	7990	1600

9.2. УСТРОЙСТВА ДЛЯ МОКРОГО УДАЛЕНИЯ ПЫЛИ И ЗОЛЫ

При гидравлическом транспорте уловленной золы или пыли в качестве затворов под газоочистными аппаратами в большинстве случаев устанавливаются золосмывные аппараты и гидрозатворы.

Золосмывные аппараты предназначены для постоянного смыва золы из бункеров золоуловителей, работающих под разрежением. Отверстие в крышке цилиндра аппарата для присоединения к золовой течке вырезается по месту при монтаже. В золовой течке должно быть предусмотрено устройство для отключения подачи золы.

Основные размеры золосмывных аппаратов приведены на рис. 9.11, их технические характеристики — в табл. 9.12.

Золосмывные аппараты поставляются с соплами, диаметры отверстий которых соответственно равны 9 и 16 мм. Рассверловка отверстия до большего диаметра выполняется при монтаже или оговаривается при заказе.

При значениях производительности, отличающихся от табличных, диаметр сопла, м, находят по формуле

$$d = 0{,}17\sqrt{KG/\mu\sqrt{p}}, \qquad (9.3)$$

где K — кратность смыва (отношение количества жидкости к количеству пыли)

Таблица 9.12. Техническая характеристика золосмывных аппаратов

Производительность по сухой золе, кг/с	Диаметр отверстия сопла, мм	Давление воды перед соплом, Па	Кратность смыва, кг/кг
0,38	9	0,20	3,9
0,4	10		3,2
0,55	12		3,5
0,7		0,30	3,4
0,85			2,9
1,1	16		4,0
1,4			3,2
1,7	18		3,4

принимается в пределах 2,5—4 кг/кг; G — производительность аппарата по сухой золе, кг/с; μ — коэффициент расхода сопла, в зависимости от конусности составляет

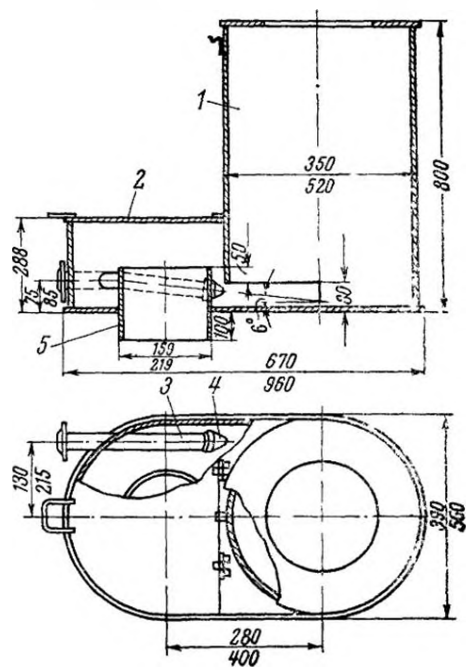


Рис. 9.11. Золосмывной аппарат с гидрозатвором:

1 — корпус; 2 — крышка; 3 — смывной патрубок; 4 — сопло; 5 — сливная труба

0,870 и 0,924, p — давление воды перед соплом, Па

Институтом ВНИИПИЧерметэнергочистка совместно с Никопольским заводом ферросплавов разработан прямоточный гидрозатвор с резиновым клапаном (рис 9 12,*а*)

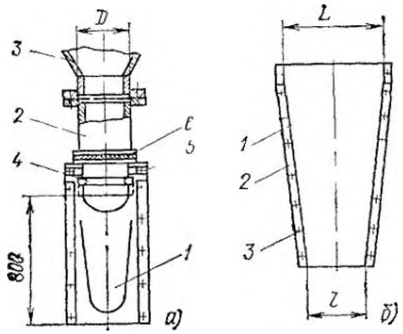


Рис 9 12 Гидрозатвор с резиновым клапаном

Рабочий орган гидрозатвора — резиновый клапан *1* надет на шламовыпускной патрубок *2*, присоединенный к нижней части конического бункера *3* Клапан выше упорного кольца *4* стянут полухомутами *5* Упорное кольцо предотвращает сползание клапана в процессе работы Уплотнение места закрепления клапана на патрубке осуществляется плотной навивкой асбестового шнура *6*, пропитанного жидким стеклом

На рис 9 12,*б* показана конструкция клапана, который изготовлен из двух листов *1* мягкой эластичной резины, наложенных друг на друга и соединенных по боковым сторонам путем вулканизации Резиновые листы клапана имеют трапециевидную форму, благодаря которой исключаются деформации и перекосы клапана после его установки на шламовыпускном патрубке При этом длина большего основания трапеции $L=\pi D/2$, длина меньшего основания трапеции l равна диаметру шламового патрубка Для обеспечения жесткости соединяемые стороны листов *1* скреплены стальными полосами *2* при помощи болтов *3*

Длина резинового клапана составляет примерно 2 5—3 диаметра шламовыпускного патрубка, толщина резиновых листов клапана выбирается в пределах 3—6 мм в зависимости от разрежения в пылеуловителе При разрежении до 10 кПа длину клапана рекомендуется выбирать равной трем диаметрам патрубка, толщину резины 3—4 мм При более высоком разрежении длина клапана должна составлять 2,5 диаметра шламовыпускного патрубка при толщине резиновых листов 5—6 мм

Если пылеуловитель зафутерован плитками, диаметр шламовыпускного патрубка должен обеспечивать свободный проход плиток через патрубок в случае их выпадения Но во избежание перекоса клапана и подсосов в пылеуловитель диаметр патрубка не должен превышать 300 мм

Гидрозатвор работает следующим образом при пуске системы газоочистки под воздействием создавшегося в аппарате разрежения резиновые листы плотно смыкаются в нижней части клапана, удерживая постепенно увеличивающийся столб шлама, стекающего в гидрозатвор из аппарата

При достижении столбом шлама высоты, превышающей разрежение в пылеуловителе, листы клапана размыкаются и избыточный шлам сливается через резиновый клапан При этом над клапаном постоянно находится столб шлама, служащий гидрозатвором и препятствующий подсосам воздуха в аппарат

Отвод шламозой воды из мокрых пылеуловителей осуществляется гидрозатворами, которые изолируют аппарат от внешней среды и обеспечивают поддержание в нем необходимого манометрического режима (давления или разрежения) Оптимальная скорость отвода (слива) жидкости из аппарата составляет 0,2—0,3 м/с, максимально допустимая скорость слива— 0,5—0,6 м/с

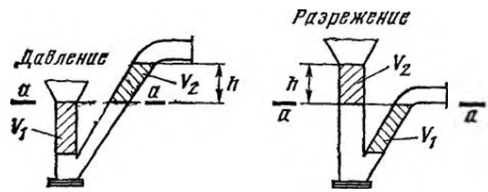


Рис 9 13 Схема гидрозатвора типа «петля»

В связи с простотой конструкции обычных гидравлических затворов специально разработанных нормалей на них нет

На практике обычно применяются два типа гидрозатворов в виде петли (рис 9 13) или открытого промежуточного сосуда (рис 9 14) Основное достоинство

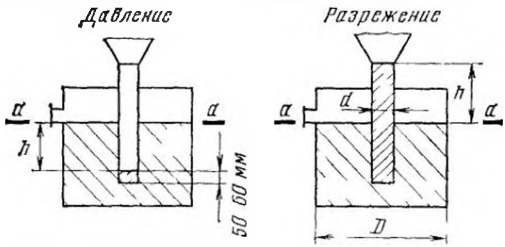


Рис 9 14 Схема гидрозатвора с открытым промежуточным сосудом

первого гидрозатвора — постоянство скорости слива по всей его длине, что уменьшает возможность выпадения осадка. В нижней части гидрозатвора устанавливается заглушка, позволяющая провести его очистку при остановках. В случаях герметичного отвода шламовой жидкости на восходящей части петли необходима установка воздушника.

Второй тип гидрозатвора чаще всего применяется для вывода из аппаратов растворов Достоинство затвора заключается в незначительном колебании уровня жидкости при пуске и остановке за счет большого объема промежуточного сосуда.

Если пренебречь гидравлическими потерями при движении жидкости по гидрозатвору, необходимая высота гидрозатвора h, м, может быть определена из соотношения

$$h = \frac{Б - p_г}{\rho_ж}, \qquad (9.4)$$

где $Б$ — барометрическое давление, Па; $p_г$ — абсолютное давление газа в аппарате, Па; $\rho_ж$ — плотность жидкости.

Геометрические параметры гидрозатворов при давлении и разрежении, показаны на рис. 9 13 и 9 14

Перед пуском установки гидрозатвор должен быть обязательно залит водой до уровня a-a. В случае применения в качестве гидрозатвора петли объем, занимаемый жидкостью V_1 (см рис. 9 13), должен быть больше или равен объему V_2. При использовании промежуточного сосуда (при работе под разрежением) глубина заглубления сливной трубы (см. рис. 9 14) находится из соотношения

$$k > hd^2/D^2, \qquad (9.5)$$

где d — диаметр сливной трубы, м; D — диаметр промежуточного сосуда, м; при работе под давлением сливная труба должна быть заглублена ниже уровня a-a на $k = h + (0{,}05 \div 0{,}06)$, м.

Гидрозатворы должны быть оборудованы дренажными устройствами и лючками для чистки при остановке оборудования Гидрозатворы применяются при небольших разрежениях и давлениях (до $\pm 15\,000$—$20\,000$ Па), наиболее часто встречающихся на практике.

При больших давлениях в мокром пылеуловителе на сливной трубе устанавливается дроссель, связанный с уровнем жидкости в аппарате. В случае большого разрежения слив жидкости может осуществляться самотеком в герметичную емкость, находящуюся под таким же разрежением, что и аппарат. Отвод же жидкости из емкости по мере ее заполнения осуществляется насосом.

РАЗДЕЛ ДЕСЯТЫЙ
ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЯ

10.1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ

Температура на поверхности изолированных объектов, расположенных на открытом воздухе, в зоне доступа обслуживающего персонала, не должна превышать 60—50°С при штукатурном покровном слое и 55—40°С при металлическом. В зонах, не доступных для обслуживающего персонала, температура на поверхности изолированных объектов, расположенных на открытом воздухе, не нормируется.

Для предотвращения перегрева воздуха в помещениях перепад температур между изолированной поверхностью и окружающим воздухом при проектировании тепловой изоляции следует принимать не более 20°С.

Допустимое падение температуры газов при выборе толщины теплоизоляции газоходов в газоочистных аппаратах выбирается в зависимости от свойств улавливаемых частиц. Температура газов должна на 15—20°С превышать температуру точки росы в случае улавливания пылей негигроскопических и на 40—50°С — гигроскопических

Если необходимо сохранить теплоту газов для его последующего использования (например, в случае очистки газов перед их сжиганием в газовой турбине), то выбор толщины теплоизоляции ведется с учетом норм тепловых потерь

Изоляция наружных объектов должна быть защищена прочным покровным слоем, обеспечивающим надежную защиту ее от механических воздействий и атмосферных явлений. Этот слой должен обеспечивать восприятие нагрузок без разрушения и появления остаточных деформаций.

Для фланцевых соединений и арматуры должна предусматриваться сборно-разборная конструкция изоляции. Изоляция углов и колен трубопроводов, линзовых, сальниковых и гнутых компенсаторов не должна препятствовать температурным перемещениям объектов и разрушаться.

10.2. РАСЧЕТ ТОЛЩИНЫ ТЕПЛОВОЙ ИЗОЛЯЦИИ

Определение толщины теплоизоляционного слоя по заданной температуре на поверхности изоляции

Для плоской поверхности толщину изоляционного слоя, м, определяют по формуле

$$\delta_{из} = \frac{\lambda_{из}(t - t_к)}{\alpha_н(t_к - t_н)}, \qquad (10.1)$$

где $t_н$ — температура окружающего воздуха, °С; $\lambda_{из}$ — коэффициент теплопроводности основного слоя изоляционной конструкции, Вт/(м·°С); $\alpha_н$ — коэффициент теплоотдачи от поверхности изоляционной конструкции в окружающую среду, Вт/(м²·°С); t — температура газа, °С; $t_к$ — температура поверхности теплоизоляционной конструкции

Для цилиндрической поверхности пользуются формулой

$$\frac{d_к}{d_н} \ln \frac{d_к}{d_н} = \frac{2\lambda_{из}(t - t_к)}{\alpha_н d_н (t_к - t_н)}, \qquad (10.2)$$

где $d_к$ — наружный диаметр изоляционной конструкции, м; $d_н$ — наружный диаметр изолируемого объекта, м.

После определения по $\frac{d_к}{d_н} \ln \frac{d_к}{d_н}$ значения $\frac{d_к}{d_н}$ толщину изоляции, м, находят по формуле

$$\delta_{из} = \frac{d_н}{2}\left(\frac{d_к}{d_н} - 1\right). \qquad (10.3)$$

В зависимости от расчетных условий коэффициент теплоотдачи $\alpha_н$, Вт/(м²·°С), может быть определен по приближенным формулам:

для плоской поверхности, находящейся в помещении,

$$\alpha_н = 9{,}8 + 0{,}07(t_к - t_в); \qquad (10.4)$$

для цилиндрической поверхности, находящейся в помещении,

$$\alpha_н = 9{,}4 + 0{,}052(t_к - t_в); \qquad (10.5)$$

для объектов, находящихся на открытом воздухе,

$$\alpha_н = 11{,}6 + 7\sqrt{w_в}, \qquad (10.6)$$

где $w_в$ — скорость ветра, м/с.

Температура окружающего воздуха принимается максимальной.

Определение толщины изоляции газоходов по заданному падению температуры транспортируемого в них газа

Толщина изоляционного слоя определяется по формулам:

если $\frac{t' - t_н}{t'' - t_н} > 2$,

$$\ln \frac{d_к}{d_н} = 2\pi\lambda_{из}(R_l - R^н_l) = 2\pi\lambda_{из}\left(\frac{L_р}{Qc_p \ln \frac{t' - t_н}{t'' - t_н}} - \frac{1}{\alpha_н \pi d_к}\right), \qquad (10.7)$$

если $\frac{t' - t_н}{t'' - t_н} < 2$,

$$\ln \frac{d_к}{d_н} = 2\pi\lambda_{из}(R_l - R^н_l) = 2\pi\lambda_{из}\left[\frac{(t^{ср} - t_н)L_р}{Qc_p(t' - t'')} - \frac{1}{\alpha_н \pi d_к}\right]. \qquad (10.8)$$

где t', t'' и $t^{ср}$ — начальная, конечная и средняя температуры газа, °С; Q — расход газа, м³/ч; $c_р$ — удельная теплоемкость газа, Дж/(м³·°С); $L_р$ — расчетная длина газохода, м; R_l — полное термическое сопротивление изоляционной конструкции, м×°С/Вт; $R^н_l$ — сопротивление теплоотдачи от поверхности изоляции в окружающий воздух, м·°С/Вт, $t_н$ — температура окружающего воздуха, °С.

Таблица 10.1 **Приближенные значения $R^н_l$, м·°С/Вт**

Диаметр газохода, мм	В закрытых помещениях при температуре теплоносителя, °С			На открытом воздухе при температуре теплоносителя, °С		
	100	300	500	100	300	500
350	0,081	0,058	0,058	0,023	0,023	0,023
400	0,7	0,058	0,047	0,023	0,023	0,023
500	0,058	0,047	0,047	0,023	0,023	0,023
600	0,05	0,043	0,04	0,019	0,018	0,015
700	0,044	0,040	0,035	0,018	0,015	0,014
800	0,04	0,035	0,033	0,015	0,014	0,013
1000	0,032	0,028	0,028	0,013	0,012	0,012
2000	0,019	0,016	0,014	0,007	0,007	0,006

Для приближенного определения $R^н_l$ рекомендуется пользоваться табл. 10.1. Далее по формуле (10.3) определяется толщина изоляции.

Определение толщины теплоизоляции по заданной потере теплоты

Потери теплоты в системе газоочистки могут быть заданы, исходя из условий дальнейшего использования очищенных газов. Если к тепловой изоляции не предъявляется никаких особых требований, хотя и признается ее необходимость как средства экономии теплоты, то толщина изоляционного слоя может быть определена,

Таблица 10.2. **Нормы теплопотерь q изолированными поверхностями при температуре окружающего воздуха 25 °С, Вт/м**

Наружный диаметр, мм	Температура теплоносителя, °С										
	75	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
520	180	198	267	336	408	480	551	625	698	770	834
620	203	233	314	390	465	546	620	684	766	853	916
720	226	267	360	441	510	603	690	754	835	936	1018
820	250	302	398	490	562	670	760	830	920	1020	1110
920	280	335	445	545	615	740	830	910	1020	1120	1230
1020	310	360	490	590	660	795	900	980	1100	1230	1345
Плоская поверхность*	76	88	110	135	160	180	205	220	245	270	295

* Теплопотери в Вт/м²

Таблица 10.3. **Поправочные коэффициенты для определения норм тепловых потерь**

Температура окружающего воздуха, °С	Температура теплоносителя, °С									
	100	150	200	250	300	350	400	450	500	550
+40	0,89	0,94	0,95	0,96	0,97	0,98	0,98	0,98	0,99	0,99
+30	0,97	0,98	0,98	0,99	0,99	0,99	0,99	0,99	1,00	1,00
+25	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
+20	1,03	1,02	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,01	1,00	1,00
+10	1,09	1,06	1,04	1,03	1,03	1,03	1,02	1,02	1,01	1,01
0	1,15	1,10	1,07	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03	1,02	1,02
—10	1,21	1,13	1,10	1,07	1,06	1,05	1,04	1,04	1,03	1,03
—20	1,26	1,17	1,12	1,10	1,08	1,07	1,06	1,05	1,04	1,04
—30	1,32	1,20	1,14	1,13	1,10	1,08	1,07	1,06	1,06	1,05
—40	1,37	1,23	1,17	1,14	1,11	1,10	1,08	1,07	1,07	1,06

Таблица 10.4. **Расчетная среднегодовая температура наружного воздуха для различных районов СССР**

Среднегодовая температура воздуха, °С				
+5	+10	+15	0	—10
Брянск Владивосток Владимир Воронеж Горький Иваново Казань Киев Куйбышев Курск Ленинград Москва Пенза Харьков Уральск	Астрахань Грозный Днепропетровск Керчь Кривой Рог Одесса Орджоникидзе Ростов-на-Дону Волгоград Краснодар	Ашхабад Баку Красноводск Новороссийск Самарканд Ташкент	Архангельск Вологда Иркутск Красноярск Новосибирск Магнитогорск Орск Свердловск Челябинск Уфа Пермь	Якутск

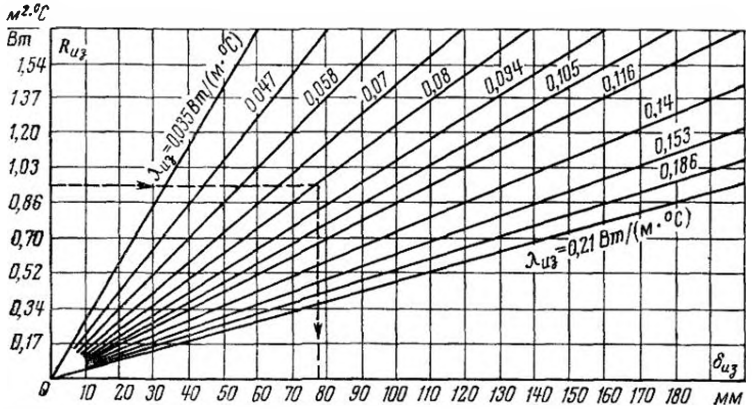


Рис. 10.1. Номограмма для определения толщины изоляции газоходов диаметром до 1000 мм

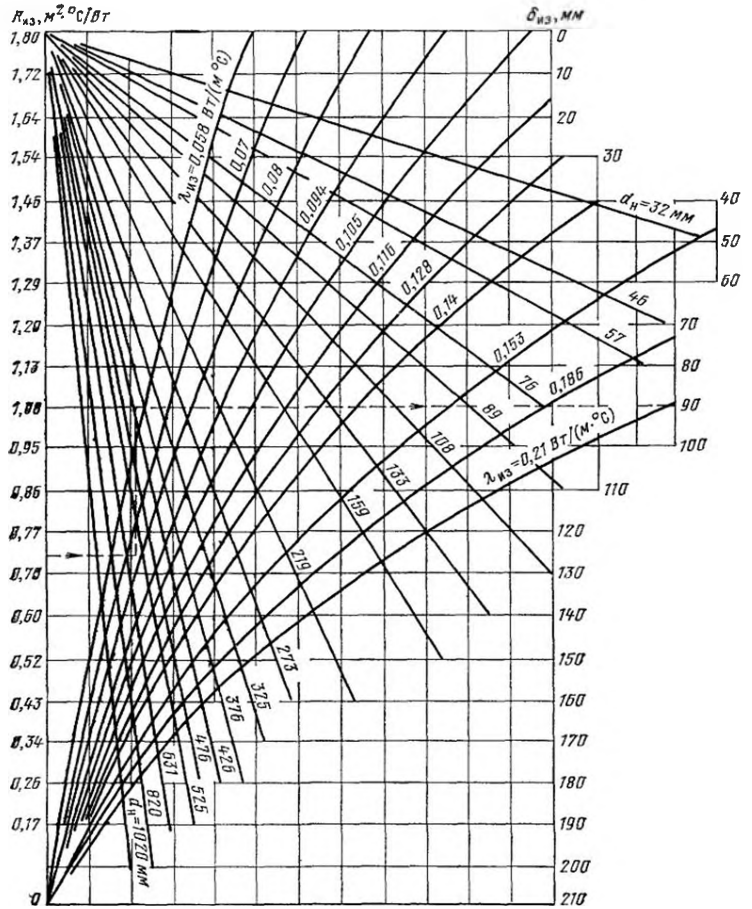


Рис. 10.2. Номограмма для определения толщины изоляции газоходов диаметром не более 1000 м и плоских поверхностей

Таблица 10.5. Значения температуры на поверхности основного изоляционного слоя под штукатуркой $t_{из}$, °С

Температура воздуха, °С	Температура теплоносителя, $t_{из}$, °С					
	100	200	300	400	500	600
+25	40	50	60	70	80	90
+15	30	40	50	60	70	80
0	15	20	25	30	40	50
—10	5	10	15	20	25	30
—30	—15	—10	—5	0	5	10

исходя из норм тепловых потерь, приведенных в табл. 10.2 для температуры наружного воздуха 25°С, с учетом поправок к этим нормам по табл. 10.3 при других наружных температурах.

Расчет начинается с определения средней температуры изоляционного слоя по формуле

$$t_{ср} = \frac{t_т + t_{из}}{2}, \qquad (10.9)$$

где $t_{из}$ — температура на поверхности основного изоляционного слоя под штукатуркой, °С, и принимается по табл. 10.5 в зависимости от значений $t_т$ — температуры теплоносителя и $t_н$ — расчетной температуры наружного воздуха по табл. 10.4.

Значение средней температуры $t_{ср}$ изоляционного слоя с достаточной точностью может быть принято по табл. 10.6.

Таблица 10.6. Значения средней температуры основного изоляционного слоя конструкции в зависимости от температуры теплоносителя и окружающего воздуха $t_{ср}$, °С

Температура окружающего воздуха, °С	Средняя температура $t_т$, °С					
	100	200	300	400	500	600
+25	70	125	180	235	290	332
+15	65	120	175	230	285	—
0	60	110	165	220	270	—
—10	55	105	160	210	265	—
—30	45	95	150	200	255	—

Расчетные значения средних температур основного изоляционного слоя $t_{ср}$ при других значениях расчетных температур окружающего воздуха $t_в$ приближенно могут быть определены по формуле

$$t_{ср} = t_{ср,\,25\,°С} - \frac{25 - t_в}{2}. \qquad (10.10)$$

Необходимое термическое сопротивление изоляции, м²·°С/Вт, определяется по формулам:

для плоских поверхностей и цилиндрических объектов диаметром более 1000 мм

$$R_{из} = \frac{t_т - t_в}{q} - m_1; \qquad (10.11)$$

для цилиндрических поверхностей диаметром менее 1000 мм

$$R_{из} = \frac{t_т - t_в}{q} - m_2, \qquad (10.12)$$

где $t_т$ — температура теплоносителя, °С; $t_в$ — температура окружающего воздуха, °С; q — теплопотери с 1 м² поверхности изоляции, Вт/м², или с 1 м цилиндра, Вт/м (по табл. 10.2 и 10.3).

Значения m_1 и m_2 в формулах (10.11) и (10.12) приведены в табл. 10.7.

Таблица 10.7. Значения m_1 и m_2 в формулах (10.11) и (10.12) при использовании в качестве покровного слоя асбоцементной и асбозуритной штукатурки

Диаметр газохода, мм, или форма изолируемой поверхности	Температура теплоносителя, °С					
	в помещении			вне помещения		
	100	300	500	100	300	500
Значения m_2, м²·°С/Вт						
630	0,071	0,063	0,056	0,041	0,037	0,033
720	0,063	0,057	0,053	0,036	0,034	0,031
820	0,057	0,053	0,048	0,033	0,031	0,027
920	0,053	0,048	0,043	0,030	0,028	0,028
1020	0,048	0,043	0,040	0,027	0,026	0,024
Значения m_1, м²·°С/Вт						
Плоская поверхность	—	0,19	—	—	0,12	—

Зная необходимое термическое сопротивление изоляции и коэффициент теплопроводности используемого материала (табл. 10.8), толщину основного изоляционного слоя $\delta_{из}$ можно определить по номограммам, приведенным на рис. 10.1 для трубопроводов диаметром до 1000 мм и на рис. 10.2 для трубопроводов диаметром более 1000 мм и плоской поверхности.

10.3. ТЕПЛОИЗОЛЯЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ И ПОКРЫТИЯ

Основными требованиями, предъявляемыми к теплоизоляционным материалам, являются следующие:

низкая плотность, которая не должна превышать 650 кг/м³ для стационарных и

Таблица 10.8. **Технические характеристики некоторых теплоизоляционных материалов**

Материал	Плотность, кг/м³	Максимально допустимая температура, °С	Коэффициент теплопроводности, Вт/(м °С)
Асбестовая ткань в несколько слоев	500—600	С хлопком —200, без хлопка —450	$0,128+0,00025t_{ср}$
Мастичные материалы:			
асбозурит марки 600	600	900	$0,163+0,000174t_{ср}$
асботермит	570	500	$0,128+0,000095t_{ср}$
совелит	500	500	$0,005+0,000098t_{ср}$
Войлок:			
строительный	200	100	$0,044+0,00018t_{ср}$
отопительный	100	100	$0,052+0,0002t_{ср}$
Диатомовые обжиговые изделия (кирпичи, сегменты, скорлупы):			
марки 500	500	900	$0,0105+0,00023t_{ср}$
марки 600	600	900	$0,14+0,00023t_{ср}$
Минеральная вата в набивку под сетку марок:			
75	120	600	$0,044+0,00029t_{ср}$
100	150		$0,047+0,00024t_{ср}$
125	190		$0,049+0,00021t_{ср}$
150	230		$0,054+0,00019t_{ср}$
Минераловатные прошивные маты:			
марки 150	180—200	На металлической сетке —600	$0,054+0,00019t_{ср}$
марки 200	240—260	На стеклоткани —300	$0,058+0,00019t_{ср}$
Перлитовые изделия на керамической связке (плиты, сегменты, скорлупы) марок:			
250	250	900	$0,07+0,00019t_{ср}$
300	300		$0,076+0,00019t_{ср}$
350	350		$0,087+0,00019t_{ср}$
400	400		$0,100+0,00019t_{ср}$
Стеклянная вата в набивке	170	450	$0,047+0,00025t_{ср}$
Стекловатные полужесткие плиты (ПП) на синтетическом связующем:			
марки 50	60	180	$0,042+0,00035t_{ср}$
марки 75	90		$0,044+0,00023t_{ср}$

Таблица 10.9. **Материалы для покровного слоя (толщина, мм)**

Материал	ГОСТ, ТУ	Диаметр объекта с изоляцией, мм		
		до 350	350—600	свыше 600
Сталь тонколистовая оцинкованная, кровельная	ГОСТ 19901-74	0,4—0,5	0,8	0,8—1,0
Сталь прокатная тонколистовая	ГОСТ 19903-74 ГОСТ 19904-76	0,5	0,8	0,8—1,0
Листы алюминиевые марок АД и АД1 и др.	ГОСТ 12597-67 ГОСТ 13722-68	0,5	0,8	0,8—1,0
Гофрированные листы алюминиевых сплавов марок АМц, АМг	ТУ ПК-0782-1,2 ТУ ПК-0790-1	—	—	0,5
Стеклотекстолит конструкционный	ГОСТ 10292-74	0,5—0,75	0,75—0,8	1,0
Стеклотекстолит для теплоизоляционных конструкций	ТУ 6-11-270-73	Ст1	Ст1 Ст2	Ст2
Скорлупы из стеклопластика	ТУ 21Э01-207-69	2	2	—
Стеклотекстолит покровный листовой СТПЛ	ТУ 36-1583-72	—	—	0,3 0,5
Лакостеклоткань РС теплоизоляционных конструкций	ТУ 84-117-70	Определяется толщиной стеклоткани, но не менее 0,2 мм		
Стеклоткань защитная гидрофобная	ТУ 84-1160-70	0,25—0,35		
Стеклоцемент текстолитовый для теплоизоляционных конструкций	ТУ 36-940-68	1,5 2	2	—
Стеклорубероид	ГОСТ 15879-70	2,5	2,5	2,5
Рубероид	ГОСТ 10923-76	—	—	—
Листы асбоцементные плоские	ГОСТ 18124-75	—	—	6, 8, 10
Листы асбоцементные волокнистые	ГОСТ 378-76	—	—	5,5
Ткань стеклянная	ГОСТ 19170-73	0,2—0,27		
Фольгоизол	ГОСТ 5-2053-73	Не менее 0,2		
Изол	ГОСТ 10296-79	2	2	2
Штукатурка песчано-цементная	—	15—20		
Штукатурка асбестоцементная	—	15—20		

Таблица 10.10. **Нормы расхода материалов на покровные слои теплоизоляции (на 10 м³)**

Наименование	Единица измерения	Наименование покрытия													
		Сталь тонколистовая кровельная, δ = 0,8 мм	Сталь тонколистовая оцинкованная, δ = 0,8 мм	Листы алюминиевые на сплаве ВД1, δ = 1 мм	Листы гофрированные из алюминиевых сплавов, δ = 0,5 мм	Скорлупа из стеклопластика	Стеклоцемент текстолитовый: Крепление на бандажах	Стеклоцемент текстолитовый: Крепление на винтах	Оболочки из упругих материалов	Лакостеклоткань по рубероиду	Фольгоизол	Изол (рубероид РК-420)	Асбестоцементные полуцилиндры	Штукатурка, δ = 10 мм: асбестоцементная	Штукатурка, δ = 10 мм: песчано-цементная
Основной материал	м²	11,6	11,6	11,6	12,1	11,3	12,2	11,2	11,2	11	12	—	11,2	—	—
	кг	73	73	32,4	20,6	19,2	31,6	33,7	20,3	3,1	26,5	27,6 (32,4)	38,7	—	—
Винты самонарезающие 4×12 оцинкованные	шт.	100	100	100	100	—	—	60	100	—	100	—	—	—	—
	кг	0,12	0,12	0,12	0,12	—	—	0,07	0,12	—	0,12	—	—	—	—
Упаковочная лента 0,7×20	м	—	—	—	—	37	25	—	—	25	—	35	22	10	—
Упаковочная лента 0,7×40	кг	—	—	—	—	4,07	2,8	—	—	2,8	—	3,85	3,3	3,2	—
Пряжка	шт.	—	—	—	—	35	40	—	—	22	—	30	30	—	—
	кг	—	—	—	—	0,25	0,28	—	—	0,15	—	0,21	0,21	—	—
Рубероид марки РП-250	м²	—	—	—	—	—	—	—	—	11	—	—	—	—	—
	кг	—	—	—	—	—	—	—	—	12,1	—	—	—	—	—
Тонколистовый металл (планки)	м²	—	—	—	0,1	—	—	1,1	2	—	—	—	—	—	—
	кг	—	—	—	0,3	—	—	(6,9)	(12,6)	—	—	—	—	—	—
Лента прорезиненная	м	—	—	—	—	—	—	—	—	25	—	—	—	—	—
	кг	—	—	—	—	—	—	—	—	0,25	—	—	—	—	—
Цемент марки „300"	кг	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	120	40
Асбест К-Б-30	кг	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	30	—
Песок	м³	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0,1

Примечания: 1. Количество материалов для металлических покрытий подсчитано для крепления самонарезающими винтами.
2. Масса оболочек из упругих материалов подсчитана, исходя из массы стеклотекстолита КАС1-8 толщиной 1 мм при плотности 1850 кг/м³.
3. Количество битума для проклейки швов при покрытии изолом или рубероидом составляет 5,0 кг.
4. Количество лака ХСЛ для проклейки швов при покрытии лакостеклотканью составляет 0,3 кг.
5. Масса в скобках указана для стали тонколистовой оцинкованной толщиной 0,8 мм.

250 кг/м³ для нестационарных установок; материалы, имеющие низкую плотность, как правило, требуют усиленных защитных покровных слоев;

низкий коэффициент теплопроводности, который не должен превышать для высокоэффективных теплоизоляционных материалов 0,10 Вт/(м·К) при средней температуре 200°С (средняя температура изоляции), для среднеэффективных материалов 0,17 Вт/(м·К) при средней температуре 170°С и для низкоэффективных материалов 0,25 Вт/(м·К) при средней температуре 125°С; коэффициент теплопроводности материалов, применяемых при теплоизоляции объектов с отрицательными температурами, должен быть не более 0,08 Вт/(м·К);

высокая температуроустойчивость; материал не должен гореть и поддерживать горение, не должен тлеть после удаления открытого пламени и должен выдерживать температурные пределы его применения;

механическая прочность материала, которая в значительной степени определяет долговечность изоляции и надежность ее в эксплуатации;

низкая водопоглощающая способность материала при погружении в воду и низкая гигроскопичность;

постоянство объема материала, которое определяется малой его способностью самоуплотняться и давать усадку;

морозостойкость;

биостойкость; материал не должен подвергаться гниению, способствовать разведению плесени и насекомых, а также быть съедобным для грызунов;

антикоррозионность; материал не должен вызывать или способствовать коррозии металла;

Таблица 10.11. **Нормы расхода материалов на отделку различных покровных слоев**

Вид отделки	Наименование материала	Расход на 10 м² поверхности
Окраска		
Перхлорвиниловыми красками и эмалями	Эмаль и краски перхлорвиниловые	1,6 кг
	Растворитель	0,6 кг
	Грунт / Сольвент	0,8 / 0,12 кг
Химически стойким лаком	Лак ХСЛ	1,3 кг
	Растворитель	0,5 кг
	Краска масляная тертая	0,27 кг
	Белила цинковые тертые	2,0 кг
	Олифа	1,8 кг
	Мел	0,1 кг
	Клей малярный	0,05 кг
Алюминиевой краской	Краска АЛ-177 / Растворитель	0,84 / 0,12 кг
Оклеивание		
Хлопчатобумажной тканью	Ткань хлопчатобумажная шириной 0,7 м	15 м
	Крахмал	0,75 кг
Мешочной тканью	Ткань мешочная шириной 1 м	10,5 м
	Крахмал	0,9 кг
Рулонными материалами (рубероидом, пергамином, изолом)	Рулонные материалы	11,5 м
	Мастика битумная	18 кг
Стеклотканью на лакокрасочном материале	Стеклоткань шириной 1 м	10,5 м
	Лакокрасочный материал	См. „Окраска"

Примечания: 1. Количество материалов дано при окраске на один раз.

2. При необходимости добавления алюминиевой пудры в лак ХСЛ количество не составляет 10% массы лака.

отсутствие специфического запаха; материал не должен выделять при эксплуатации и горении ядовитых и вредных газов, кроме окиси углерода и углекислого газа, и должен быть безвредным как при монтаже, так и при эксплуатации;

воздухо- и газонепроницаемость;

удобство при монтаже;

материал должен изготовляться промышленностью.

Найти теплоизоляционный материал, который удовлетворял бы всем перечисленным требованиям, очень трудно. Однако многие требования могут быть удовлетворены созданием рациональной изоляционной конструкции с покровным слоем, предохраняющим изоляцию от увлажнения и увеличивающим механическую прочность и огнестойкость.

Технические характеристики наиболее распространенных теплоизоляционных материалов приведены в табл. 10.8.

В качестве покровного слоя по тепловой изоляции должны предусматриваться в основном изделия, позволяющие выполнять во время монтажа только их сборку. К этому виду покрытий относятся готовые изделия из металлических листов, скорлупы из стеклопластика, асбестоцементные полуцилиндры и т. п.

Материалы различных покровных слоев указаны в табл. 10.9. Нормы расхода материалов на них приведены в табл. 10.10 и 10.11.

Штукатурные покрытия должны применяться только при отсутствии готовых сборных покрытий, а также на объектах сложной конфигурации и на криволинейных поверхностях, где применение сборных покрытий затруднено.

Штукатурные покрытия применяются из следующих растворов: асбестоцементного и песчано-цементного.

Для асбестоцементной штукатурки применяется раствор из затворенной водой смеси асбеста К-6-3 или К-6-20 мягкой текстуры и портландцемента марки «300» (20% асбеста и 80% цемента). Плотность 1700 кг/м³.

Для песчано-цементной штукатурки применяется раствор затворенной водой смеси цемента марки «300» и песка в количестве соответственно 400 кг и 1 м³. Плотность штукатурки 2000 кг/м³.

Штукатурные растворы наносятся на выровненную поверхность изоляции основного слоя по каркасу из металлической плетеной, тканой или просечно-вытяжной сетки. Нанесенный слой раствора выравнивается под рейку или заглаживается.

Толщина штукатурного слоя:

для трубопроводов диаметром до 133 мм при изоляции жесткими изделиями—10 мм, при изоляции изделиями из волокнистых материалов—15 мм;

для трубопроводов диаметром более 133 мм при изоляции жесткими изделиями — 15 мм, при изоляции изделиями из волокнистых материалов—15—20 мм.

Поверхность штукатурки окрашивается красной масляной, алюминиевой краской АЛ-177 или перхлорвиниловой.

Поверхность штукатурки, нанесенной по изоляции вибрирующих объектов, оклеивается тканью (хлопчатобумажной, стеклянной или мешковиной) и окрашивается одной из указанных выше красок.

РАЗДЕЛ ОДИННАДЦАТЫЙ

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ ПЫЛЕ- И ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ

11.1. ОСНОВЫ ВЫБОРА ПРОЕКТНЫХ РЕШЕНИЙ

Требования к полноте улавливания золы или пыли могут определяться санитарно-гигиеническими условиями обеспечения чистоты атмосферного воздуха, необходимостью защиты технологического оборудования или требованиями самой технологии, например защитой вентиляторов от быстрого износа в результате эрозии лопаток ротора абразивными частицами, предупреждением загрязнения катализатора при каталитических методах обезвреживания аспирационного воздуха или забивки промывных колонн пылью при абсорбции из газов необходимых составляющих. Наконец, в некоторых случаях полнота улавливания обусловливается стоимостью продукта, находящегося в пылевидном состоянии.

Борьба с загрязнением атмосферного воздуха должна проводиться по трем основным направлениям: во-первых, путем конструкционного совершенствования топливоиспользующих или других технологических установок и оптимизации режимов их работы; во-вторых, путем правильного выбора золо- и пылеуловителей; в-третьих, путем установки достаточно высоких дымовых труб или рассеивания летучей золы и пыли на значительные расстояния и площади и ослабления тем самым их вредного действия.

К основным требованиям, предъявляемым к системам пыле- и золоулавливания, относятся высокая эффективность и эксплуатационная надежность. Эффективность практически всех пылеуловителей зависит от дисперсного состава частиц. Однако на работу электрофильтров не менее важное влияние оказывают и удельное электрическое сопротивление слоев золы и пыли, температура и влажность газов. Эксплуатационная надежность многих аппаратов зависит от слипаемости частиц и их абразивности, начальной запыленности газов и их агрессивности.

Размеры частиц, образующихся при некоторых технологических процессах, и целесообразность их улавливания в различных типах аппаратов можно оценить по диаграмме на рис. 11.1.

Следует иметь в виду, что чем выше требуемая степень очистки газов и чем мельче подлежащие улавливанию частицы, тем большими оказываются удельные капитальные затраты на сооружение установок пыле- или золоулавливания и расходы на их эксплуатацию.

Прежде чем приступить к проектированию системы газоочистки, необходимо изучить конструкционные и эксплуатационные особенности имеющихся пыле- и золоуловителей.

Каждый пыле- или золоулавливающий аппарат рассчитан на определенные условия работы. К ним в первую очередь следует отнести допустимое давление или разрежение, температуру, допустимые пределы изменения объемов очищаемого газа, возможность размещения на открытом воздухе и восприятия нагрузок от подводящих газоходов и площадок обслуживания.

Приступая к проектированию, необходимо собрать исходные данные. Формы опросных листов, используемых для этой цели институтом Гипрогазоочистка, приведены в прилож. IV. Затем следует сделать наброски возможных схем системы газоочистки и провести вариантные расчеты для выбора оптимальной из них по ожидаемой эффективности, капитальным и эксплуатационным затратам, компоновке оборудования и т. д.

Интенсивность окраски выбросов и их биологическая вредность определяются в основном площадью поверхности содержащихся в них частиц. Отсюда становится ясной важность улавливания возможно большего количества мелких частиц, но это как раз есть тот диапазон их размеров, в котором эффективность большинства пылеуловителей наименьшая. Из рис. 11.1 видно, что такие из наиболее широко распространенных аппаратов, как циклоны, при размере частиц около 1 мкм мало эффективны и только скоростные газопромыватели, тканевые фильтры и электрофильтры при улавливании частиц рассматриваемого размера имеют достаточно высокую эффективность.

При компоновке пылеулавливающей аппаратуры следует руководствоваться следующими положениями.

Пылеуловители обычно устанавливаются на всасывающей стороне вентиляторов или дымососов. Установка пылеуловителей на напорной стороне тягодутьевых машин возможна, если нет опасности, что тягодутьевые машины подвергнутся ускоренному абразивному износу.

При мокрых схемах пылеулавливания установка тягодутьевых машин желательна на напорной стороне во избежание отложения шлама на роторе машин и конденсаций паров воды на внутренней стороне улитки машины. В этом случае во избежание абразивного износа вентиляторов и дымососов перед ними обычно устанавли-

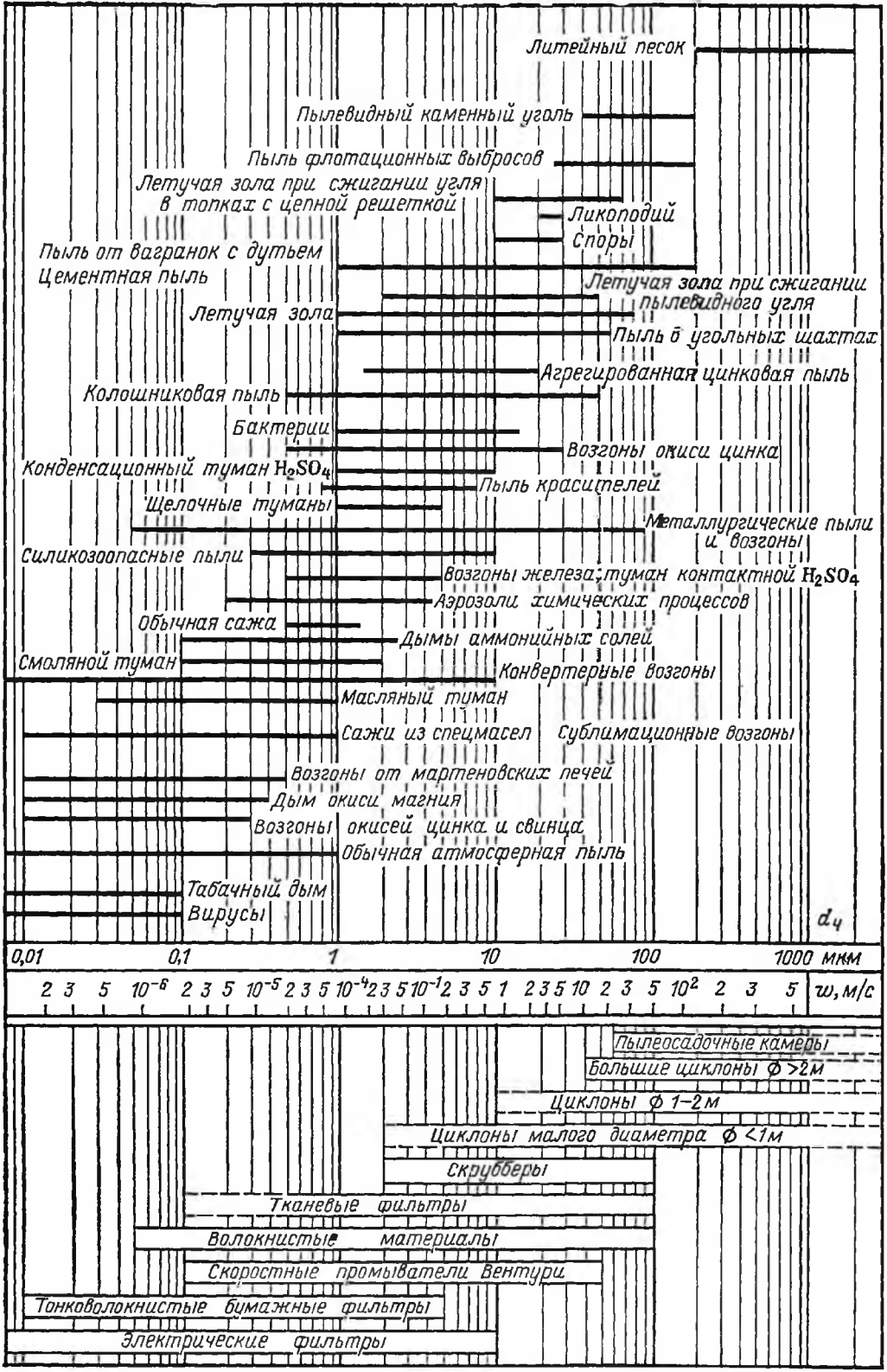


Рис. 11.1. Область применения пыле- и золоулавливающих установок (диаграмма фирмы BETH, ФРГ)

вается ступень предварительной очистки сухим методом

Для удобства обслуживания и ремонта пылеулавливающей аппаратуры для каждого технологического агрегата, как правило, устанавливаются индивидуальные пылеуловители Однако при разработке пылеулавливающих установок для ряда параллельно работающих технологических агрегатов может быть принята и такая схема, когда отходящие газы от всех технологических агрегатов объединяются перед газоочисткой Это дает возможность применения пылеулавливающих аппаратов большей производительности, и, как следствие — снижения капитальных и эксплуатационных затрат

Установка пыле- и золоулавливающих аппаратов может производиться как внутри зданий, так и на открытом воздухе При этом должны учитываться климатические условия района периодичность работы, тип применяемой аппаратуры, объем очищаемого газа Практически же большинство пыле- и золоулавливающих аппаратов может работать вне зданий Так, например, наиболее сложные по конструкционному оформлению газоочистные аппараты — электрофильтры устанавливаются вне зданий Однако для защиты изоляторных коробок от осадков и облегчения условий их обслуживания верх электрофильтра закрывается шатром или специальной кровлей Подбункерное пространство электрофильтров также укрывается легкими материалами

11.2 ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗООЧИСТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Сооружение газоочистных установок чаще всего связано с необходимостью обеспечения очистки отходящих газов При этом технико экономическое сравнение различных схем пылеулавливания может производиться лишь при сопоставимой эффективности рассматриваемых вариантов, обеспечивающей соблюдение норм предельно допустимых концентраций (ПДК) Этим обусловлены специфические особенности в сравнительной экономической оценке капитальных затрат на газоочистные сооружения

Газоочистные установки, как правило, не дают прибыли Возможность использовать уловленный продукт обычно лишь частично окупает их сооружение Поэтому в числе технико-экономических показателей обычно отсутствуют данные, характеризующие рентабельность капитальных затрат, их окупаемость за счет ожидаемой прибыли Технико-экономическая оценка газоочистных сооружений строится в основном на базе сравнительных данных Объект газоочистки, подлежащий оценке, сравнивается по технико-экономическим показателям с лучшим действующим или запроектированным аналогичным объектом (аналогом) Аналог приводится в сопоставимые условия с оцениваемым объектом по мощности, степени очистки газов, условиям производства Сравнения производятся по капитальным вложениям, численности обслуживающего персонала, производительности труда, эксплуатационным затратам, уровню приведенных затрат

Если сравниваемые варианты отличаются по производительности и долговечности, то следует использовать коэффициенты эквивалентности по производительности a и по долговечности $a_д$:

$$a=B_2/B_1, \qquad (11.1)$$

где a — коэффициент эквивалентности по производительности; B_2 — производительность нового варианта; B_1 — производительность базового варианта (аналог);

$$a_д=\frac{\frac{1}{T_б}+E}{\frac{1}{T_н}+E}=\frac{P_1+E}{P_2+E}, \qquad (11.2)$$

где $a_д$ — коэффициент эквивалентности по сроку службы; E — нормативный коэффициент эффективности; $T_б$, $T_н$ — сроки службы соответственно бизисного и нового оборудования, применяемые с учетом морального износа; P_1 и P_2 — доли отчислений его балансовой стоимости на полное восстановление базового и нового оборудования

Часто при малых объемах подлежащих очистке газов относительно большие удельные расходы электроэнергии все же не составляют значительной суммы по сравнению с затратами на остальное производство, и поэтому можно отдать предпочтение тем аппаратам, которые требуют больших затрат электроэнергии на преодоление их аэродинамического сопротивления, но при этом более компактны или удобны в эксплуатации

Наиболее трудно выбрать тип пылеуловителя при больших объемах очищаемых газов В этих случаях размеры аппарата и энергетические затраты могут быть столь значительными, что они могут, с одной стороны, существенно повлиять на себестоимость основного производства, а с другой серьезно изменить размеры и компоновку цеха

При экономической оценке того или иного метода следует учитывать непосредственные затраты на капитальное строительство и эксплуатацию не только пылеулавливающих аппаратов, но и вспомогательных устройств, таких как охладители газов, насосы для подачи воды, здания и т д., а также принимать во внимание коррозию аппаратов, надежность их работы, сброс загрязненных сточных вод.

За обобщающий показатель эффективности капитальных вложений в газоочистку принимаются уровень приведенных затрат $C+EK$, где C — эксплуатационные затраты; E — нормативный коэффициент эффективности капитальных затрат, равный 0,15; K — капитальные затраты или сумма производственных основных и оборотных фондов.

Лучшими по экономическим факторам считаются объекты или варианты с минимальными приведенными затратами. Чем ниже уровень приведенных затрат $C+EK$, тем экономичнее и эффективнее объект, вариант, мероприятие.

Согласно действующей «Методике определения экономической эффективности использования в народном хозяйстве новой техники, изобретений и рационализаторских предложений (утвержденной Государственным комитетом Совета Министров СССР по науке и технике, Госпланом СССР, Академией наук СССР и Государственным комитетом Совета Министров СССР по делам изобретений и открытий постановлением от 14 февраля 1977 года № 48/16/13/3) экономический эффект определяется:

а) от применения новых технологических процессов газоочистки, обеспечивающих экономию производственных ресурсов при сохранении объема очищаемых газов и эффективности их очистки:

$$Э=(З_1-З_2)A_2 \text{ или } Э=(C_1+EK_1)-(C_2+EK_2)A_2. \qquad (11.3)$$

В формуле обозначено:

$Э$ — годовой экономический эффект;

$З_1$ и $З_2$ — приведенные затраты на единицу объема очищаемых газов с помощью базовой и новой техники, определяемые по формуле

$$З=(C+EK);$$

C_1 и C_2 — себестоимость очистки газов при использовании базовой и новой техники;

K_1 и K_2 — удельные капитальные вложения в производственные фонды при использовании базовой и новой техники;

E — нормативный коэффициент эффективности; A_2 — годовой объем очищаемых газов;

б) от производства и использования новых газоочистных аппаратов с улучшенными качественными характеристиками (производительностью, долговечностью, издержками эксплуатации и т. д.):

$$Э=\left[З_1\frac{B_2}{B_1}\frac{P_1+E}{P_2+E}+\frac{(И'_1-И'_2)-E(K'_2-K'_1)}{P'_2+E'}-З_2\right]A_2. \qquad (11.4)$$

В формуле обозначено:

B_2/B_1 — коэффициент учета роста производительности единицы нового газоочистного оборудования по сравнению с базовым;

$\frac{P_1+E}{P_2+E}$ — коэффициент учета изменения срока службы нового оборудования по сравнению с базовым;

P_1 и P_2 — доли отчислений от балансовой стоимости на полное восстановление (реновацию) базового и нового оборудования Рассчитываются как величины, обратные срокам службы оборудования, определяемые с учетом их морального износа, см. уравнение (11.2);

$\frac{(И'_1-И'_2)-E(K'_2-K'_1)}{P'_2+E'}$ — экономия потребителя на текущих издержках эксплуатации и отчислениях от сопутствующих капитальных вложений за весь срок службы нового оборудования по сравнению с базовым;

$И'_1$ и $И'_2$ — годовые эксплуатационные издержки потребителя при использовании им базового и нового оборудования. В этих издержках учитывается только часть амортизации, предназначенная на капитальный ремонт средств труда, т. е. без учета средств на их реновацию, а также амортизационные отчисления по сопутствующим капитальным вложениям потребителя;

K'_1 и K'_2 — сопутствующие капитальные вложения потребителя (капитальные вложения без учета стоимости рассматриваемых средств труда) при использовании базового и нового оборудования в расчете на единицу объема очищаемых газов с помощью нового оборудования;

A_2 — годовой объем производства нового газоочистного оборудования (аппаратов) в расчетном году в натуральных единицах.

Для оценки эффективности проектируемых газоочистных установок в случае отсутствия аналога для сравнения можно использовать соотношение

$$Э=(П-EK)A_2, \qquad (11.5)$$

В формуле обозначено:

$П$ — прибыль от применения газоочистного оборудования, например в результате возврата в производство уловленного продукта;

K — удельные капитальные вложения на сооружение газоочистной установки;

A_2 — годовой объем очищаемых газов.

Расчет эксплуатационных расходов строится с учетом стоимости улавливаемых веществ, если они возвращаются в производство или реализуются как готовый товарный продукт.

Таблица 11.1. **Технико-экономические показатели установок пыле- и золоулавливания***

Вид производства	Схема газоочистки	Объем очищаемых газов, тыс м³/ч (при нормальных условиях)	Содержание золы и пыли в газах, г/м³		Капитальные затраты, тыс. руб.	Расход электроэнергии на очистку 1000 м³/год, кДж/(кВт·ч)	Удельные капитальные затраты на 1000 м³/год газа, руб.	Себестоимость очистки 1000 м³/год газа, коп.
			до очистки	после очистки				
Очистка дымовых газов электростанций с блоками 200 МВт	Электрофильтры УГ3	1600	18	0,36	892	1,35/0,38	0,07	1,5
	Циклоны БЦРН	1600	18	1,08	507	2,24/0,63	0,04	1,2
Очистка дымовых газов электростанций с блоками 300 МВт	Электрофильтры УГ3	1200	20	0,20	1070	2,13/0,6	0,05	2,3
Очистка дымовых газов электростанций с блоками 500 МВт	Электрофильтры УГ3	1918	13	0,07	2321	5,32/1,5	0,13	6
Очистка дымовых газов электростанций с блоками 800 МВт	Электрофильтры УГ3	3132	9	0,11	3390	5,68/1,6	0,14	4,6
Очистка дымовых газов электростанций с котлами 35 т/ч	Электрофильтр УГ2-3-26	39	55	1,3	150	3,55/1,0	0,48	7,8
	Рукавные фильтры СМЦ	110	1,2	0,01	292	4,62/1,3	0,33	15
Мусоросжигательная котельная, очистка дымовых газов	Циклон ЦН-15—электрофильтр УГ1	18	10	0,25	172	19,17/5,4	1,09	31
Пылезавод, очистка газов от угольной пыли	Электрофильтры УВП	300	43	0,42	442	2,91/0,82	0,25	5,7
Очистка газов на гипсовых заводах	Электрофильтр УГ1-3-10	22	32	0,15	217	26,55/7,48	1,23	37
Очистка газов от катализаторной пыли	Электрофильтр ОГП-4-15	25	6	0,09	108	7,46/2,1	0,58	10,5
Очистка аспирационного воздуха литейных дворов, бункерных эстакад	Электрофильтры УГ3	1900	5	0,04	3269	3,66/1,03	0,20	4
	Батарейные циклоны — орошаемый газоход	1900	5	0,04	3645	6,35/1,79	0,22	6

Продолжение табл. 11.1

Вид производства	Схема газоочистки	Объем очищаемых газов, тыс. м³/ч (при нормальных условиях)	Содержание золы и пыли в газах, г/м³		Капитальные затраты, тыс. руб.	Расход электроэнергии на очистку 1000 м³/год, кДж/(кВт·ч)	Удельные капитальные затраты на 1000 м³/год газа, руб.	Себестоимость очистки 1000 м³/год газа, коп.
			до очистки	после очистки				
Очистка газов от доменных печей	Полый скруббер — скруббер Вентури — электрофильтр ДМ	260	7	0,01	660	1,28/0,36	0,32	15,7
Очистка газов от конвертеров	Скруббер Вентури	360	37	0,10	64,2	54,32/15,3	0,022	22,4
Очистка газов от мартеновских печей	Электрофильтры УГ2	290	9	0,10	77,55	4,08/1,15	0,33	7,2
Очистка газов от электродуговых печей	Рукавные фильтры ФРО-20300	700	6	0,05	1132	10,33/2,91	0,21	16
	Рукавные фильтры ФРКДИ-1100	250	25	0,05	845	17,32/4,88	0,59	25,3
	Скруббер Вентури	102	7	0,10	93,6	22,61/6,37	0,115	11,4
Очистка газов от сажи и смолы при пиролизе метана	Полый скруббер-электрофильтр СПМ-8 — циклон — каплеуловитель	30	4	0,03	88,8	4,0/1,1	0,34	14
Очистка газов цементных заводов: от вращающихся печей	Электрофильтры УГ2-4-74	700	30	0,15	777	4,26/1,2	0,28	3,0
	Электрофильтры УГ2-4-53	86	20	0,08	326	7,1/2,0	0,47	17
	Реконструкция электрофильтров ДГПН и фирмы Лурги по типу УГ	540	50	0,1	1469	4,97/1,4	0,34	17
Очистка газов от цементных мельниц	Циклон ЦН-15 — трехпольный электрофильтр	—	60	0,10		8,59/2,42	0,65	4,5
	Циклон ЦН-15 — электрофильтр УГ1-3-15 (реконструкция)	86	55	0,10	559	8,98/2,53	0,51	15

Продолжение табл. 11.1

Вид производства	Схема газоочистки	Объем отходящих газов, тыс. м³/ч (при нормальных условиях)	Содержание золы и пыли в газах, г/м³		Капитальные затраты, тыс. руб.	Расход электроэнергии на очистку 1000 м³/год, кДж/(кВт·ч)	Удельные капитальные затраты на 1000 м³/год газа, руб.	Себестоимость очистки 1000 м³/год газа, коп.
			до очистки	после очистки				
Очистка газов горно-обогатительного комбината	Электрофильтр УГ-2-4-26	61	20	0,08	169	10,54/2,97	0,34	45
Очистка газов от сушильных барабанов фосфоритного рудника	Циклон ЦН-15—сборка из циклонов ЦН-15 — электрофильтр УГ2-4-37	55	450	0,050	255	8,17/2,3	0,77	35
Очистка газов агломерационной фабрики (площадь спекания 312 м²)	Электрофильтры УГ3	985	4	0,06	1659	6,5/1,8	0,21	12
Очистка газов в сернокислотном производстве в печном отделении от огарковой пыли	Циклон — электрофильтры УГТ1-30-3	84	250	0,100	1443	33,5/9,3	2,06	57
Очистка газов в контактном производстве от тумана серной кислоты, мышьяка, селена	Электрофильтр ШМК-9,6	109	3—5	0,005	444,4	6,5/1,8	0,48	16
Очистка газов от тумана серной кислоты	Электрофильтр МБ-14А	129	0,5—1	0,050	279,0	2,9/0,8	0,26	8,6
Очистка газов от сажи при ее производстве	Трехпольные электрофильтры СГ и последовательно установленные два циклона СК-ЦН-34	20	80	0,72	280	5,15/1,45	1,75	12
	Шестипольный электрофильтр СГ	40	80	0,05	480	5,01/1,41	1,5	20
	Четыре последовательно расположенные циклона СК-ЦН-34 и рукавный фильтр ФР-5000 (с рукавами из стеклоткани)	36	80	0,10	460	17,75/5,0	1,5	40
	Рукавные фильтры ФРД-6500/8	36	63	0,01	546	30,1/8,37	1,90	85

Продолжение табл. 11.1

Вид производства	Схема газоочистки	Объем очищаемых газов, тыс м³/ч (при нормальных условиях)	Содержание золы и пыли в газах, г/м³		Капитальные затраты, тыс руб	Расход электроэнергии на очистку 1000 м³/год, кДж/(кВт ч)	Удельные капитальные затраты на 1000 м³/год газа, руб	Себестоимость очистки 1000 м³/год газа, коп.
			до очистки	после очистки				
Очистка коксового, генераторного и других газов от смолы, масел и пыли	Полый скруббер — электрофильтр С или ПГ	21	2—3	0,100	120	1,76/0,49	0,75	4,5
Очистка газов на асфальто-бетонных заводах	Два последовательно расположенные циклона ЦН-15—электрофильтр УГ	117	До 350	0,100	354	9,35/2,6	0,69	13
	Два последовательно расположенные циклона ЦН-15 — пенном аппарате	117	До 350	0,30	136	4,1/1,14	0,26	5
Очистка газов от свинца в типографском производстве	Мокрый аппарат ударно-инерционного действия	9,0	0,0003	—	4,0	2,8/0,78	0,06	7
Очистка газов обжигово-известковых печей	Полый скруббер — электрофильтры	67,0	1,0	0,010	400	3,2/0,9	0,7	43
Очистка газов от костной муки и пахнущих веществ (клеевой завод)	Два последовательно расположенные циклона — пенный аппарат	17,1	15	0,20	28,4	3,6/1,0	0,22	6

* Имеющиеся расхождения в капитальных затратах и себестоимости очистки в одинаковых аппаратах в различных установках связаны с различием объемов очищаемых газов и требуемой степени очистки физико-химическими свойствами пылей, параметрами очищаемых газов

В случае, когда оцениваемый объем имеет большие капитальные затраты при меньших эксплуатационных расходах срок окупаемости дополнительных капитальных вложений определяется по формуле

$$T = \frac{K_2 - K_1}{C_1 - C_2}. \qquad (11.6)$$

Окупаемость капитальных вложений в сроки ниже нормальных (7 лет, что соответствует E=0,15) является показателем целесообразности капитальных затрат.

В табл 11 1 приведены технико-экономические показатели установки пыле- и золоулавливания.

11.3. ВЫСОТА ДЫМОВЫХ ТРУБ И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОЧИСТКИ ГАЗОВ

Высота дымовых труб электростанций и других предприятий должна обеспечивать такое рассеивание золы, пыли, сернистого ангидрида или других вредных примесей, при котором концентрации их у поверхности земли становятся меньше предельно допустимых При одинаковом количестве загрязняющих атмосферу твердых примесей на входе в систему пыле- или золоулавливания дымовая труба может быть выбрана тем ниже, чем выше эффективность системы пылеулавливания, и наобо-

рот. Поэтому при проектировании промышленных электростанций, котельных и т. п. решается одна из двух задач:

1) по известным концентрациям примесей в газах после системы газоочистки и предельно допустимым концентрациям их у поверхности земли находят минимальную высоту дымовой трубы;

2) при принятой высоте трубы и предельно допустимых концентрациях у поверхности земли находят концентрации вредных примесей, которые могут быть допущены на выходе из системы газоочистки

Для расчета рассеивания вредных примесей через дымовые трубы используется методика, разработанная Главной геофизической обсерваторией им. А. И. Воейкова. Расчет ведется по наибольшему значению приземной концентрации $c_м$ при неблагоприятных метеорологических условиях (когда скорость ветра достигает опасного значения и имеет место интенсивный вертикальный турбулентный обмен). Значение $c_м$ для каждого вредного вещества не должно превышать максимальных разовых предельно допустимых значений концентраций этих веществ в атмосфере (ПДК). Разовые ПДК относятся к двадцатиминутному интервалу времени (см. прилож. III)

Максимальная приземная концентрация вредных веществ для выброса нагретой воздушной смеси из одиночного точечного источника с круглым устьем определяется по формуле

$$c_м = \frac{AMFmn}{h^2\sqrt[3]{V\Delta T}}, \qquad (11.7)$$

где A — коэффициент, зависящий от температурной стратификации атмосферы для неблагоприятных метеорологических условий, определяющий условия вертикального и горизонтального рассеивания вредных веществ в атмосферном воздухе, $с^{2/3}\times$ $\times$мг/(К$^{1/3}$·г). Принимаются следующие значения A: для субтропической зоны Средней Азии — 240; для Казахстана, Нижнего Поволжья, Кавказа, Молдавии, Сибири, Дальнего Востока и для остальных районов Средней Азии — 200; для Севера и Северо-Запада европейской территории СССР, Среднего Поволжья, Урала и Украины—160; для европейской части Центра СССР — 120; M — суммарное количество вредного вещества, выбрасываемого в атмосферу, г/с; F — безразмерный коэффициент, учитывающий скорость оседания вредных веществ в атмосферном воздухе: для газообразных примесей $F=1$, для пыли при степени улавливания более 90% $F=2$, от 75 до 90% $F=2{,}5$; менее 75% $F=3$; m и n — безразмерные коэффициенты, учитывающие условия выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса

Коэффициент m определяется в зависимости от параметра

$$f = \frac{10^3 W^2{}_0 D_0}{h^2 \Delta T} \qquad (11.8)$$

по формуле

$$m = \frac{1}{0{,}67 + 0{,}1\sqrt{f} + 0{,}34\sqrt[3]{f}}. \qquad (11.9)$$

Безразмерный коэффициент n определяется в зависимости от параметра $v_м$ по одной из формул:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при } v_м \leqslant 0{,}3 & n = 3; \\ \text{при } 0{,}3 < v_м \leqslant 0{,}2 & \\ n = 3 - \sqrt{(v_м - 0{,}3)(4{,}36 - v_м)}; & \\ \text{при } v_м > 2 \quad n = 1; & \end{array}\right\} \qquad (11.10)$$

здесь

$$v_м = 0{,}65\sqrt[3]{\sqrt{\Delta T/h}}; \qquad (11.11)$$

ΔT — разность между температурой выбрасываемых газов и средней температурой воздуха $T_в$, °С, под которой понимается средняя температура самого жаркого месяца в 13 ч; h — высота источника выброса над уровнем земли, м; V — объем газовоздушной смеси, м^3/с:

$$V = \frac{\pi D^2{}_0}{4} w_0, \qquad (11.12)$$

где D_0 — диаметр устья источника выброса, м; w_0 — средняя скорость выхода газовоздушной смеси из устья источника выброса, м/с

Согласно указаниям СН-369-74 максимальная концентрация вредных веществ у земной поверхности при опасных метеорологических условиях $c_м$ достигается на оси факела выброса (по направлению среднего за рассматриваемый период времени ветра) на расстоянии

$$x_м = dh, \qquad (11.13)$$

где d — безразмерная величина, определяемая по формулам:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при } v_м \leqslant 2 & d = 4{,}95 v_м (1 + 0{,}28\sqrt[3]{f}); \\ \text{при } v_м > 2 & d = 7\sqrt{v_м}(1 + 0{,}28\sqrt[3]{f}). \end{array}\right\} \qquad (11.14)$$

Если безразмерный коэффициент $F \geqslant 2$, то $x_м$ определяется по формуле

$$x_м = \frac{5 - F}{4} dh. \qquad (11.15)$$

Значение опасной скорости ветра $u_м$ на уровне флюгера (обычно 10 м от уровня земли), при которой имеет место наибольшая приземная концентрация вредных

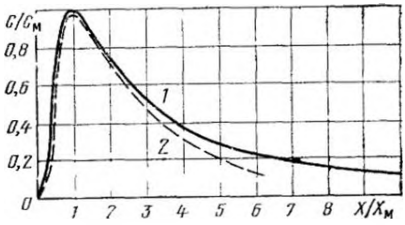


Рис. 11.2. Распределение относительных концентраций $c/c_м$ у поверхности земли в зависимости от относительного расстояния от трубы:

1 — сернистый ангидрид; *2* — зола

веществ в атмосферном воздухе, должно приниматься:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при } v_м \leqslant 0{,}5 & u_м = 0{,}5; \\ \text{при } 0{,}5 < v_м \leqslant 2 & u_м = v_м; \\ \text{при } v_м > 2 & u_м = v_м(1 + 0{,}12\sqrt{f}). \end{array}\right\} \quad (11.16)$$

Приземная концентрация вредных веществ c в атмосфере по оси факела на различных расстояниях x от источника выброса определяется по формуле

$$c = S_1 c_м, \quad (11.17)$$

где S_1 — безразмерная величина, определяемая по графику рис. 11.2 или по формулам:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при } \bar{x} \leqslant 1 & \bar{S}_1 = 3\bar{x}^4 - 8\bar{x}^3 + 6\bar{x}^2; \\ \text{при } 1 < \bar{x} \leqslant 8 & \bar{S}_1 = \dfrac{1{,}13}{0{,}13\bar{x}^2 + 1}; \\ \text{при } \bar{x} > 8 \text{ и } F = 1 & \\ \bar{S}_1 = \dfrac{\bar{x}}{3{,}58\bar{x}^2 - 35{,}2\bar{x} + 120}; & \end{array}\right\} \quad (11.18)$$

при $\bar{x} > 8$ и F, равном 2; 2,5 или 3,5 определяется по формуле

$$S_1 = \frac{1}{0{,}1\bar{x}^2 + 2{,}4\bar{x} - 17{,}8},$$

где $\bar{x} = x/x_м$

Значения приземных концентраций вредных веществ в атмосфере c_y на расстоянии y по перпендикуляру к оси выброса должны определяться по формуле

$$c_y = S_2 c, \quad (11.19)$$

причем безразмерная величина S_2 определяется в зависимости от скорости ветра u и отношения y/x по выражению

$$S_2 = \frac{1}{\left[1 + 8{,}4u\left(\frac{y}{x}\right)^2\right] \times \left[1 + 28{,}2u^2\left(\frac{y}{x}\right)^4\right]}. \quad (11.20)$$

В нормах приводятся формулы для расчета холодных выбросов. Для максимальной концентрации

$$c_м = \frac{AFMn}{h^{4/3}} K, \quad (11.21)$$

где

$$K = \frac{D_0}{8V} = \frac{1}{7{,}1\sqrt{w_0 V}}. \quad (11.22)$$

Параметр $v_м$ определяется по выражению

$$v_м = 1{,}3\frac{w_0 D_0}{h}, \quad (11.23)$$

опасная скорость ветра определяется при $v_м \leqslant 2$ м/с по формулам (11.16), а при $v_м > 2$ м/с — из соотношения

$$u_м = 2{,}2 v_м.$$

Безразмерный коэффициент d в формуле (11.13) для определения места расположения максимума концентраций составляет:

$$\left.\begin{array}{ll} \text{при } v_м \leqslant 2 & d = 11{,}4 v_м; \\ \text{при } v_м > 2 & d = 16{,}1\sqrt{v_м}. \end{array}\right\} \quad (11.24)$$

Холодным считается источник, когда $t \geqslant 100$ м/(с²·К).

В связи с сооружением многоствольных труб, состоящих из n стволов, в указаниях приводятся некоторые формулы для этого случая:

для максимальной концентрации — выражение

$$c_м = c''_м + d_1(c'_м - c''_м). \quad (11.25)$$

Расстояние, на котором достигается максимальная концентрация вредных веществ, определяется по формуле

$$x_м = x''_м + d_1(x'_м - x''_м); \quad (11.26)$$

для опасной скорости ветра $u_м$ приводится формула

$$u_м = u''_м + d_1(u'_м - u''_м), \quad (11.27)$$

где $c_м$ — максимальная приземная концентрация вредных веществ, определяемая по формуле (11.7) при значениях параметров выброса для одного ствола и при количестве вредных веществ M, равном суммарному выбросу вредных веществ из всех стволов; x' и $u'_м$ — расстояние, на котором наблюдается максимальная концентрация $c_м$ и опасная скорость ветра $u_м$, рассчитываемая для выброса одного ствола; $c''_м$ — приземная концентрация вредных веществ, определяемая по формуле (11.7), при количестве вредных веществ M, равном суммарному выбросу вредных веществ из всех стволов. Эффективный

объем газов V определяют по формуле (11.12), принимая диаметр D равным эффективному диаметру источника выброса $D_э$:

$$D_э = \frac{2+N}{3} D. \qquad (11.28)$$

Безразмерный коэффициент d_1 определяется по формуле

$$d_1 = \frac{l - D}{d_2 h - D}, \qquad (11.29)$$

где l — среднее расстояние между центрами устьев стволов, м; D — диаметр устья ствола; d_2 — безразмерный коэффициент, определяемый по графику, приведенному на рис 11 3, в зависимости от параметра f, вычисленного по формуле (11.8) по параметрам выброса для одного ствола

Если $l > d_2 h$, то в расчетах принимается $c_м = c'_м$; $x_м = x'_м$; $u_м = u'_м$; $x_м$ и $u_м$ — соответственно расстояние, на котором наблюдается максимальная концентрация вредных веществ, и опасная скорость ветра при $D = D_э$ и $V = V_э$.

Минимально допустимая высота трубы, при которой обеспечивается значение $c_м$, равное ПДК, для нескольких труб одинаковой высоты и выброса при наличии фоновой загазованности $c_ф$ от других источников такой же вредности, рассчитывается по формуле

$$h = \sqrt{\frac{AMFmn}{ПДК - c_ф}} \sqrt{\frac{N}{V_1 \Delta T}}. \qquad (11.30)$$

Если дымовые трубы устанавливаются при разных значениях выбросов M, объемов газов V_1 и разностей температур ΔT, то желательно их проектировать таким образом, чтобы их высоты были одинаковыми для предотвращения обволакивания более высокой трубы дымом низкой трубы. В этом случае расчет по предложению МЭИ ведут, исходя из следующих соотношений:

$$\left.\begin{aligned} &c_{м1} + c_{м2} + \ldots + c_{мi} = ПДК; \\ &\frac{M_1}{c_{м1}} \sqrt{\frac{1}{V_{г1} \Delta T_1}} = \frac{M_2}{c_{м2}} \sqrt{\frac{1}{V_{г2} \Delta T_2}} = \ldots \\ &\ldots = \frac{M_i}{c_{мi}} \sqrt{\frac{1}{V_{гi} \Delta T_i}}, \end{aligned}\right\} \qquad (11.31)$$

где $c_{мi}$ — часть предельно допустимой концентрации, приходящаяся на i-ю трубу, мг/м³; M_i, $V_{гi}$, T_i — выброс вредной примеси, объем газов и разность температур для i-й трубы

До последнего времени расчет высоты дымовой трубы проводился в отдельности по каждой вредности и выбиралось наибольшее из полученных значений. В настоящее время Минздравом СССР введено требование учета суммарного действия сернистого ангидрида и окислов азота при их совместном действии в атмосфере. В этом случае рекомендуется следующая формула для определения высоты дымовой трубы (формула приведена при $c_ф = 0$):

$$h = \sqrt{AFmn\left(\frac{M_{SO_2}}{ПДК_{SO_2}} + \frac{M_{NO_2}}{ПДК_{NO_2}}\right) \times \sqrt[3]{\frac{N}{V \Delta T}}}. \qquad (11.32)$$

ГОСТ 17 2 3 02-78 с января 1980 г. введены «Правила установления допустимых выбросов вредных веществ промышленными предприятиями».

Предельно допустимый выброс вредных веществ в атмосферу (ПДВ) устанавливают для каждого источника загрязнения атмосферы при условии, что выбросы вредных веществ не создадут приземной концентрации, превышающей их предельно допустимые концентрации (ПДК).

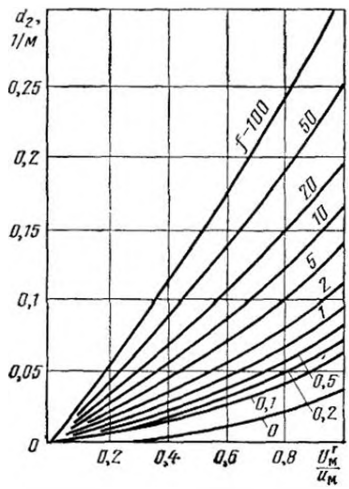


Рис. 11 3 График для определения коэффициента d_2 при расчете многоствольных дымовых труб по методике Главной геофизической обсерватории им. А. И. Воейкова

11.4. ВЫБОР АППАРАТОВ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЗОЛОУЛАВЛИВАНИЯ

Наличие в дымовых газах тех или иных концентраций твердых частиц зависит от вида топлива и методов его сжигания, конструкционных особенностей топочных устройств, совершенства ведения топочного процесса, вида топливоиспользующей установки и режима ее работы. Для выбора системы очистки дымовых газов и золоулавливающих устройств необходимы данные, перечисленные в опросном листе (см. прилож. IV).

Таблица 11.2. **Усредненные характеристики основных твердых и жидких топлив**

Бассейн, месторождение, вид топлива	Марка	Класс	Теплота сгорания $Q_н^р$, кДж/кг	Влажность рабочая $W^р$, %	Зольность рабочая $A^р$, %	Сернистость рабочая $S^р_{об}$, %	Объем дымовых газов при $\alpha = 1{,}4$ м³/кг
			Угли				
Донбасс	А	Ш, СШ	20 200	8,5	22,9	1,7	8,74
	ПА	Р	25 200	5,0	20,9	2,4	9,63
	Т	Р	24 100	5,0	23,8	2,8	9,36
	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогащения	18 000	9,0	35,5	2,5	7,07
	Г	То же	27 500	9,0	34,6	3,2	6,92
	Т	Р, отсев	26 000	6,5	16,8	0,4	9,95
	Д	Р	19 500	13,0	21,8	3,0	9,59
Кузбасс	Ж, К, ОС	Промпродукт мокрого обогащения	20 800	7,0	30,7	0,7	6,87
Краснобродский	Т	Р окисленный	24 700	10,0	16,2	0,3	9,59
Красногорский Листвянский Кузнецкий	Д	Р	26 400	10,0	5,0	0,5	9,25
Экибастузский	СС	Р	16 950	7,0	40,9	0,8	6,24
Ирша-Бородинский	Б2	Р	15 700	33,0	6,0	0,2	6,68
Березовское	Б2	Р	15 700	39,0	4,7	0,2	6,71
Назаровское	Б2	Р	13 000	39,0	7,3	0,4	5,84
Итатское	Б1	Р	12 700	40,5	6,8	0,4	5,74
Карагандинский	К	Р	21 500	8,0	27,6	0,8	8,26
Карагандинский	К	Промпродукт мокрого обогащения	16 200	10,0	38,7	0,9	6,42
Подмосковный	Б2	Р, ОМСШ	10 400	32,0	25,2	2,7	4,75
Челябинский	Б3	Р, МСШ	13 900	18,0	29,5	1,0	5,75
Богословский	Б3	Р	10 800	24,0	30,4	0,4	4,57
Черемховское Забитуйское	Д	Р, отсев	17 800	13,0	27,0	1,1	7,09
Волынское	Г	Р	22 000	10,0	19,8	2,6	8,53
Кизеловское	Г	Р, отсев	19 650	6,0	31,0	6,1	7,86
	Г	Промпродукт мокрого обогащения	16 000	6,5	39,0	8,4	6,24
Ангренское	Б2	ОМСШ	13 800	34,5	13,1	1,3	5,99
Воркутинское	Ж	Р, отсев	13 800	34,5	13,1	1,3	5,99
		энергетический	23 600	5,5	23,6	0,8	9,04
			Другие виды топлива				
Эстонский сланец	—	—	11 400	15,0	—		3,50
Фрезерный торф	—	—	9500	50,0	5,5		3,43
Кусковой торф	—	—	10 700	40,0	6,6		3,87
Дрова	—	—	10 200	40,0	0,6		3,75
Коксовая мелочь	—	—	21 850	20,0	12,0		6,36
Мазут малосернистый	—	—	39 000	3,0	0,3		11,06
Мазут сернистый	—	—	38 400	3,0	0,3		10,92

Таблица 11.3. **Усредненные характеристики основных газообразных топлив**

Наименование топлива и месторождение	Низшая теплота сгорания сухого газа $Q_н^р$, кДж/м³	Теоретический объем воздуха, необходимого для сгорания, м³/м³	Объем продуктов сгорания $V_г^0$ при $\alpha = 1$ м³/м³
Доменный газ	4000	1,1	1,64
Коксовый газ	16 500	4,8	4,67
Сланцевый бытовой газ	13 300	3,6	—
Бутан	118 000	30,94	33,44
Бутилен	113 500	28,56	30,56
Метан	35 600	9,52	10,52
Пропан	91 000	23,80	25,80
Окись углерода	12 600	2,38	2,83
Пропилен	86 500	21,42	22,92
Этан	63 600	16,66	18,16
Этилен	59 100	14,28	15,28
Природный газ			
Ухтинское	33 300	8,83	9,99
Курдюмо-Елашанское (Саратовское)	35 800	9,51	19,68
Мелитопольское	35 100	9,34	10,49
Дашавское	35 600	9,48	10,64
Ставропольское	35 500	9,45	10,53
Шебелинское	38 000	10,1	11,2
Медвежье	35 400	9,5	10,5
Уренгойское	35 000	9,4	10,4
Газлинское	36 200	9,7	10,7

Характеристики основных видов топлив приведены в табл. 11.2 и 11.3. Количество твердого уноса при сжигании различных видов топлива зависит от многих факторов, и в частности от конструкционного оформления топок. Так, доля золы топлива, уносимой газами из камерных топок, примерно составляет:

В пылеугольных топках с сухим шлакоудалением:	
с угловыми горелками . .	0,95
с фронтальными горелками	0,85
В шахтно-мельничных топках для сжигания углей	0,80—0,85
В шахтно-мельничных топках для сжигания сланцев . . .	0,60—0,65
В пылеугольных топках с жидким шлакоудалением, топках с утепленными воронками:	
однокамерных	0,70—0,80
двухкамерных	0,50—0,65
циклонных	0,10—0,10

Доля золы, уносимой газами из топок со слоевым сжиганием угля:

топок с ручным обслуживанием	0,01—0,10
топок с механическим обслуживанием	0,15—0,30

Ограниченное число распространенных конструкций паровых или отопительных котлов позволило выработать определенные рекомендации по выбору для них схем золоулавливания в зависимости от вида сжигаемого топлива. Котельные, сжигающие твердое топливо, должны быть оборудованы установками для очистки дымовых газов от золы в том случае, когда значение N условной характеристики котельной превышает 5000:

$$N = A^р B, \qquad (11.33)$$

где $A^р$ — содержание золы в рабочей массе топлива, %; B — максимальный часовой расчетный расход топлива, кг/ч.

Если же $N < 5000$, то установка золоуловителей требуется лишь при расположении котельной среди жилого массива. При использовании твердого топлива только в качестве аварийного золоуловители обычно не устанавливаются.

Котельные установки небольшой мощности благодаря относительно малым абсолютным количествам выбрасываемой золы обычно позволяют использовать газоочистные установки не очень высокой эффективности, но зато с малым гидравлическим сопротивлением. К таким котельным относятся отопительно-производственные котельные, оборудованные вертикальными паровыми котлами

При слоевом сжигании топлива уносимая пыль примерно на 98% состоит из частиц размером более 10 мкм.

Учитывая характер пыли и высокую температуру отходящих дымовых газов

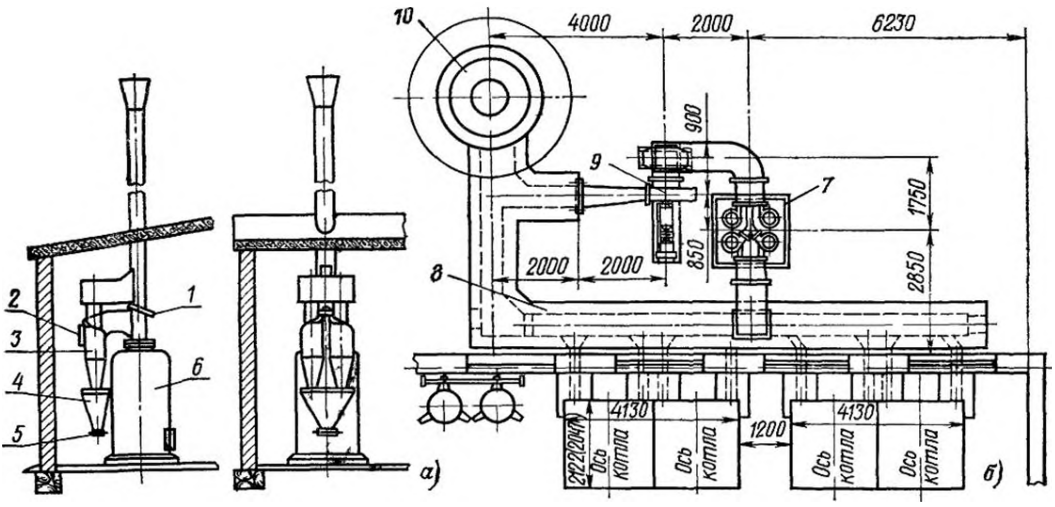


Рис 11 4 Компоновка циклонных золоуловителей·

а — циклоны ЦН 24 с котлом типа ВГД, *б* — группа циклонов ЦН-15, установленная вне котельной, *1* — заслонка; *2* — теплоизоляция, *3* — циклон, *4* — бункер; *5* — шибер, *6* — котел ВГД; *7* — группа циклонов, *8* — обводной газоход для работы котлов на естественной тяге без золоуловителя; *9* — дымосос, *10* — дымовая труба

(300—400°С), для рассматриваемых котельных возможна установка золоуловителей с малым коэффициентом сопротивления, способных эффективно работать на естественной тяге, создаваемой дымовой трубой из-за значительной разницы в температурах между дымовым газом и окружающим воздухом В качестве таких золоуловителей устанавливаются циклоны НИИОГаз типа ЦН-24 и циклоны ЦКТИ с углом наклона крышки 30°.

В отопительно-производственной котельной, оборудованной несколькими вертикальными паровыми котлами, каждый из них оснащается индивидуальными золоуловителями На каждый котел устанавливаются один или два циклона непосредственно около дымовой трубы Предпочтительней установка двух циклонов меньшего диаметра, так как это повышает эффективность и снижает высоту установки (рис 11 4,*а*)

В зависимости от возможностей компоновки циклоны могут быть расположены как внутри, так и вне котельной Дымовые газы из котлов, пройдя нижнюю часть дымовой трубы до шибера, перекрывающего дымовую трубу, поступают в циклоны ЦН-24 Очищенные дымовые газы из циклонов возвращаются в дымовую трубу выше расположенного в ней шибера и выбрасываются в атмосферу

Уловленная зола накапливается в бункере, откуда периодически выгружается, для чего бункер снабжен шиберным затвором Подводящие и отводящие газоходы, циклоны, часть дымовой трубы и течку для выпуска золы покрывают теплоизоляцией из минераловатных матов для предотвращения конденсации водяных паров, соблюдения условий техники безопасности и сохранения необходимой для обеспечения тяги температуры газов

При работе на естественной тяге величиной, определяющей необходимую высоту дымовой трубы, является гидравлическое сопротивление газового тракта, которое складывается из сопротивления котла, циклонов и газоходов,

$$\Delta p_{общ} = \Delta p_к + \Delta p_ц + \Delta p_г, \qquad (11\ 34)$$

где $\Delta p_к$ — сопротивление котла (по паспорту), Па; $\Delta p_ц$ — сопротивление циклонов (применяется по расчету), Па; $\Delta p_г$ — сопротивление газоходов, Па.

Для подсчета гидравлических потерь в газоходе тщательно учитывается сопротивление всех его элементов, Па

$$\Delta p_г = \rho_г/2\,(\xi_1 w^2_1 + \xi_2 w^2_2 + \xi_3 w^3_3 + \ ), \qquad (11\ 35)$$

где ξ_1, ξ_2, ξ_3 — коэффициенты гидравлического сопротивления отдельных участков газоходов, w_1, w_2, w_3 — скорости газов в соответствующих участках газоходов, м/с.

Так как тяга дымовой трубы тем выше, чем выше труба, выше температура газа и ниже температура атмосферного воздуха, высоту трубы следует рассчитывать на зимний период, если котельная отопительная, и на летний, если котельная производственная

Необходимая высота дымовой трубы определяется из уравнения

$$H_{тр} = 1,1\frac{\Delta p_{общ} + \xi_{р}\rho_{г.к}w^2_{вых}}{(\rho_в - \rho_{г.ср}) - \lambda\rho_{г.ср}w^2_{ср}D_{тр}}, \quad (11.36)$$

где 1,1—коэффициент запаса, λ — коэффициент трения для металлической трубы, $w_{ср}$ — средняя скорость в дымовой трубе, м/с, $w_{вых}$ — скорость газа на выходе из дымовой трубы, м/с, $\xi_р$ — коэффициент сопротивления раструба (0,5—1,1), $D_{тр}$ — диаметр дымовой трубы, м, $\rho_{г.ср}$ — средняя плотность газа в дымовой трубе, кг/м³, $\rho_в$ — плотность воздуха, кг/м³, $\rho_{г.к}$ — плотность газа при конечной температуре газа в трубе, кг/м³

Температуру дымовых газов на выходе из стальной трубы, необходимую для нахождения их средней плотности, °С, определяют по формуле

$$t_к = \frac{2(Q_г c_г - KF)t_н + 2KFt_в}{KF + 2Q_г c_г}, \quad (11.37)$$

где $Q_г$ — объемный расход дымовых газов при нормальных условиях, м³/с, $c_г$ — теплоемкость дымовых газов может приниматься равной 1260 Дж/(м³·°С); F — площадь поверхности теплообмена дымовой трубы, м², K — коэффициент теплопередачи от газа к атмосферному воздуху через стальную стенку Для рекомендуемой скорости газа в трубе 5—6 м/с, температуры газа 300—350°С и диаметра трубы в пределах 400—700 мм K=9,3 Вт/(м² °С); $t_н$ — начальная температура газа на входе в дымовую трубу, °С; $t_в$ — температура атмосферного воздуха, °С, принимается по климатическим условиям района

При $\frac{t_н - t_в}{t_к - t_в} < 2$ среднюю температуру газа в дымовой трубе можно принимать $t_{ср} = \frac{t_н + t_к}{2}$.

Многие отопительные котельные оборудуются чугунными секционными котлами типа «Универсал-4», «Искитим-1», «Энергия-3» или другими аналогичного типа Летучая зола, образующаяся при сжигании в таких котлах твердого топлива, характеризуется большим содержанием крупных фракций, что дает возможность обеспечить высокую степень очистки дымовых газов от золы и недожога как в циклонах ЦН-15, так и в батарейных циклонах

При малом объеме дымовых газов (от 0,9 до 1,5 м³/с), который характерен для перечисленных котлов, циклоны ЦН-15 по сравнению с батарейными циклонами обладают преимуществом в отношении меньшего расхода металла, простоты изготовления, надежности в эксплуатации и эффективности

На каждый котел рекомендуется установка своей группы циклонов (обычно из двух спаренных аппаратов), расположенных непосредственно за котлом Такая компоновка обеспечивает максимальный улов золы в циклонах и предохраняет от осаждения крупных фракций золы Если по компоновочным соображениям установить индивидуальные золоуловители не удается, возможна установка одного золоуловителя на группу котлов с расположением его вне здания котельной (рис 11 4,б)

Температура дымовых газов на выходе из котлов рассматриваемого типа составляет от 250 до 300°С, что значительно ниже температуры газов от вертикальных котлов, рекомендуемый золоуловитель имеет более высокое аэродинамическое сопротивление, чем циклон ЦН-24 Поэтому в рассматриваемом случае необходима искусственная тяга, которая обеспечена установкой соответствующего дымососа, если температура газов позволяет его применить, или эжектора в дымовой тру-

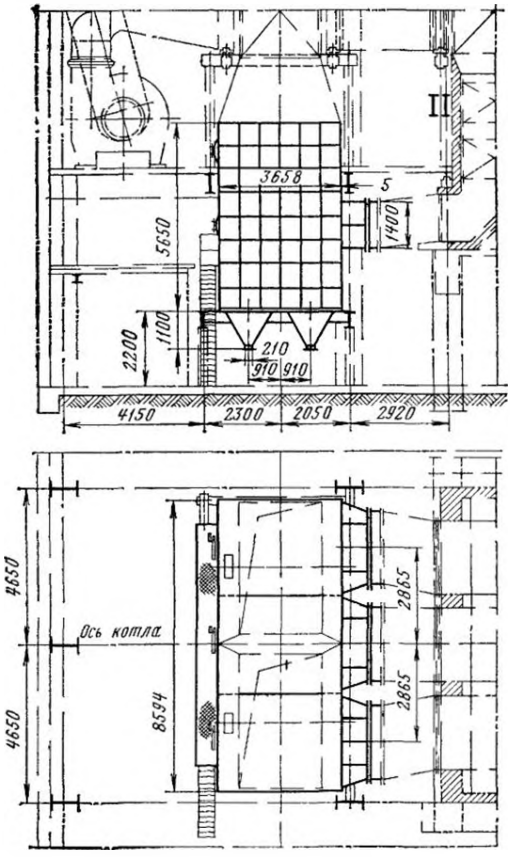


Рис 11 5 Компоновка батарейного циклона

бе. Применение эжектора возможно при любой температуре дымового газа. Расчет эжектора см. в [11.1].

Для котельных, оборудованных котлами типа ДКВР паропроизводительностью от 2,5 до 20 т/ч, рекомендуется установка индивидуальных золоуловителей, которые располагаются непосредственно за хвостовыми поверхностями нагрева, перед дымососами. При этом размещение золоуловителей допускается как в закрытых помещениях, так и вне здания. В отдельных случаях в зависимости от местных условий или режима работы котельной возможны установки золоуловителей на группу котлов.

Для котлов паропроизводительностью 2,5 и 4 т/ч рекомендуются группы циклонов типа ЦН-15, дымососы золоуловители, а для котлов паропроизводительностью от 6,5 до 20 т/ч — батарейные циклоны. Блоки циклонов и батарейные циклоны поставляются комплектно с котлами. При выборе заказываемого к котлу типа золоуловителя следует учитывать, что группа циклонов ЦН-15 имеет более высокую эффективность, чем батарейные циклоны, но их аэродинамическое сопротивление выше последних примерно на 30%. Блоки циклонов рекомендуются к котлам в основном со слоевым сжиганием топлива, однако в отдельных случаях могут быть установлены и на пылеугольных котлах. Степень очистки дымовых газов при номинальном режиме работы блоков циклонов составляет 85—90%, а для котлов с пылевидным сжиганием топлива 70—80%.

Для котельных, оборудованных котлами паропроизводительностью от 25 до 230 т/ч, при сухом улавливании золы рекомендуются батарейные циклоны ЦБ, ЦБР, ЦБУ, электрофильтры.

Для котлов паропроизводительностью 25—72 м/ч могут быть установлены как односекционные, так и двухсекционные батарейные циклоны. Выбор числа секций в ЦБ для указанных котлов определяется компоновочными соображениями и графиком работы котельной в летний и зимний периоды. Компоновка батарейного циклона показана на рис. 11.5.

Двухсекционные батарейные циклоны рекомендуется устанавливать в тех случаях, когда ожидается длительная работа котла на пониженных нагрузках. В этом случае одна из секций отключается.

Трехсекционный батарейный циклон может применяться как первая ступень двухступенчатого золоуловителя, имеющего во второй ступени, например, трехсекционный вертикальный электрофильтр типа УВ3-10.

Для котлов паропроизводительностью более 160 т/ч следует применять только четырехсекционные батарейные циклоны. Тип батарейного циклона должен выбираться для каждой установки золоулавливания с учетом вида сжигаемого топлива (см. разд. 2).

Ориентировочная эффективность нормализованных батарейных циклонов зависит от зернового состава золы и составляет для циклонов батарейных улиточных 92—93%; циклонов батарейных с рециркуляцией газа—92—94%; циклонов батарейных—85—90%.

При необходимости установки золоуловителей более высокой эффективности при одноступенчатом улавливании могут быть применены аппараты типа МВ-УООР ГРЭС, МС-ВТИ электрофильтры типа ЭГА, УВ.

В связи с особенностью работы мокрых золоуловителей применение их не рекомендуется в следующих случаях:

при содержании в золе окиси кальция более 12—15%, так как такая зола обычно обладает вяжущими свойствами и ее следует использовать в строительстве;

при наличии в топливе значительного количества серы (приведенная серность более 0,8% на 4,2 МДж/кг); это вызывает коррозию газового тракта из-за снижения температуры газов после скрубберов и требует принятия мер по нейтрализации гидрозоловой пульпы, что сопряжено со значительными затратами;

при необходимости обеспечения более эффективного рассеяния дымовых газов в атмосфере, так как дымовые газы после мокрых золоуловителей имеют более низкую температуру, что и снижает высоту подъема факела газов;

при сжигании под котлами торфа, так как применяемые при сжигании торфа мокрые золоуловители ВТИ работают неудовлетворительно, что в первую очередь объясняется повышенным содержанием CaO в золе фрезерного торфа (30—35%).

Компоновка скрубберов МВ-УООР ГРЭС и МС-ВТИ показана на рис. 11.6 и 11.7.

Большинство электростанций оборудуются в настоящее время электрофильтрами. Доля электрофильтров среди золоулавливающих аппаратов продолжает возрастать.

При сжигании каменных углей для получения гарантированно высокой эффективности улавливания золы скорость газа в электрофильтре принимается от 0,8 до 1,5 м/с. С учетом указанного выше диапазона скоростей удельная поверхность осаждения обычно выбирается в пределах от 50 до 100 м²/(м³/с).

На рис. 11.8 дана зависимость степени очистки газов от времени пребывания газов в активной зоне электрофильтра, полученная на основании экспериментальных исследований для тепловых электростан-

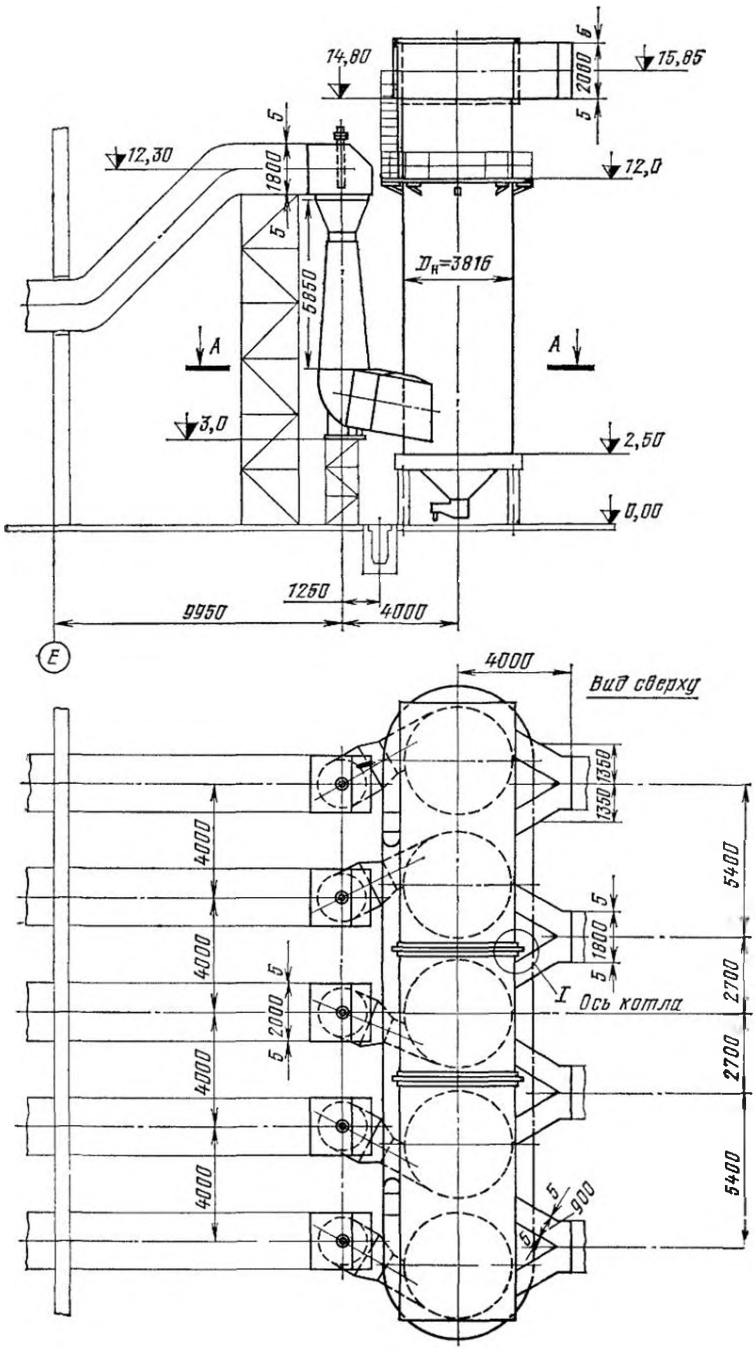


Рис 11 6. Компоновка скруббера МВ-УООР ГРЭС

Рис. 11.7. Компоновка скруббера МС-ВТИ

ций. Из рисунка следует, что при времени пребывания очищаемых газов в электрофильтре менее 8 с трудно ожидать степень очистки газов более 98%, т. е. для обеспечения высокой степени очистки газов скорость дымовых газов в активной зоне аппарата не должна превышать 1,5 м/с.

Приведенные данные позволяют ориентировочно оценить тип применяемого электрофильтра. Уточненный расчет по степени очистки газа следует выполнять в соответствии с РТМ 26-14-21-80 «Нормативный метод расчета электрофильтров для теплоэнергетики».

В большинстве случаев проектирование электрофильтров ведется в расчете на минимальные избытки воздуха в котле и подсосы воздуха в системах пылеулавливания. Следовательно, перед выбором типа аппарата необходимо с максимальной точностью определить ожидаемый объемный расход газов через систему золоулавливания, с тем чтобы в процессе эксплуата-

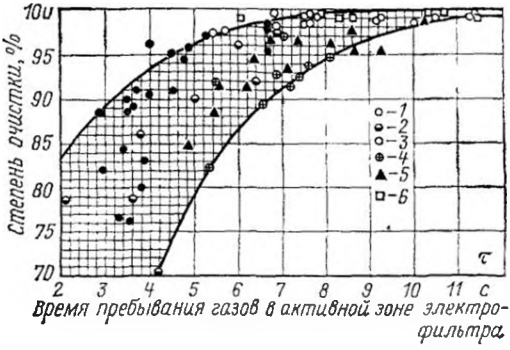


Рис. 11.8. Зависимость эффективности очистки от времени пребывания газов в активной зоне электрофильтра:

1 — скорость газов не менее 1,5 м/с; *2* — 1,5—2 м/с; *3* — более 2 м/с; *4* — малые токовые нагрузки; *5* — электрофильтры за котлами с жидким шлакоудалением; *6* — гарантийные данные электрофильтров зарубежных фирм

ции оказалось возможным обеспечить в электрофильтре действительно оптимальные скорости газов

На тепловых электростанциях по мере роста мощности энергоблока ширина строительной ячейки, определяемой шириной котла, растет пропорционально $\sqrt{N}$ (N — мощность энергоблока), в то время как необходимая ширина электрофильтра при заданной предельной высоте электродов пропорционально возрастает.

При скорости газов 1,5 м/с горизонтальные электрофильтры высотой электродов 7,5 м не вписываются в габариты ячеек мощных энергоблоков. Поэтому для энергоблоков 300—500 мВт применяются электрофильтры с высотой осадительных электродов 12 м.

Для очистки дымовых газов от золы и пыли с высоким удельным электрическим сопротивлением слоя (более $2 \cdot 10^{10}$ Ом·см) за рубежом применяются рукавные фильтры с рукавами из стекловолокна, синтетической ткани нитрон, лавсан и др. В СССР рукавные фильтры для улавливания золы находят пока ограниченное применение.

Применение двухступенчатой схемы очистки дымовых газов с установкой перед электрофильтрами предварительной ступени сухой механической очистки определяется необходимостью достижения высоких степеней очистки при сжигании многозольных топлив или когда требуется раздельное улавливание крупных и мелких фракций уноса (например, возврат недожога в топку котла, использование мелких фракций золы для извлечения из нее редких металлов и т. д.).

При сжигании многозольных топлив в ряде случаев перед электрофильтрами устанавливаются центробежные аппараты. Батарейные циклоны компонуются как с горизонтальными, так и с вертикальными аппаратами (рис. 11.8).

Для ряда котлов, сжигающих многозольное топливо, в качестве первой ступени очистки находили применение циклоны типа ЦН большого диаметра. Однако из-за больших габаритов, в основном по высоте, циклоны плохо компонуются с электрофильтрами и в целом с котлом.

Следует отметить, что в большинстве случаев установка перед электрофильтрами сухих центробежных аппаратов приводит к снижению эффективности работы второй ступени очистки.

При установке механических пылеуловителей перед электрофильтрами в электрофильтры поступают главным образом мелкие частицы уноса, а поскольку адгезионные свойства мелких частиц выражены значительно сильнее, чем крупных, возникают трудности при их удалении с электродов, отсюда и возможное снижение степени очистки. Поэтому в устанавливаемых перед электрофильтрами механических электроуловителях не следует стремиться достигать максимальной эффективности.

При высоком начальном содержании золы в отходящих газах (выше 40 г/м³ газа) более рациональным является установка электрофильтра с большим числом электрополей по ходу газа.

Для высокозольных топлив с высоким удельным электрическим сопротивлением золы (типа экибастузских) предложена схема с предварительной установкой перед электрофильтром мокрой ступени. При этом наряду с предварительной очисткой газа происходит его температурно-влажностное кондиционирование [11.3].

Однако такие установки характеризуются высоким аэродинамическим сопротивлением и имеют все недостатки, свойственные мокрым золоуловителям. Поэтому их применяют редко

11.5. ВЫБОР АППАРАТОВ ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПЫЛЕЙ

Для паровых котлов оказалось возможным выработать ограниченное количество типовых схем золоулавливания. К выбору схем пылеулавливания в большинстве случаев приходится подходить индивидуально

Улавливание грубодисперсной пыли при умеренных требованиях к степени очистки газа в большинстве случаев целесообразно осуществлять в таких широко распространенных аппаратах, как различные виды циклонов, дымососы-пылеуловители, или в низконапорных мокрых аппаратах, таких как циклоны с водяной пленкой, ротоклоны и др.

При необходимости высокой эффективности пыле- и золоулавливающей установки, в особенности при улавливании тонкодисперсной пыли, следует иметь в виду, что обеспечить заданную конечную запыленность можно различными путями и в результате применения разных способов очистки газа. Поэтому выбор аппаратуры для улавливания является важнейшим моментом проектирования установок газоочистки. Основным критерием для правильного выбора способа улавливания пыли является технико-экономическое сравнение вариантов. Однако в ряде случаев проведение такого сравнения на начальной стадии проектирования из-за отсутствия достаточно полных или достоверных данных бывает затруднено. В таких случаях приходится полагаться на некоторые общие соображения, приводимые ниже.

При выборе между сухими и мокрыми способами пылеулавливания необходимо иметь в виду, что хотя мокрыми способами можно проще добиться желаемой степени очистки и аппараты мокрой газоочистки

значительно меньше по объему, чем сухие, однако энергозатраты в мокрых аппаратах для осуществления высокоэффективного пылеулавливания значительно выше, чем в сухих аппаратах Соответственно капитальные затраты для мокрых систем ниже, а эксплуатационные затраты выше, чем для сухих

К общим недостаткам мокрых аппаратов следует отнести

необходимость обработки шламов, отходящих от аппаратов мокрой газоочистки, с отстаиванием из них уловленной пыли и возвращением оборотной воды на проведение процесса очистки газов (системы водооборотного хозяйства требуют дополнительных капитальных затрат, поэтому если учитывать их в составе установок мокрых газоочисток, то последние по общим капитальным затратам приближаются к капитальным затратам на установки сухого пылеулавливания, а в некоторых случаях даже превосходят их),

возможность зарастания систем трудноудалимыми отложениями, резко снижающими эксплуатационную надежность установки, если пыль обладает склонностью к цементации при обработке водой, например при содержании CaO выше 20%, коррозионное воздействие среды при наличии в газе агрессивных составляющих,

ухудшение условий рассеивания при выбросе очищенных газов из трубы за счет низких температур газа, а также конденсацию водяных паров в выбрасываемых газах, так как газы после прохождения мокрых газоочисток, как правило, имеют температуру точки росы, и т п

Поэтому при проектировании систем очистки запыленных газов предпочтение должно отдаваться сухим методам, если при этом технически возможно добиться требуемой эффективности

Мокрые методы предпочтительны, если в соответствии с технологическими требованиями очищаемый газ должен быть охлажден до точки росы или если улавливаемая из газа пыль используется в дальнейшем в производстве в виде пульпы или раствора

В ряде случаев мокрые методы приходится применять для улавливания пыли из взрывоопасных или токсичных газов, так как аппараты мокрой газоочистки из за малого объема позволяют значительно лучше обеспечить условия герметизации корпусов, их эффективной и быстрой продувки, чем крупногабаритные сухие аппараты — электрофильтры или рукавные фильтры В качестве характерного примера можно привести установки очистки газов, отходящих от большегрузных конвертеров с кислородной продувкой сталеплавильного производства, где для обеспечения безопасности применяются мокрые методы вместо более экономичных методов с применением сухих электрофильтров

Иногда мокрые методы очистки применяются при реконструкции сложившихся производств, когда должна быть обеспечена высокая степень очистки, а для строительства электрофильтров или рукавных фильтров не хватает места

Снижение энергозатрат в мокрых схемах может быть получено при применении мокрых электрофильтров, однако при этом увеличиваются капитальные затраты и габариты установок

В качестве средств высокоэффективного сухого пылеулавливания могут быть использованы рукавные фильтры или электрофильтры Рукавные фильтры могут обеспечить значительно более устойчивую и эффективную очистку, чем электрофильтры, при одинаковых параметрах улавливаемой пыли, однако они дороже и занимают, как правило, больше места Основной причиной, сдерживающей распространение рукавных фильтров, является невысокая температуростойкость тканей, которая до последнего времени не превышает для большинства синтетических тканей 130°C, а для стеклотканей 230°C

С разработкой тканей, стойких при температурах выше 230°C, и использованием в технике фильтрации газа металлотканей и металлокерамики область применения фильтрации будет значительно расширена

Сухие электрофильтры являются наиболее удобными аппаратами для очистки невзрывоопасных газов от пыли при температурах до 400°C в том случае, если запыленность газа на выходе составляет не ниже 50—100 мг/м³ при объемах очищаемого газа свыше 50 000 м³/ч Если объем очищаемого газа меньше или требуется более высокая эффективность улавливания, то выбор между электрофильтром и рукавным фильтром может быть сделан только путем тщательного технико-экономического анализа

Следует также иметь в виду, что в некоторых случаях эффективность электрофильтров резко снижается из за неблагоприятных параметров пылегазового потока (см разд 6)

Выбор схемы следует начинать с анализа исходных данных, необходимых для проектирования (см опросный лист, прилож III) Рассмотрим влияние основных из них на выбор проектного решения

Местонахождение предприятия, для которого проектируется система пылеулавливания, оказывает влияние на выбор места расположения отдельных установок на заводской площадке на открытом воздухе или в помещении Например, для районов СССР, где средняя температура самого холодного месяца составляет минус 4—5°C, возможна установка пылеулавливающих аппаратов на открытом воздухе, но с легким укрытием мест выгрузки уловленной пыли, устройством шатров над пылеуло-

вителями, требующими постоянного обслуживания. Барометрическое давление в районе установки газоочистки может внести существенную поправку в рабочий объем подлежащих очистке газов.

Данные о цели очистки газа позволяют выбрать оптимальный метод их очистки, например сухой или мокрый, наметить способ транспортировки уловленного продукта, отметки расположения пылевыгрузочных устройств и в случае необходимости использовать уловленный продукт в сухом виде. Очистку отходящих газов нужно довести до санитарных норм, не исключая двухступенчатую схему очистки газов, когда основная масса продукта улавливается в сухих инерционных аппаратах, а тонкая доочистка производится в высокоэффективных мокрых пылеуловителях.

Стоимость улавливаемых продуктов позволяет решить вопрос о целесообразной степени извлечения продукта из газов, сопоставляя экономические затраты на пылеулавливание с эффективностью выше требуемой санитарными нормами со стоимостью извлеченного продукта.

Данные о происхождении выбросов, количестве одновременно работающих технологических аппаратов позволяют грубо оценить возможные изменения дисперсности частиц и запыленности направляемых на очистку газов, возможные изменения их расхода. В большинстве случаев частицы, образовавшиеся в результате механических процессов измельчения, имеют размеры от 5 до 50 мкм и более; частицы, образовавшиеся как следствие термических и химических процессов, имеют размеры до 3 мкм.

Сведения о составе перерабатываемой шихты также позволяют уточнить выбор метода очистки газов. Например, наличие в шихте извести заранее исключает возможность использования мокрого пылеулавливания. Присутствие в шихте значительного количества абразивного материала требует изготовления центробежных аппаратов с повышенной толщиной стенок или специальной защитой, а также затрудняет применение фильтровальной ткани из-за быстрого износа на ней ворса. Сведения о наличии в шихте химически активных, горючих или взрывоопасных веществ позволяют предусмотреть необходимые меры по защите системы пылеулавливания от коррозии, пожаров и взрывов.

Объем подлежащих очистке газов дает возможность подобрать такую единичную производительность аппаратов, при которой число их не окажется слишком большим. Объемы газа влияют и на выбор метода их очистки. Например, применение сухих электрофильтров целесообразно при расходах газов не менее 8—10 м³/с.

Сведения о возможных форсировках технологического процесса и расширениях производства вынуждают при выборе системы пылеулавливания предусматривать резервные аппараты или место для их размещения в последующем.

Сведения о температуре газов при входе в газоочистку позволяют решить вопрос о целесообразности их предварительного охлаждения и выбрать тип пылеулавливающих аппаратов. При температуре газов 500—1000°С их предварительное охлаждение необходимо.

Состав газов, их агрессивность, взрывоопасность, токсичность дают дополнительные сведения о типах пригодного для применения оборудования, материалах, необходимых для его изготовления, возможности расположения установок на открытом воздухе, мерах техники безопасности при работе с взрывоопасными и токсичными газами.

Содержание водяных паров в газах позволяет определить точку росы газов, оценить удельное электрическое сопротивление слоя пыли, рассчитать толщину теплоизоляции, необходимую для предупреждения конденсации паров воды на стенках аппаратов. Кроме того, знание влагосодержания газов является дополнительной информацией для выбора оптимальной схемы пылеулавливания. Например, практически для всех технологических процессов очистка горячих газов с влагосодержанием менее 60—70 г/м³ в электрофильтрах затруднена, так же как и очистка сухого аспирационного воздуха (с влагосодержанием менее 15—20 г/м³) при температурах более 70°С. Наличие в очищаемых газах серосодержащих соединений повышает температуру точки росы газов и заметно улучшает работу электрофильтров, хотя одновременно с этим возникает опасность сернокислотной коррозии.

Для защиты вентиляторов и дымососов от абразивного износа большинство пылеулавливающих аппаратов устанавливается для работы под разрежением. Поэтому практически все типы электрофильтров и большинство рукавных фильтров по своему конструкционному оформлению предназначены для работы только под разрежением. Лишь в случае работы со взрывоопасными газами установка пылеулавливающих устройств под разрежением недопустима.

Падение давления газа в системе газоочистки чаще всего определяется возможностью подбора необходимой тягодутьевой машины для преодоления аэродинамического сопротивления системы с учетом поддержания в технологических аппаратах заданного разрежения. Однако значение допустимого разрежения давления в системе очистки может оказать существенное влияние и на выбор схемы улавливания.

Поставленный в опросном листе воп-

рос о содержании взвешенных частиц в газе, их составе и дисперсности играет первостепенную роль в правильном выборе схемы газоочистки (см. § 11.2, 11.3 и 1.16).

Зная требования органов санитарного надзора к максимально допустимому остаточному содержанию тех или иных частиц в отходящих газах для данного района, необходимо провести ряд вариантных расчетов для выбора оптимального по технико-экономическим показателям метода очистки.

Сведения о плотности пыли и угле естественного откоса пыли позволяют выполнить пылеуловитель с необходимыми для надежной работы механической прочностью и углами наклона стенок бункеров. Кроме того, с учетом насыпной плотности улавливаемой пыли рассчитываются строительные конструкции под аппараты, подбираются транспортные устройства.

Вопрос о желаемой степени очистки позволяет учесть мнение заказчика и обычно согласуется с существующей фоновой концентрацией, намечаемой высотой выброса газов из дымовой трубы и стоимостью улавливаемого продукта.

С учетом требований по ПДК в процессе проектирования могут быть внесены уточнения как по степени очистки газов, так и по высоте дымовой трубы.

Сведения о сменности работы предприятия, возможных остановках производства позволяют уточнить время между текущими, планово-предупредительными и капитальными ремонтами аппаратов пылеулавливания, механизмов транспорта уловленной пыли, оценить необходимую степень надежности.

В отдельных случаях не исключено, что при планируемой длительно непрерывной работе предприятия потребуется установка резервного оборудования, например дымососа или вентилятора.

При выборе того или иного аппарата газоочистки обычно исходят из того, какая требуется степень очистки. Однако высокое значение степени очистки пылеуловителя в ряде случаев не гарантирует выполнения санитарных норм, так как при расчете ПДК учитывается остаточная запыленность отходящих газов. Например, золоулавливание в электрофильтре, казалось бы, с высокой степенью эффективности (98—99%) при содержании золы в отходящих газах на уровне 60 г/м³ позволит снизить остаточную запыленность всего лишь до 0,6—1,2 г/м³. При этом для обеспечения ПДК в приземном слое потребуется сооружение высокой дымовой трубы для рассеивания золы.

С другой стороны, очистка запыленных газов с эффективностью 98—99% вполне достаточна при начальной запыленности на уровне 5 г/м³. При этом остаточная запыленность составит 0,05—0,1 г/м³, что для большинства случаев является вполне приемлемой и не требуется доочистки или специальных мероприятий по рассеиванию.

При выборе центробежных аппаратов в качестве предварительной ступени очистки следует исходить из следующего: при начальной запыленности газов более 200—300 г/м³ (асфальтобетонные и другие заводы) в качестве грубой очистки целесообразно установить два последовательно расположенных циклона.

Во избежание сильного абразивного износа первого циклона условную скорость газа в нем не следует принимать более 2,5 м/с. Чтобы повысить эффективность второй ступени циклона (учитывая, что наиболее грубая пыль уже уловлена в первом циклоне), скорость можно увеличить до 3—3,5 м/с. В этом случае типы применяемых циклонов могут быть одинаковы, например циклоны ЦН-15.

Возможно и иное решение. В качестве первой ступени применяется циклон ЦН-24, в качестве второй — ЦН-15 при тех же скоростях газов. В этом случае будет несколько снижено гидравлическое сопротивление системы газоочистки.

При выборе схем газоочисток расчет эффективности следует вести по остаточной запыленности газов. В случае невозможности обеспыливания газов до требуемой остаточной запыленности в одном аппарате приходится устанавливать многоступенчатые схемы очистки газов. В частности, применяются установки сухого пылеулавливания в циклонах с последующей доочисткой в рукавных фильтрах. При мокрых методах обеспыливания газов в качестве предварительной очистки применяется низконапорный скруббер Вентури перед мокрыми электрофильтрами или полые скрубберы перед высоконапорными скрубберами Вентури.

В ряде случаев применяются комбинированные схемы, состоящие из сухих механических аппаратов с доочисткой в высокоэффективных мокрых аппаратах.

Как отмечалось выше, установка механических ступеней очистки перед электрофильтрами нежелательна. Однако при начальных запыленностях, превышающих 70—100 г/м³ газа, такая схема очистки бывает необходима.

Применение указанных многоступенчатых и комбинированных схем позволяет поднять производительность наиболее эффективных пылеуловителей, снизить содержание твердых отложений при мокрых методах очистки.

ПРИЛОЖЕНИЯ

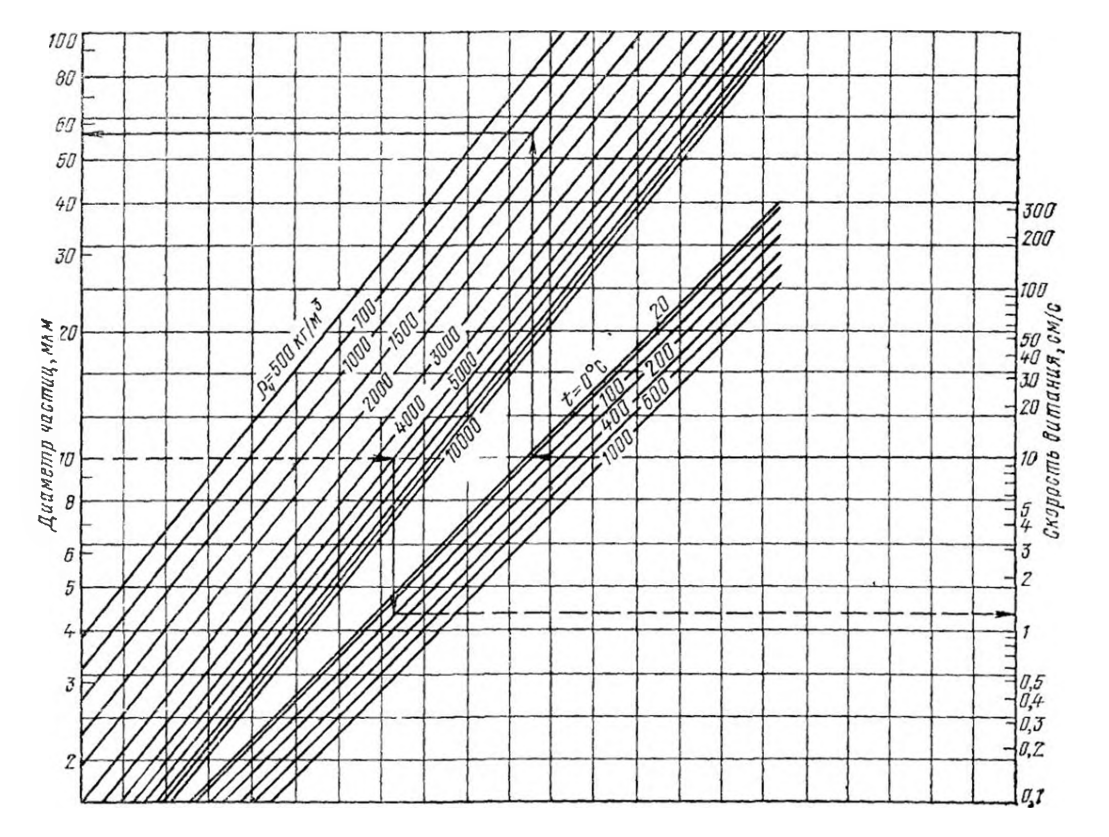
Приложение I

Основные физические свойства газов

Газ	Плотность (при 0 °С и 0,101 МПа) ρ, кг/м³	Молекулярная масса M, кг/кмоль	Газовая постоянная R, Дж/(кг·К)	Удельная теплоемкость при 20°С и 0,101 МПа, кДж/(кг·К)		Вязкость при 0 °С и 0,101 МПа	
				c_p	c_v	$\mu \cdot 10^6$ Па·с	Константа C
Азот	1,2507	28,02	297	1,04	0,745	17	114
Аммиак	1,771	17,03	488	2,24	1,67	9,18	626
Аргон	1,782	39,94	209	0,53	0,32	20,9	142
Ацетилен	1,171	26,04	320	1,68	1,35	9,35	198
Бензол	—	78,11	106	1,25	1,14	7,2	—
Бутан	2,673	58,12	143	1,91	1,73	8,1	377
Воздух	1,293	28,95	288	1,01	0,72	17,3	124
Водород	0,089	2,016	4130	1,42	1,01	8,42	73
Водяной пар	0,804	18,02	430	2,01	—	10,0	961
Гелий	0,1785	4,00	2080	5,27	3,18	18,8	78
Двуокись азота	—	46,01	180	0,802	0,614	—	—
Двуокись серы	2,927	64,07	130	0,631	0,501	11,7	396
Двуокись углерода	1,976	44,01	189	0,836	0,651	13,7	254
Кислород	1,4289	32	260	0,911	0,651	20,3	131
Метан	0,717	16,04	519	2,22	1,67	10,3	162
Окись углерода	1,250	28,01	297	1,05	0,753	16,6	100
н-Пентан	—	72,15	115	1,715	1,57	8,74	—
Пропан	2,020	44,1	189	1,86	1,65	—	278
Пропилен	1,914	42,8	198	1,63	1,432	—	322
Сероводород	1,539	34,08	244	1,06	0,801	11,66	—
Хлор	3,217	70,91	177	0,482	0,36	—	351
Хлористый метил	2,308	50,49	165	0,74	0,582	9,89	454
Этан	1,357	30,07	283	1,73	1,44	8,5	287
Этилен	1,261	28,05	296	1,53	1,22	9,85	241

Приложение II

Номограмма для определения скорости витания частиц



Приложение III

Опросный лист для проектирования установок очистки промышленных газов от золы или пыли

№ п/п.	Вопросы[1]
1	Наименование предприятия
2	Местонахождение предприятия, его почтовый и телеграфный адрес Наименование организации-генпроектировщика, адрес и телефон
3	Минимальная зимняя, максимальная летняя и среднегодовая температура местности Среднее значение барометрического давления
4	Цель очистки газа, т. е. назначение очищаемого газа или употребление осажденной пыли
5	Стоимость улавливаемых или очищаемых продуктов
6	Из каких аппаратов газ поступает на очистку, их количество, тип, производительность. Для парогенераторов — тип и число котлов, их паропроизводительность (по паспорту)
7	Полный химический состав исходного сырья, например перерабатываемой шихты. Для топлива: месторождение, марка, сорт; рабочий состав, зольность; теплотворная способность; способ сжигания; тонина помола (при пылевидном сжигании)

Продолжение прилож. III

№ п/п.	Вопросы[1]
8	Объемный расход сухого газа на входе в газоочистку, отнесенный к 0°С и 10^5 Па, от каждого аппарата в отдельности при нормальной производительности и при форсировке, м³/с
9	Температура газов при входе в газоочистку, °С
10	Полный химический состав на входе в газоочистку. Для парогенераторов — коэффициент избытка воздуха α или RO_2
11	Содержание водяных паров в газах, г/м³ сухого газа
12	При наличии в газах паров других жидкостей (серной, азотной или другой кислоты) их точка росы
13	Давление или разрежение при входе в газоочистку, Па
14	Допустимое падение давления газа в газоочистке (сопротивление последней), Па
15	Содержание взвешенных частиц в газе, г/м³
16	Описание взвешенных в газе частиц (химический состав, дисперсность, гигроскопичность, слипаемость, слеживаемость, схватываемость, абразивность, возгораемость и пр.). Для золы содержание и цементирующие свойства
17	Объемная масса пыли и угол ее естественного откоса, г/см³ и °
18	Фоновая концентрация выбросов (по данным санэпидстанции), которую нужно учитывать при расчетах рассеивания выбросов от данной установки, г/м³
19	Желаемая степень очистки, % и наличие согласования ее с Госсанинспекцией
20	В случае высокой температуры очищаемых газов допустимое ее снижение до ...°С
21	Сменность работы предприятия. График и режим работы технологических агрегатов — источников очищаемого газа
22	Возможны ли остановки производства или перерывы в очистке, в какие промежутки времени и на какой срок
23	Каким образом очищались газы ранее (схема, аппараты и эффективность очистки)
24	Система удаления уловленной золы или пыли и требуемая отметка низа пылевыпускных отверстий газоочистных аппаратов
25	Наличие дымовой трубы и ее размеры: высота; диаметр устья; материал трубы и защита ее против конденсата, от агрессивных газов
26	Характеристика производственной воды, которая может быть подана для технологических нужд: жесткость; содержание примесей, мг/л; температура, °С
27	Требования к автоматизации управления и контроля установки (степень автоматизации). Пожелания в части расположения щитов КИП газоочистки; возможность кооперирования их со щитами смежных технологических установок или цехов
28	Описание (подробное) технологической схемы производства и аппаратуры с обязательным приложением чертежей или эскизов, с указанием места, которое может быть предоставлено для газоочистки с подсобными сооружениями
29	В случае, если очищаемый газ подается отдельным вентилятором, его характеристики (тип вентилятора, номер, число оборотов, производительность и напор при данном числе оборотов; тип, мощность и число оборотов электродвигателя)
30	Возможное увеличение мощности технологической линии
31	Срок начала строительства и ввода в действие (год) газоочистной установки. Очередность строительства и возможное расширение установки
32	Специфические нормы и правила, действующие в данной отрасли производства, которые необходимо учитывать при проектировании газоочистки
33	Прочие данные, замечания и требования

Подписи заказчика и печать

« » 19 г.

[1] Место для ответов оставляется с правой стороны.

Приложение IV

Давление водяных паров и влагосодержание газов при насыщении и давлении смеси 0,101 МПа (760 мм рт. ст.)

Температура, °С	Парциальное давление водяных паров		Влагосодержание, г/м³			Температура, °С	Парциальное давление водяных паров		Влагосодержание, г/м³		
	кПа	мм рт ст	влажных газов при данной температуре	сухих газов при нормальных условиях	влажных газов при нормальных условиях		кПа	мм рт ст	влажных газов при данной температуре	сухих газов при нормальных условиях	влажных газов при нормальных условиях
0	0,61	4,58	4,84	4,8	4,8	44	9,1	68,3	62,3	79,3	72,2
5	0,865	6,5	6,8	7,0	6,9	45	9,5	71,9	65,4	84,0	76,0
6	0,93	7,0	7,3	7,5	7,4	46	10,1	75,7	68,6	89,0	80,2
7	0,997	7,5	7,8	8,1	8,0	47	10,6	79,6	71,8	94,1	84,3
8	1,06	8,0	8,3	8,6	8,5	48	11,1	83,7	75,3	99,5	88 6
9	1,14	8,6	8,8	9,2	9,1	49	11,7	88,0	79,0	105,3	93,1
10	1,22	9,2	9,4	9,8	9,7	50	12,3	92,6	83,0	111,4	97,9
11	1,30	9,8	10,0	10,5	10,4	51	12,9	97,2	86,7	118	103
12	1,39	10,5	10,7	11,3	11,2	52	13,6	102,1	90,2	125	108
13	1,49	11,2	11,4	12,1	11,9	53	14,3	107,2	95,0	132	113
14	1,59	12,0	12,1	12,9	12,7	54	15,0	112,5	99,5	139	119
15	1,70	12,8	12,8	13,7	13,5	55	15,7	118,0	104,3	148	125
16	1,80	13,6	13,6	14,7	14,4	56	16,4	123,8	108	156	131
17	1,92	14,5	14,5	15,7	15,4	57	17,2	129,8	113	165	137
18	2,06	15,5	15,4	16,7	16,4	58	18,1	136,1	119	175	144
19	2,20	16,5	16,3	17,9	17,5	59	19,1	142,6	124	185	151
20	2,33	17,5	17,3	18,9	18,5	60	19,9	149,4	130	196	158
21	2,48	18,7	18,3	20,3	19,8	61	20,8	156,4	136	209	166
22	2,64	19,8	19,4	21,5	20,9	62	21,8	163,8	142	222	174
23	2,80	21,1	20,6	22,9	22,3	63	22,8	171,4	148	235	182
24	2,98	22,4	21,8	24,4	23,1	64	23,9	179,3	154	249	190
25	3,16	23,8	23,0	26,0	25,2	65	24,9	187,5	161,1	265	199
26	3,35	25,2	24,4	27,5	26,6	66	26,1	196,1	168	281	208
27	3,55	26,7	25,8	29,3	28,2	67	27,2	205,0	175	299	218
28	3,76	28,3	27,2	31,1	29,9	68	28,6	214,2	182	318	228
29	3,99	30,0	28,7	33,0	31,7	69	29,8	223,7	190	338	238
30	4,23	31,8	30,4	35,1	33,6	70	31,0	233,7	197,9	361	249
31	4,48	33,7	32,0	37,3	36,6	71	32,4	243,9	206	384	260
32	4,74	35,7	33,9	39,6	37,7	72	33,9	254,6	219	409	271
33	5,02	37,7	35,6	41,9	39,9	73	35,3	265,7	223	437	283
34	5,31	39,9	37,5	44,5	42,2	74	36,8	277,2	232	466	295
35	5,62	42,2	39,6	47,3	44,6	75	38,4	289,1	241,6	499	308
36	5,93	44,6	40,5	50,1	47,1	76	40,1	301,4	251	534	321
37	6,26	47,1	43,9	53,1	49,8	77	41,8	314,1	261	575	335
38	6,60	49,7	46,2	56,3	52,6	78	43,6	327,3	271	617	349
39	6,96	52,4	48,5	59,5	55,4	79	45,4	341,0	282	665	364
40	7,35	55,3	51,1	63,1	58,5	80	47,3	355,1	293	716	379
41	7,70	58,3	53,6	66,8	61,6	85	57,6	433,6	353	1092	463
42	8,2	61,5	56,5	70,8	65,0	90	70,0	525,8	423	1877	563
43	8,6	64,8	59,2	74,9	68,6	95	85,0	633,9	604	4381	679
						100	101,0	760,0	597	∞	816

Приложение V

Соотношения между единицами измерения СИ и единицами других систем и внесистемными единицами

Механические величины

Длина
1 микрон=1 мкм (микрометр)=1×10^{-6} м

Объем
1 дм^3=$1\cdot10^{-3}$ м^3
1 л=$1\cdot10^{-3}$ м^3

Масса
1 т. е. м. (кгс·с^2/м)=9,80665 кг
1 моль=M 10^{-3} кг (M — молекулярная масса)
1 кмоль=M кг

Частота
1 об/с (1 колебание в 1 секунду, 1 период в 1 секучду=1 Гц
1 об/мин=1/60 Гц

Линейная скорость
1 см/с=$1\cdot10^{-2}$ м/с
1 см/мин=$0{,}1667\cdot10^{-3}$ м/с
1 м/мин=0,01667 м/с
1 м/ч=$277{,}8\cdot10^{-6}$ м/с
1 км/ч=0,2778 м/с

Линейное ускорение
1 см/с^2=$1\cdot10^{-2}$ м/с^2
1 км/(ч·с)=0,2778 м/с^2

Угловая скорость
1 град/с=0,01745 рад/с
1 об/с=6,28 рад/с
1 об/мин=0,1047 рад/с

Плотность
1 т/м^3, 1 кг/дм^3, 1 г/см^3 } =1000 кг/м^3
1 кг/л, 1 г/мл } =1000 кг/м^3
1 т. е. м./м^3=(1 кгс·с^2/м^4)=
=9,80665 кг/м^3

Удельный объем
1 м^3/т, 1 дм^3/кг, 1 см^3/г } =$1\cdot10^{-3}$ м^3/кг
1 л/кг, 1 мл/г } =$1\cdot10^{-3}$ м^3/кг

Мольный объем
1 см^3/моль, 1 дм^3/кмоль } = $1\cdot10^{-3}$ м^3/кмоль
1 л/моль=1 м^3/кмоль
1 дм^3/моль=1 м^3/кмоль

Массовый расход
1 г/с=$1\cdot10^{-3}$ кг/с
1 г/мин=$16{,}667\cdot10^{-6}$ кг/с
1 кг/мин=$16667\cdot10^{-3}$ кг/с
1 кг/ч=$277{,}8\cdot10^{-6}$ кг/с
1 т/ч=0,2778 кг/с
1 кг/сут=$11{,}574\cdot10^{-6}$ кг/с
1 т/сут=$11{,}574\cdot10^{-3}$ кг/с

Объемный расход
1 см^3/с=$1\cdot10^{-6}$ м^3/с
1 дм^3/с=$1\cdot10^{-3}$ м^3/с
1 м^3/ч=$277{,}8\cdot10^{-6}$ м^3/с
1 м^3/сут=$11{,}574\cdot10^{-6}$ м^3/с
1 л/с=$1\cdot10^{-3}$ м^3/с
1 л/мин=$16{,}667\cdot10^{-6}$ м^3/с
1 л/ч=$277{,}8\cdot10^{-9}$ м^3/с
1 л/сут=$11{,}574\cdot10^{-9}$ м^3/с

Сила (в частности, сила тяжести, вес)
1 мгс=$9{,}80665\cdot10^{-6}$ Н
1 гс=$9{,}80665\cdot10^{-3}$ Н
1 кгс=9,80665 Н
1 тс=9,80665 кН=9806,65 Н
1 дина=$1\cdot10^{-5}$ Н

Момент силы
1 кгс·м=9,80665 Н·м
1 гс·см=9,80665 10^{-5} Н·м
1 дин·см=$1\cdot10^{-7}$ Н·м

Давление
1 ат техническая атмосфера), 1 кгс/см^2 } =98066,5 Па≈$1\cdot10^{-1}$ МПа
1 кгс/м^2, 1 мм вод. ст. } =9,80665 Па
1 кгс/мм^2=9,80665 Па
1 атм (атмосфера физическая)=
=101325 Па=101,325 кПа
1 гс/см^2=98,0665 кПа
1 тс/м^2, 1 м вод. ст. } =9,80665 кПа
1 мм рт. ст.=133,322 Па
1 дин/см^2=$1\cdot10^{-1}$ Па

Работа и энергия
1 эрг (дин·см)=$1\cdot10^{-7}$ Дж
1 гс·см=$9{,}80665\cdot10^{-5}$ Дж
1 кгс·м=9,80665 Дж
1 тс·м=$9{,}80665\cdot10^{3}$ Дж=9,80665 кДж
1 л. с·ч (лошадиная сила-час)≈
≈9,80665 кДж
1 Вт·с (ватт-секунда)=1 Дж
1 Вт·ч=3600 Дж=3,6 кДж
1 кВт·ч=$3{,}6\cdot10^{6}$ Дж=3,6 МДж
1 кал(межд.)=4,1868 Дж
1 ккал (межд.)=4186,8 Дж=4,1868 кДж

Мощность
1 эрг/с=1 10^{-7} Вт
1 гс см/с=9,80665·10^{-5} Вт
1 кгс·м/с=9,80665 Вт
1 т е м /с=9,80665·10^{3} Вт
1 кВт=1000 Вт
1 л с (лошадиная сила)=735,499 Вт
1 кал/ч (калория межд в час)= =1,163·10^{-3} Вт
1 ккал/ч (килокалория межд в час)= =1,163 Вт
1 кал/с (калория межд. в секунду)= =4,1868 Вт
1 ккал/сут (килокалория межд в сутки)=0,04846 Вт

Динамическая вязкость
1 кг/(м·с)=1 Н·с/м² (Па·с)
1 кг/(м·ч)=2,778 10^{-4} Н с/м² (Па·с)
1 П (пуаз) } =1·10_^{1} Н·с/м² (Па с)
1 г/(см·с) }
1 дин с/см² }
1 сП=1·10^{-3} Н·с/м² (Па·с)
1 кгс·с/м²=9,80665 Н·с/м² (Па·с)

Кинематическая вязкость
1 см²/с } =1·10^{-4} м²/с
1 Ст (стокс). }
Поверхностное натяжение
1 дин/см } =1·10^{-3} Н/м=1·10^{-3} Дж/м²
1 эрг/см² }
1 гс/см=0,980665 Н/м=0,980665 Дж/м²
1 кгс/м=9,80665 Н/м=9,80665 Дж/м²

Тепловые величины

Количество теплоты
1 кал (межд)=4,1868 Дж
1 ккал (межд)=4,1868 кДж

Тепловой поток, тепловая мощность
1 ккал/ч=1,163 Вт
1 кал/с=4,1868 Вт

Удельная теплота, теплота сгорания топлива
1 ккал/кг } =4186,8 Дж/кг=
1 кал/г } =4,1868 кДж/кг
1 эрг/г=1·10^{-4} Дж/кг

Теплоемкость
1 эрг/К=1·10^{-7} Дж/К
1 кал/К=4,1868 Дж/К
1 ккал/К=4,1868 кДж/К

Удельная массовая теплоемкость
1 кал/(г·К) } 4186,8 Дж/(кг·К)=
1 ккал/(кг·К) } =4,1868 кДж/(кг·К)
1 эрг/(г·К)=1·10^{-4} Дж/(кг·К)

Удельная объемная теплоемкость
1 кал/(см³·К)=4,1868 МДж/(м³·К)
1 ккал/(м³·К)=4,1868 кДж/(м³·К)

Удельная мольная теплоемкость
1 кал/(моль·К)=1 Дж/(кмоль·К)

Поверхностная плотность теплового потока
1 кал/(см²·с)=41,868 кВт/м²
1 ккал/(м²·ч)=1,1630 Вт/м²
1 Вт/см²=1·10^{4} Вт/м²
1 кВт/м²=1·10^{3} Вт/м²

Объемная плотность теплового потока
1 кал/(см³·с)=4,1868·10^{6} Вт/м³
1 ккал/(м³·ч)=1,163 Вт/м³

Температурный градиент
1 К/см=100 К/м

Коэффициент теплообмена (теплоотдачи) и теплопередачи
1 кал/(см²·с·К)=4,1868·10^{4} Вт/(м²·К)
1 ккал/(м²·ч·К)=1,1630 Вт/(м²·К)
1 эрг/(см²·с·К)=1·10^{-3} Вт/(м²·К)
1 Вт/(см²·К)=1·10^{4} Вт/(м²·К)
1 кВт/(м²·К)=1·10^{3} Вт/(м²·К)
1 кал/(см³·с·К)=4,1868·10^{4} Вт/(м³·К)
1 ккал/(м³·ч·К)=1,1630 Вт/(м³·К)

Коэффициент теплопроводности
1 кал/(см·с·К)=418,68 Вт/(м·К)
1 ккал/(м·ч·К)=1,163 Вт/(м·К)
1 Вт/(см·К)=100 Вт/(м·К)
1 кВт/(м·К)=1·10^{3} Вт/(м·К)
1 эрг/(см·с·К)=1·10^{-5} Вт/(м·К)

Коэффициент температуропроводности
1 м²/ч=277,78·10^{-6} м²/с
1 см²/с=1·10^{-4} м²/с

Газовая постоянная
1 кгс м/(кг·К)=9,80665 Дж/(кг·К)
1 эрг/(г·К)=1·10^{-4} Дж/(кг·К)
1 кал/(г·К) } =4,1868 кДж/(кг·К)
1 ккал/(кг·К) }

Универсальная газовая постоянная
1 кгс·м/(кмоль·К)= =9,80665 Дж/(кмоль·К)
1 эрг/(моль·К)=1·10^{-4} Дж/(кмоль·К)
1 кал/(моль·К) } = 4186,8 Дж/ /(кмоль·К) = =4,1868 кДж/ (кмоль·К)
1 ккал/(кмоль·К) }

Электрические величины

Количество электричества, количество заряда
1 ед ко эл СГС, СГСЭ, СГСε_0= =3,33564·10^{-10} Кл
1 элементарный электрический заряд= =1,60206·10^{-19} Кл

Напряженность электрического поля
1 В/см=100 В/м
1 Н/Кл=1 В/м
1 ед напр эл поля СГС, СГСЭ и СГСε_0=2,997925·10^{4} В/м

Удельное электрическое сопротивление
1 Ом·см (ом-сантиметр)=1·10^{-2} Ом·м
1 Ом·мм²/м=1·10^{-6} Ом·м

Подвижность ионов
1 см²/(В·с)=1·10^{-4} м²/(В·с)

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

К первому разделу

1.1. **Энергетика и охрана окружающей среды**/ Под ред. Н. Г. Залогина, Л. И. Кроппа и Ю. М. Кострикина. М.: Энергия, 1979. 352 с.

1.2. **Кропп Л. Д., Бронштейн А. Ш.** Эксплуатация батарейных циклов. М.: Энергия, 1964. 152 с.

1.3. **Рихтер Л. А.** Тепловые электрические станции и защита атмосферы. М.: Энергия, 1975. 312 с.

1.4. **Велецкий Р. К., Гринина Н. Н.** Измерение параметров пылегазовых потоков в черной металлургии. М.: Металлургиздат, 1979 80 с.

1.5. **Ходаков Г. С.** Основные методы дисперсионного анализа порошков. М.: Стройиздат, 1968. 200 с.

1.6. **Коузов П. А.** Основные методы дисперсионного анализа промышленных пылей и измельченных материалов. Л.: Химия, 1971. 280 с.

1.7. **Андрианов Е. И.** Методы определения прочностных реологических характеристик порошкообразных материалов. М.: Химия, 1981. 256 с.

1.8. **Русанов А. А., Янковский С. С.** Импакторы для дисперсионного анализа промышленных пылей. М.: ЦНИИТЭнефтехим. 1970. 52 с.

1.9. **Зимон А. Д., Андрианов Е. И.** Аутогезия сыпучих материалов. М.: Металлургия, 1978. 288 с.

1.10. **Юдашкин М. Я.** Очистка газов в металлургии. М.: Металлургия, 1976. 384 с.

1.11. **Братчиков В. Н.** Влияние фракционного состава золы на абразивный износ конвективных поверхностей нагрева парогенераторов. — Теплоэнергетика, 1971, № 3. с. 91—92.

1.12. **Братчиков В. Н.** Формула для определения золового износа экономайзерных труб. — Теплоэнергетика, 1972, № 3, с 40—42.

1.13. **Алиев Г. М. А., Гоник А. Е.** Прибор «Циклочом-1» для измерения удельного электрического сопротивления пыли. М.: ГОСИНТИ, 1968. 8 с.

1.14. **Алиев Г. М. А.** Пылеулавливание в производстве огнеупоров. М.: Металлургия, 1971. 224 с.

1.15. **Штокман Е. А.** Очистка воздуха от пыли на предприятиях пищевой промышленности. М.: Пищевая промышленность, 1977. 304 с.

1.16. **Русак О. Н., Милохов В. В.** Борьба с пылью на деревообрабатывающих предприятиях. М.: Лесная промышленность, 1975. 152 с.

1.17. **Залогин Н. Г., Янковский Л. П.** Очистка дымовых газов от золы в электрофильтрах на зарубежных и отечественных электростанциях. М.: БТИ ОРГРЭС, 1964. 108 с.

1.18. **Поляков В. А., Янковский С. С.** Измерение избыточного электрического заряда частиц, взвешенных в газовом потоке. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1972, № 1, с. 21—23.

1.19. **Беркович М. Т., Бухман Я. З.** Промышленная пыль. Свердловск: Металлургиздат, 1960. 240 с.

1.20 **Lippmann M.** — Am. Ind. Hyd. Assoc. J., 1959, v. 20, p. 406; 1961, v. 22, p 348.

1.21. **Fuchs N. A.** Aerosol impactors. — In: Fundamentals of Aerosol, Science. Edited by David T. Shaw. John Wiley and Sons, Inc., 1978, p 1—84.

1.22. **Andersen A.** — AIHA Journal, 1976, v. 27, p. 160.

1.23. **Байвель Л. П., Лагунов А. С.** Измерение и контроль дисперсности частиц методом светорассеяния под малыми углами. М.: Энергия, 1977. 88 с.

1.24. **Фукс Н. А.** Современные методы исследования аэрозолей. — Журнал ВХО им. Д. И. Менделеева, 1975, № 1, с 71—77.

1.25. **Клименко А. П.** Методы и приборы для измерения концентрации пыли. М.: Химия, 1978. 208 с.

1.26. **Леончик Б. И., Маякин В. П.** Измерение в дисперсных потоках. М.: Энергия, 1971. 248 с.

1.27. **Гордон Г. М., Пейсахов И. Л.** Контроль пылеулавливающих установок. М.: Металлургия, 1973. 384 с.

1.28. **Фукс Н. А.** Механика аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955. 352 с.

1.29. **Фукс Н. А.** Успехи механики аэрозолей. М.: Изд-во АН СССР, 1955, 195 с

1.30. **Пейсахов И. Л., Лютин Ф. Б.** Атлас диаграмм и номограмм по газопылевой технике. М. Металлургия, 1974. 116 с.

1.31. **Панченко А. В.** Вентиляционные установки элеваторов, мельниц, крупяных

и комбикормовых заводов. М.: Заготиздат, 1954. 372 с.

1.32. **Шавкин Н. К.** Очистка природного газа на магистральных газопроводах. Л.: Недра, 1973. 96 с.

1.33. — **Staub**, 1973, Bd 31, № 3, S. 122—125.

Ко второму разделу

2.1. **Ужов В. Н.** Борьба с пылью в промышленности. М.: Химиздат, 1962. 68 с.

2.2. **Падва В. Ю.** Распределение концентрации аэрозоля в турбулентном потоке. — Водоснабжение и санитарная техника, 1971, № 8, с. 25—28.

2.3. **Хинце О. И.** Турбулентность, ее механизм и теория. М.: Физматгиз, 1963. 680 с.

2.4. **Гордон Г. М., Пейсахов И. Л.** Пылеулавливание и очистка газов. М.: Металлургия, 1968. 500 с.

2.5. **Залогин Н. Г., Шухер С. М.** Очистка дымовых газов. М.: Госэнергоиздат, 1954. 224 с.

2.6. **Виленский Т. В.** Расчет систем золоулавливания. М.: Энергия, 1964. 200 с.

2.7. **Коузов П. А.** Сравнительная оценка циклонов различных типов. — В кн.: Обеспыливание в металлургии. М.: Металлургия, 1971, с. 185—196.

2.8. **Циклоны НИИОГаз.** Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. Ярославль: Верхне-Волжское изд-во, 1971. 96 с.

2.9. **Гервасьев А. М.** Пылеуловители СИОТ. М.: Профиздат, 1954. 96 с.

2.10. **Типовые** узлы пневмотранспорта древесных отходов. Рабочие чертежи: Альбом I. Циклоны с высоким коэффициентом очистки воздуха, 148 с. Альбом II. Рабочие чертежи опор и бункеров под циклоны с высоким коэффициентом очистки воздуха, 95 с. Альбом III. Циклоны типа Клайпедского ОЭКДМ, 88 с. Альбом IV. Опоры и бункера под циклоны типа Клайпедского ОЭКДМ, 127 с. М.: Гипродревпром, 1971.

2.11. **Газоочистное** оборудование. Циклоны. М.: Цинтихимнефтемаш, 1977. 24 с.

2.12. **Справочник проектировщика.** Внутренние санитарно-технические устройства/ Под ред. И. Г. Староверова. Часть II. Вентиляция и кондиционирование воздуха. М.: Стройиздат, 1978. 509 с.

2.13. **Потапов О. П., Кропп Л. Д.** Батарейные циклоны. М.: Энергия, 1977. 152 с.

2.14. **Унификация** батарейных циклонов типа БЦУ-М./ Л. И. Кропп, О. П. Потапов, С. С. Певзнер, Б. Я. Письман, Г. Г. Крестьянов. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1978, № 1, с. 7—8.

2.15. **Абросимов Ю. В.** Каркасные стеклотканевые фильтры НИИОГаз. М.: Машиностроение, 1972. 80 с.

К третьему разделу

3.1. **Теплотехнический** справочник. 2-е изд., перераб. Под общ. ред. В. Н. Юренева и П. Д. Лебедева. В 2-х томах. Том 2. М.: Энергия, 1976. 896 с.

3.2. **Михеев М. А.** Основы теплопередачи. М.: Госэнергоиздат, 1956. 396 с.

3.3. **Очистка** газов в металлургии. Специальный выпуск Института черной металлургии Англии, № 83. Пер. с англ. М.: Металлургия, 1968. 372 с

3.4. **Тебеньков Б. П.** Рекуператоры для промышленных печей. изд. 4-е, испр. и доп. М.: Металлургия, 1975. 294 с.

3.5. **Гордон Г. М., Пейсахов И. Л.** Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. Изд. 3-е, перераб. и доп. М.: Металлургия, 1973, 456 с.

3.6. **Strauss W.** Industrial gas cleaning. Second Edition. Pergamon Press, 1975. 624 p.

3.7. **Вальдберг А. Ю., Кутузов Г. О.** Исследование газоочистки сталеплавильной печи. Вып. 54. — Электротермия, 1966, с. 18—19.

3.8. **Опарышева В. Т., Дубинская Ф. Е.** Мокрая очистка конвертерных газов в системах отвода без дожигания окиси углерода. — Сер. 22. Защита от загрязнений воздушного и водного бассейнов. Вып. 3. М.: Черметинформация, 1973. 30 с.

3.9. **Зависимость** коэффициента испарения от удельного орошения контактного теплообменника/ А. Ю. Вальдберг, Л. Л. Набутовская, Н. М. Савицкая, Э. Я. Тарат. — Журнал прикладной химии, 1975, т. 48, № 11, с. 2568—2570.

3.10. **Савицкая Н. М., Вальдберг А. Ю., Тарат Э. Я.** Влияние удельной энтальпии газ — жидкость на конечное влагосодержание газа в контактных теплообменниках.— Инженерно-физический журнал, 1979, т. 34, № 2, с. 353—356.

3.11. **Савицкая Н. М., Вальдберг А. Ю., Ларина Т. В.** Приближенный расчет температуры мокрого термометра. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1980, № 2, с. 6.

3.12. **Применение** водного кондиционирования для повышения эффективности улавливания золы в электрофильтре/ Решидов И. К., Лебедюк Г. К., Вальдберг А. Ю. и др. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1980, № 3, с. 3.

3.13. **Кудряшов Л. Н.** Коэффициент конвективного теплообмена в испарительных установках, работающих по принципу распыливания. — Химическая промышленность, 1949, № 2, с. 47.

3.14. **Егоров Н. Н.** Охлаждение газа в скрубберах. М.: Госхимиздат, 1954. 144 с.

3.15. **Савицкая Н. М., Ларина Т. В. и др.** Определение удельного орошения контактных теплообменников, работающих

в испарительном режиме охлаждения. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1981, № 6, с. 10—11.

3.16. **Савицкая Н. М., Вальдберг А. Ю., Биргер М. И.** Унифицированный ряд скрубберов полного испарения с конфузорным подводом газов. — Экспресс-информация. Сер. ХМ-14. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1979, № 2, с. 13—16.

3.17. **Теверовский Е. И., Зайцев М. М.** Пылеулавливающий, абсорбционный и теплообменный аппарат ТП с высокоскоростным потоком газа. — Труды НИИОГаз. Вып. 1. М.: Госхимиздат, 1957, с. 105—132.

3.18. **Yamauchi S., Wado T., Kanei H.** The pressure drop across venturi scrubbers. — Chem. Eng. 1963, v. 27, № 12, p. 974—977.

3.19. **Дубинская Ф. Е., Цыганенко Н. К.** Расчет конечных температур газа и воды на выходе скруббера Вентури. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1979, № 1, с. 6—7.

3.20. **Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю.** Подготовка промышленных газов к очистке. М.: Химия, 1975. 216 с.

3.21. **Пенный** режим и пенные аппараты/ Под ред. И. П. Мухленова и Э. Я. Тарата. Л.: Химия, 1977. 304 с.

3.22. **Вальдберг А. Ю., Набутовская Л. Л., Тарат Э. Я.** Эффективное охлаждение газов в аппарате с провальными тарелками. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1974, № 4, с. 7—10.

3.23. **Вальдберг А. Ю., Набутовская Л. Л., Тарат Э. Я.** Расчет тарельчатых аппаратов при охлаждении в них ненасыщенного газа. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 5, с. 8—9.

3.24. **Ларина Т. В., Вальдберг А. Ю.** Математическая модель процесса охлаждения ненасыщенных газов. Защита атмосферы. Вып. 6. Дрезден: 1977, с. 64—65.

3.25. **Котов В. М., Вальдберг А. Ю.** Охлаждение газов в аппарате с псевдоожиженным слоем орошаемой шаровой насадки. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1982, № 1, с. 8—10.

3.26. **Алексеев Г. Ф., Оленев В. А.** Обобщенная зависимость коэффициента теплопередачи в безнасадочных скрубберах для охлаждения и очистки доменного газа от условий работы. — Сталь, 1967, № 4, с. 380—382.

3.27. **Вальдберг А. Ю., Набутовская Л. Л., Тарат Э. Я.** Расчет тарельчатых аппаратов при охлаждении в них насыщенных газов. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 5, с. 9—10.

3.28. **Вальдберг А. Ю., Набутовская Л. Л., Алиев Г. М. А.** Улавливание сажи при производстве ацетилена термоокислительным пиролизом метана. — Химическая промышленность, 1972, № 4, с. 258—260.

К четвертому разделу

4.1. **Власенко Г. Я.** Диффузионно-конденсационный метод очистки воздуха от высокодисперсных аэрозолей. — В кн: Обеспыливающие устройства промышленной вентиляции. Ротапринт МДНТП им. Ф. Э. Дзержинского, 1970, с. 36—40.

4.2. **Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю.** Очистка газов мокрыми фильтрами. М.: Химия, 1972. 248 с.

4.3. **Scrubber Handbook.** Prepared for EPA California, A. P. T., INC, 1972, v. 1.

4.4. **Интенсивные** колонные аппараты для обработки газов жидкостями./ Э. Я. Тарат, О. С. Балабеков, Н. П. Болгов и др. Под общ. ред. Э. Я. Тарата. Л.: Изд-во Ленинградского университета, 1976. 240 с.

4.5. **Stairmand C. S.** Removal of dust from gases. Gas purification processes for air pollution control. Second edition, edited by G. Nonhabel. London: Newnes-Butterworths, 1973, p. 364—402.

4.6. **Вальдберг А. Ю., Кутузов Г. О., Булгакова Н. Г.** Эффективность улавливания частиц пыли в скруббере Вентури. — Инженерно-физический журнал, 1979, т. 36, № 4, с. 753—754.

4.7. **Костин В. М., Шабалин К. Н.** Закономерности процесса пылеулавливания в прямоточных насадочных скрубберах. — Химическая промышленность, 1966, № 3, с 204—209.

4.8. **Рамм В. М.** Абсорбция газов. Изд. 2-е, перераб. и доп. М: Химия, 1976, 656 с.

4.9. **Кафаров В. В.** Основы массопередачи. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Высшая школа, 1972. 492 с.

4.10. **Calvert S.** Source control by liquid scrubbing. — In: Air Pollution, ed. Stern. — N. Y.: Academic Press, 1968, v. 3. p. 458—496.

4.11. **Позин М. Е., Мухлеков И. П., Тарат Э. Я.** Пенные газоочистители, теплообменники и абсорберы. Л.: Госхимиздат, 1959. 124 с.

4.12. **Пенный** режим и пенные аппараты/ Под ред. И. П. Мухлекова и Э. Я. Тарата. Л.: Химия, 1977. 304 с.

4.13. **Вальдберг А. Ю., Тарат Э. Я.** К вопросу о предельных параметрах пенного режима в аппаратах с полным протеканием жидкости через отверстия решеток. — Журнал прикладной химии, 1970, т. 43, № 8, с. 1712—1715

4.14. **Идельчик И. Е.** Справочник по гидравлическим сопротивлениям. Изд. 2-е, перераб. и доп. М: Машиностроение, 1975. 560 с.

4.15. **Определение** верхнего и нижнего пределов работы колонны с беспереливными барботажными тарелками/ Л. Е. Сум-Шик, Л. С. Позин, М. Е. Аэров и др. — Химическая промышленность, 1968, № 2, с. 66—68.

4 16 **Вальдберг А. Ю., Ковалевский Ю. В., Лебедюк Г. К.** Мокрые пылеуловители ударно-инерционного, центробежного и форсуночного действия М: ЦИНТИХимнефтемаш, 1981 38 с

4 17 **Котов В. М., Вальдберг А. Ю., Гельперин Н. И.** Аппараты с псевдоожиженным слоем орошаемой насадки и возможности их применения в процессах очистки газов и пылеулавливания М · ЦНИИТЭнефтехим, 1970 56 с.

4 18 **Котов В. М., Вальдберг А. Ю., Гельперин Н. И.** Расчет пылеуловителей с псевдоожиженным слоем орошаемой шаровой насадки — Промышленная и санитарная очистка газов, 1973, № 5, с 1—5

4 19 **Аксельрод Л. С., Яковенко М. М.** Некоторые вопросы термодинамики массообменных аппаратов с подвижной шаровой насадкой — Теоретические основы химической технологии, т 3, 1968, № 1, с 148—150

4 20 **Гидравлический** расчет аппаратов с псевдоожиженной шаровой насадкой/ Н И Гельперин, В А Лиференко, В З Гришко и др — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 3, с 14—16

4 21 **Новиков А. И., Скворцов А. Н., Кишкарев В. А.** Конические скрубберы с псевдоожиженной шаровой насадкой для очистки газов — Химическая промышленность, 1974, № 11, с 846—849

4 22 **Применение** скрубберов ударного действия в цветной металлургии/ М И Герцена, Н С Карсанова, Е В Комаров и др — Цветные металлы, 1978, № 9, с 38—41.

4 23 **Пирумов А. И.** Обеспыливание воздуха М Стройиздат, 1974 208 с

4 24 **Саржант Ю. Ф.** Саморегулируемый газопромыватель — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 4, с 32

4 25 **Лебедюк Г. К., Вальдберг А. Ю., Саржант Ю. Ф.** Применение саморегулируемого газопромывателя для доочистки газов в производстве керамзитового гравия — Промышленная и санитарная очистка газов, 1979, № 2, с 3—4

4 26 **Дратва В. Д., Фарберович М. Я.** Гидродинамический пылеуловитель для очистки вентиляционных выбросов литейных цехов — Промышленная и санитарная очистка газов, 1977, № 5, с 20—21

4 27 **Коузов П. А., Мыльников С. И.** Расчет эффективности пылеулавливания в циклонах с водяной пленкой — Труды институтов охраны труда Вып 77, 1972, с 6—12

4 28 **Методические** рекомендации по расчету мокрых пылеуловителей А3-679 М Госстрой СССР, ГПИ Сантехпроект, 1976 64 с.

4 29 **Гервасьев А. М., Рабинович В. Б.** Скоростные промыватели СИОТ — Экспресс информация Сер ХМ-14 Новые конструкции мокрых пылеуловителей М ЦИНТИХимнефтемаш, 1979, № 2, с 6—7.

4 30 **Дергачев Н. Ф.** Мокрые золоуловители системы ВТИ М — Л · Госэнергоиздат, 1960 96 с

4 31 **Йордан В.** Скруббер Вентури и дезынтегратор для охлаждения и очистки используемых и отходящих газов — Черные металлы, 1966, № 7, с 399—401

4 32 **Дубинская Ф. Е., Лебедюк Г. К.** Скрубберы Вентури Выбор, расчет, применение М ЦИНТИХимнефтемаш, 1977. 60 с

4 33 **Investigation** of a modified self-induced spray venturi scrubber/ Vukevic D V, Alic S V, Vlajčić S V, Ivaštanin N S — 6th International CHJSA Congress — CHJSA'78 Prague 1978, paper N 2 5

4 34 **Дубинская Ф. Е.** Расчет коэффициента гидравлического сопротивления труб-распылителей — Промышленная и санитарная очистка газов, 1977, № 3, с 5—7

4 35 **Venturi** scrubber performance model/ Shul Show Yung, Calvert S, Barbarika H F, Sparks L E — Environmental Science and Technology, 1978, v. 12, N 4, p 456—459

4 36 **Hasketh H. E., Engel A. S., Calvert S.** Atomization a new type better gas scrubbing — Atmospheric Environment Pergamon Press, 1970, v 4, p 639—650

4 37 **Мамкин П. П.** Улучшение работы центробежных скрубберов путем применения трубы-коагулятора. — Водоснабжение и санитарная техника, 1969, № 4, с 30—37

4 38 **Энергетика** и охрана окружающей среды/ Под ред Н. Г Залогина, Л И Кроппа, Ю М. Кострикина. М: Энергия, 1979 352 с

4 39 **Ряд эжекторных скрубберов типа** СЭЖ — Экспресс-информация Сер ХМ-14. Новые конструкции мокрых пылеуловителей/ Г К Лебедюк, А Ю Вальдберг, Ю В Ковалевский и др — М · ЦИНТИХимнефтемаш, 1979, № 2, с 1—4

4 40 **Распыливание** жидкостей/ В А Бородин, Ю Ф Дитятин, Л А Клячко и др М Машиностроение, 1967 246 с

4 41 **Головачевский Ю. А.** Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности 2-е изд М · Машиностроение, 1974 272 с

4 42 **Распыливающие** устройства в аппаратах газоочистки/ Г. К Лебедюк, В С Галустов, Ю В Ковалевский и др М ЦИНТИХимнефтемаш, 1976 52 с

4 43 **Хавкин Ю. И.** Центробежные форсунки Л Машиностроение, 1976, 168 с

4 44 **Егоров Н. Н.** Охлаждение газа в скрубберах. М · Госхимиздат, 1954 144 с

4 45 **Лебедюк Г. К., Ковалевский Ю. В.** Расчет форсунок с плоским факелом распыла. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1977, № 2, с 3

4 46 **Ковалевский Ю. В.** Форсунка с регулируемым расходом жидкости — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 4, с 40—41

4 47 **Применение** водного кондиционирования для повышения эффективности улавливания пыли в электрофильтре/ Решидов И К, Лебедюк Г К, Вальдберг А Ю и др — Промышленная и санитарная очистка газов, 1980, № 3, с 3

4 48 **Шурыгин А. П.** Расчет форсунок для распыливания жидкостей М Изд-во МЭИ, 1972 82 с

4 49 **Каплеуловители** и их применение в газоочистке/ Г К Лебедюк, А Ю Вальдберг, М П Громова и др М ЦИНТИХимнефтемаш, 1974, 64 с

4 50 **Марголин Е. В., Приходько В. П.** Совершенствование технологии мокрой газоочистки на алюминиевых заводах М: Цветметинформация, 1977 64 с

4 51 **Перри Дж.** Справочник инженера химика Пер с англ / Под общ ред Н М Жаворонкова и П Г Романкова. Т 2 Л Химия, 1969 504 с

4 52 **Разработка** и промышленное внедрение каплеуловителей в различных отраслях промышленности / В П Приходько, В Н Сафонов, В Н Исаев и др — Промышленная и санитарная очистка газов, 1979, № 4, с 3—4

4 53 **Лебедюк Г. К., Вальдберг А. Ю., Громова М. П.** Каплеуловитель коленного типа — Промышленная и санитарная очистка газов 1979, № 1, с 7—8

4 54 **Ужов В. Н., Вальдберг А. Ю.** Подготовка промышленных газов к очистке М Химия, 1975 216 с

4 55 **Kraemer H. F., Sohnstone H. F.** Collection of aerosol particles in the presence of electric fields — Ind Eng Chem, 1955, v 47, № 12, p 2426—2434

4 56 **Ricci J. S.** Electric spark of ionizers hikes scrubber efficiency. — Chem. Eng, 1977, v 84, № 20, p 52—58

4 57 **Choi P., Rosenberg H** Reheat wet-scrubber stack gas to avoid downstream difficulties — Power, 1979, v 123, № 7, p 40—42

4 58 **Комплексная** установка огневой переработки токсичных жидких производственных отходов/ Бернадинер М Н Новосельцев В Н, Есилевич Б С, Правкин В И — Промышленная энергетика, 1980, с 16—20.

К пятому разделу

5 1 **Ужов В. Н., Мягков Б. И.** Очистка промышленных газов фильтрами М· Химия. 1970 320 с

5 2 **Kirsch A. A., Stechkina J. B.** The theory of aerosol filtration with fibrous filters — In Fundamental of Aerosol Science. Fd Shaw D — New York, 1978, p 165—256

5 3 **Davies C. N.** Air filtration — London-New York Academic Press, 1973 172 p

5 4 **Высокоэффективная** очистка воздуха Пер с англ М· Атомиздат, 1967 311 с.

5 5 **Волокнистые** фильтрующие материалы ФП / И В Петрянов, В И Козлов П И Басманов, Б И Огородников М: Знание, 1968 78 с

5 6 **Крупчатников В. М.** Вентиляция при работе с радиоактивными веществами М Атомиздат, 1973 368 с

5 7 **Пирумов А. И.** Обеспыливание воздуха М Стройиздат, 1981 296 с

5 8 **Внутренние** санитарно-технические устройства Часть II Вентиляция и кондиционирование воздуха / Под ред И Г Староверова М· Стройиздат 1978 512 с

5 9 **Мягков Б И.** Волокнистые туманоуловители М ЦНИИТЭНефтехим, 1973 58 с

5 10 **А. С. № 291547 (СССР).** Фильтрующий материал для улавливания туманов / Б И Мягков и др Опубл в бюл.: Открытия Изобретения Промышленные образцы Товарные знаки, 1971, № 23, с 213

5 11 **Папсуев Ю. А.** Волокнистый сернокислотный туманоуловитель — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 4 с 15—16

5 12 **Мягков Б. И.** Двухступенчатый сернокислотный волокнистый туманоуловитель — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 4, с 16—17

5 13 **Мягков Б. И., Каменщиков И. Г., Папсуев Ю. А.** Испытание волокнистых фильтров для улавливания тумана термической фосфорной кислоты — Промышленная и санитарная очистка газов, 1972, № 6, с 4—7

5 14 **А. С. № 412911 (СССР).** Фильтрующий элемент/ Б И Мягков, и др Опубл в бюл Открытия Изобретения Промышленные образцы Товарные знаки, 1971, № 4, с 14

5 15 **Аэродинамика** фильтрующих элементов/ Б И Мягков, Е С Кранков Ю А. Папсуев, И Г. Каменщиков, Н В Крайнов — Промышленная и санитарная очистка газов 1979. № 3, с 10—11

5 16 **Мягков Б. И., Каменщиков И. Г., Резник Ф. Б.** Очистка вентиляционного воздуха от гальванических ванн М: ЦИНТИХИМНЕФТЕМаш, 1978 48 с

5 17 **Волокнистые** фильтры для очистки аспирационного воздуха ванн хромирования/ И Г Каменщиков, Б И Мягков. Ю М Дроневич, Т А Леонова — Машиностроитель, 1978, № 5, с 18—19

5 18 **Каменщиков И. Г., Кирш М И., Мягков Б. И.** Бортовые отсосы с фильтрующими элементами для травильных и гальванических ванн. — Промышленная и

санитарная очистка газов, 1979, № 3, с. 7—8.

5.19. **Dietz H. H.** Ölnebel-Abscheidung an Werkzeugmaschinen. — Industrie-Anzeiger, 1976, Bd 98, № 27, S. 447.

5.20. **Carpenter C. L., Othmer D. E.** Entrainment removal by a wire-mesh separator, AIChE Journal, 1955, vol. I, № 4, p. 549—557.

5.21. **Перри Дж.** Справочник инженера-химика. Том II. Пер. с англ. Л.: Химия, 1969, 504 с.

5.22. **Bell C. G., Strauss W.** Effectiveness of vertical mist eliminators in a cross flou-scrubber. — J. Air Poll. Contr. Assoc., 1973, vol. 23, № 11, p. 967—969.

5.23. **Рукавные** фильтры/ Моргулис М. Л., Мазус М. Г. и др. М.: Машиностроение, 1977. 256 с.

5.24. **Лапенко В. Г., Мягков Б. И.** Рукавные фильтры с обратной струйной продувкой. — В кн.: Механическая очистка промышленных газов. М.: Машиностроение, 1974. с. 101—114.

5.25. **Новые** фильтровальные ткани из стекловолокна/ К. Н. Вершинина, Е. К. Луговская, А. Ф. Камалетдинова, Е. А. Белезьева. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1977. № 2, с. 4—6.

5.26. **Harrop M.** Textile fibres for hot gas filtration. — Filtration and Separation, 1975, vol. 12, № 1, p. 26—28.

5.27. **Мальгин А. Д., Гусева Н. В.** Промышленные испытания нетканых антистатических фильтровальных материалов. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1976, № 3, с. 3—5.

5.28. **Асланова М. С. и др.** Стеклянные волокна. М.: Химия, 1979. 256 с.

5.29. **Промышленные** испытания фильтровальных рукавов из стеклоткани/ В. С. Ерохина, В. М. Шопин, К. И. Вершинина, А. Ф. Камалетдинова. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1978, № 5, с 1—3.

5.30. **Dietrich H.** Abscheidung von Feinstäuben aus Gasen unter stark erschwerten chemischen und thermischen Bedingungen mit textilen Filtermedien. — Staub-Reinhalt. Luft, 1977, Bd 33, № 397—101.

5.31. **Borguardt R. H., Harrington R. E., Spaite P. W.** Filtration characteristics of fly ash from a pulverized coal-fired power plant. — J. Air Poll. Contr. Assoc., 1968, vol. 18, № 6, p. 387—390.

5.32. **Dennis R., Silvermann L.** Fabric filter cleaning by intermittent reverse air pulse. — ASHRAE J., 1962, vol. 4, № 3, p. 43—52.

5 33. **Parker H. W.** Air pollution, New-Jersey, — Prentice-Hall Inc., 1977, p. 288.

5.34. **Billings C. E.** Fabric filter installations for flue gas fly ash control. — Powder Technology, 1977, vol. 18, p. 79—110.

5.35. **Гордон Г. М., Пейсахов И. Л.** Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. М.: Металлургия, 1977. 456 с.

5.36. **Газоочистное** оборудование. Рукавные фильтры. Каталог. М.: ЦИНТИХИМНЕФТЕМаш, 1978. 26 с.

5.37. **Cheremisinoff P. N., Young R. A.** Air Pollution and Design Handbook, p. 1, N. Y., Dekker, 1977. 714 p.

5.38. **Billings C. E., Wilder J.** Handbock of Fabric Filter Technology, 1970, vol. 1, 649 p.

5.39. **Ariman T., Helfritch D. J.** How relative humidity cuts pressure drop in fabric filters. — Filtration and Separation, 1977, vol. 14, № 2, p. 127—130.

5.40. **Гордон Г. М. и др.** Практика эксплуатации рукавных фильтров со струйной продувкой. М.: ЦНИСИТЭИ цветной металлургии, 1978. 52 с.

5.41. **Банит Ф. Г., Мальгин А. Д.** Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов. М.: Стройиздат, 1979. 352 с.

5.42. **Tordos G. I., Abuat N., Gutfinger C.** Dust deposition in granular bed filters: theories and experiments. — J. Air Poll. Contr. Assoc., 1978, vol. 28, № 4, p. 354—363.

5.43. **Пречистенский А. С.** Радиоактивные выбросы в атмосферу. М.: Атомиздат, 1961. 176 с.

5.44. **Berz W. M., Maus W.** Entwicklungsstand des Schüttschichtfilters. — Zement-Kalk-Gips, 1977, № 1, S. 4—7.

5.45. **Шибряев Б. Ф., Павловская Е. И.** Металлокерамические фильтрующие элементы. М.: Машиностроение, 1972. 120 с.

5.46. **Бергман А. С., Мельникова И. Г.** Пористая проницаемая керамика. М.: Госстройиздат, 1969, 174 с.

5.47. **Смирнова К. В.** Пористая керамика для фильтрации и аэрации. М.: Стройиздат, 1966. 188 с.

5.48. **Shaw H., Kreuser C.** Porous ceramics for filtration and diffusion. — Filtration and Separation, 1977, vol. 8, № 6, p. 755—759.

5.49. **Теплицкий В. И.** О расчете гидравлического сопротивления металлокерамических фильтров. — Промышленная и санитарная очистка газов, 1973, № 4, с. 8—10.

5.50. **Кабанов Н. В.** Высокотемпературная очистка газов в сажевой промышленности. — В кн.: Промышленная очистка газов и аэродинамика пылеулавливающих аппаратов. Ярославль: Верхне-Волжкое изд-во, 1975, с. 122—126.

5.51. **Мотина Г. Л., Калинина Н. М., Гиндман М. Г.** Применение фторопластовых пористых фильтрующих материалов для очистки пара. — Химико-фармацевтический журнал, 1977, № 3, с. 116—120.

К шестому разделу

6.1. **Жебровский С. П.** Электрофильтры. М. — Л.: Госэнергоиздат, 1950. 256 с.

6.2. **Ужов В. Н.** Очистка промышленных газов электрофильтрами. М.: Химия, 1967. 344 с.

6.3. **Алиев Г. М. А., Гоник А. Е.** Электрооборудование и режимы питания электрофильтров. — М.: Энергия, 1971. 264 с.

6.4. **Дымовые** электрофильтры/ В. И. Левитов, И. К. Решидов, В. М. Ткаченко и др.; Под общей ред. В. И. Левитова. М.: Энергия, 1980, 448 с.

6.5. **Beth-Handbuch.** Staubtechnik. Lübeck: 1964. 440 S.

6.6. **Страус В.** Промышленная очистка газов: Пер. с англ. М.: Химия, 1981. 616 с.

6.7. **Казаков В. Н., Макарова Г. Г.** Процесс осаждения пыли в электрофильтре с поперечным ходом газа. — В кн.: Промышленная и санитарная очистка газов. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1977, № 1, с. 8—9.

6.8. **Электрическая** очистка газов. Научные труды НИИОГаз. М.: Энергия, 1968. 100 с.

6.9. **Промышленная** и санитарная очистка газов и аэрогидродинамика промышленных аппаратов. Сборник статей. Ярославль: Верхне-Волжское изд-во, 1975. 144 с.

6.10. **Шафран Л. Е., Плогинский И. Ш., Горбенко К. И.** Очистка газов скоростными электрофильтрами типа БВК. — Цветные металлы. 1978, № 6, с. 25—28.

6.11. **Идельчик И. Е.** Аэродинамика промышленных аппаратов. М.: Энергия, 1964. 288 с.

6.12. **Matts S., Ohnfeldt P. O.** Efficient gas cleaning with SF electrostatic precipitators. — AB Svenska Fläktfabriken, Sweden, 1972. 12 p.

6.13. **Ермилов И. В.** Исследование и расчет процессов очистки газа в пластинчатых электрофильтрах. — В кн.: Сильные электрические поля в технологических процессах (Электронно-ионная технология). Вып. 3. М.: Энергия, 1979, с. 106—129.

6.14. **РД РТМ 26-14-21-80.** Нормативный метод расчета электрофильтров для теплоэнергетики.

6.15. **Кизим И. А., Решидов И. К.** Конструктивные и технологические методы повышения эффективности электрофильтров при улавливании высокоомной золы. Обзорная информация. Сер. ХМ-14. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1976. 92 с.

6.16. **Решидов И. К., Санаев Ю. И.** Унос пыли в электрофильтрах. Обзорная информация. Сер. ХМ-14. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1979. 36 с.

6.17. **Кизим И. А., Решидов И. К.** Интенсификация процесса электроосаждения золы путем кондиционирования дымовых газов аммиаком. — В кн.: Промышленная и санитарная очистка газов. М.: ЦНИИТЭНефтехим, 1972, № 3, с. 1—4.

6.18. **Энергетика** и охрана окружающей среды/ Под ред. Н. Г. Залогина, Л. И. Кроппа, Ю. М. Кострикина. М.: Энергия. 1979. 352 с.

6.19. **Правила** технической эксплуатации электроустановок и правила техники безопасности при эксплуатации электроустановок потребителей. М.: Атомиздат, 1970. 352 с.

К седьмому разделу

7.1. **Берлинер Ю. И.** Компенсаторы для аппаратов и трубопроводов. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1978. 60 с.

7.2. **Расчет** и конструирование трубопроводов/ Под ред. Б. В. Зверькова. Л.: Машиностроение, 1979. 244 с.

К восьмому разделу

8.1. **Сидоров М. Д.** Справочник по воздуходувным и газодувным машинам. Л.: Машгиз, 1962. 260 с.

8.2. **Рихтер Л. А.** Тепловые электрические станции и защита атмосферы. М.: Энергия, 1975. 312 с.

К девятому разделу

9.1. **Родин В. В.** Винтовые затворы для разгрузки бункеров пылеулавливающего оборудования. — Промышленная и санитарная очистка газов. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1977, № 5, с. 12—13.

9.2. **Чеканов Г. С.** Применение пневмослоевых аппаратов для удаления золы из бункеров золоуловителей. — Промышленная и санитарная очистка газов. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1977, № 1, с. 9.

9.3. **Швец М. Н., Геншафт А. Г., Лысова А. Ф.** Гидрозатворы для мокрых пылеуловителей. — Промышленная и санитарная очистка газов. М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1976, № 3, с. 13.

К десятому разделу

10.1. **Тепловая** изоляция. Справочник по специальным работам/ Под ред. М. Ф. Сухарева. М.: Стройиздат, 1964. 528 с.

К одиннадцатому разделу

11.1. **Русанов А. А., Урбах И. И., Анастасиади А. П.** Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. М.: Энергия, 1969. 456 с.

11.2. **Указания** по расчету рассеивания в атмосфере вредных веществ, содержащихся в выбросах предприятий (СН 369-74). М.: Стройиздат, 1974. 41 с.

11.3. **Энергетика** и защита окружающей среды/ Под ред. Н. Г. Залогина, Л. И. Кроппа и Ю. М. Кострикина. М.: Энергия, 1979, 352 с.

СОДЕРЖАНИЕ

Предисловие 3

Раздел первый. **Основные физико-химические свойства золы и пылей. Параметры очищаемых газов. Оценка эффективности систем пыле- и золоулавливания** . . . 5

1.1. Основные положения 5
1.2. Плотность частиц 6
1.3. Дисперсный состав золы и пылей 7
1.4. Аутогезионные свойства частиц 17
1.5. Абразивность частиц 21
1.6. Удельное электрическое сопротивление слоя частиц золы или пыли . . 22
1.7. Электрическая заряженность частиц 24
1.8. Смачиваемость частиц 25
1.9. Пожаро- и взрывоопасность частиц пыли 26
1.10. Физико-химические свойства золы 27
1.11. Состав газов 29
1.12. Плотность, вязкость, теплоемкость и энтальпия газов 30
1.13. Влажность газов 31
1.14. Расход газов 35
1.15. Методы определения запыленности газов 37
1.16. Оценка эффективности систем пыле- и золоулавливания 47

Раздел второй. **Пылеосадительные камеры и аппараты сухой инерционной очистки газов** 50

2.1. Основные сведения 50
2.2. Пылеосадительные камеры и простейшие инерционные пылеосадители . . 51
2.3. Жалюзийные пыле- и золоуловители 54
2.4. Циклоны 56
2.5. Прямоточные циклоны 66
2.6. Батарейные циклоны 67
2.7. Центробежные пылеуловители ротационного действия 72
2.8. Дымососы-пылеуловители 75

Раздел третий. **Охлаждение газов** 76

3.1. Основные положения 76
3.2. Охлаждение газов в поверхностных теплообменниках 78
3.3. Охлаждение газов разбавлением атмосферным воздухом 79
3.4. Охлаждение газов в контактных теплообменниках 82

Раздел четвертый. **Аппараты мокрой очистки газов** 92

4.1. Основные сведения 92
4.2. Полые газопромыватели 93
4.3. Насадочные газопромыватели 96
4.4. Тарельчатые газопромыватели (барботажные и пенные аппараты) . . . 97
4.5. Газопромыватели с подвижной насадкой 104
4.6. Газопромыватели ударно-инерционного действия 106
4.7. Газопромыватели центробежного действия 112
4.8. Механические газопромыватели 116
4.9. Скоростные газопромыватели (скрубберы Вентури) 118
4.10. Эжекторные скрубберы 129
4.11. Организация подвода орошающей жидкости в пылеуловители 130
4.12. Унос брызг и сепарация капель 139
4.13. Энергетический метод расчета пылеуловителей 144
4.14. Способы интенсификации работы пылеуловителей 146
4.15. Система водоснабжения для мокрой очистки газов 148

Раздел пятый. **Фильтры** 150

5.1. Основные сведения 150
5.2. Волокнистые фильтры 151

5.3. Воздушные фильтры 155
5.4. Фильтры-туманоуловители 162
5.5. Тканевые фильтры 169
5.6. Зернистые фильтры 193

Раздел шестой. **Электрическая очистка газов** 197

6.1. Основные положения 197
6.2. Конструктивные особенности электрофильтров 201
6.3. Типы промышленных электрофильтров 213
6.4. Расчет и выбор электрофильтров 221
6.5. Агрегаты электрического питания электрофильтров 231
6.6. Эксплуатация электрофильтров и техника безопасности 234

Раздел седьмой. **Газовые тракты** 235

7.1. Конструкции газоходов 235
7.2. Запорные и регулирующие клапаны 239
7.3. Компенсаторы 245
7.4. Предохранительные клапаны 246

Раздел восьмой. **Вентиляторы и дымососы. Дымовые трубы** 249

8.1. Вентиляторы и дымососы 249
8.2. Дымовые трубы 253

Раздел девятый. **Устройства для выгрузки золы или пыли из систем пыле- и золоулавливания** 257

9.1. Механизмы сухой выгрузки золы или пыли 257
9.2. Устройства для мокрого удаления пыли и золы 265

Раздел десятый. **Теплоизоляция** 267

10.1. Основные сведения 267
10.2. Расчет толщины тепловой изоляции 268
10.3. Теплоизоляционные материалы и покрытия 271

Раздел одиннадцатый. **Проектирование систем пыле- и золоулавливания** . 276

11.1. Основы выбора проектных решений 276
11.2. Технико-экономическая эффективность газоочистных сооружений . . . 278
11.3. Высота дымовых труб и эффективность очистки газов 283
11.4. Выбор аппаратов для системы золоулавливания 286
11.5. Выбор аппаратов для улавливания промышленных пылей 294

Приложение I. **Основные физические свойства газов** 298
Приложение II. **Номограмма для определения скорости витания частиц** . . . 299
Приложение III. **Опросный лист для проектирования установок очистки промышленных газов от золы или пыли** 299
Приложение IV. **Давление водяных паров и влагосодержание газов при насыщении и давлении смеси 0,101 МПа (760 мм рт.ст.)** 301
Приложение V. **Соотношения между единицами измерения СИ и единицами других систем и внесистемными единицами** 302

Список литературы 305