МИНИСТЕРСТВО УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ СССР
Всесоюзный научно-исследовательский
и проектно-конструкторский институт охраны
окружающей природной среды
в угольной промышленности (ВНИИОСуголь)

Основные схемы и оборудование для очистки от пыли отходящих газов на предприятиях угольной промышленности

Технические описания

Пермь — 1979

gost.e-ecolog.ru

Министерство угольной промышленности СССР

ВСЕСОЮЗНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-КОНСТРУКТОРСКИЙ ИНСТИТУТ ОХРАНЫ ОКРУЖАЮЩЕЙ ПРИРОДНОЙ СРЕДЫ В УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ (ВНИИОСуголь)

УТВЕРЖДЕНЫ
Начальником Управления охраны природы Минуглепрома СССР
Г.Г.Вознюком
"23" января 1979 г.

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ ПЫЛИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Технические описания

Пермь - 1979

Технические описания содержат характеристики вредных выбросов предприятий угольной промышленности и основные схемы очистки газов от сушильных установок и аспирационных систем углеобогатительных фабрик, а также от котельных установок и плавильных агрегатов. Приводятся основные сведения по оборудованию, применяемому в схемах очистки с указанием типа, назначения, устройства и принципа действия, технической характеристики и завода-изготовителя. Показаны также примеры расчета оборудования, принятого в схемах пылеулавливания.

Технические описания предназначены для специалистов проектных и технологических организаций, административно-технических работников производственных объединений и предприятий, занимающихся разработкой практических мероприятий по предотвращению загрязнения окружающей воздушной среды.

Описания составили В.Г.Путилов, Б.Г.Вихарев, О.В.Балашова, М.М.Красноперова, Л.И.Морозова, В.Ф.Суслов, Л.А.Сычева, Л.Н.Тебелева (ВНИИОСуголь). В подготовке рукописи приняли участие И.Х.Нехороший, В.Н.Тюканов, Н.Г.Шипунов (ИОТТ), Е.И.Хазанов, М.Л.Тамарченко (СКТБ "Союзуглеавтоматика").

Технические описания рекомендованы для издания Управлением охраны природы Минуглепрома СССР.

Отзывы и замечания следует направлять по адресу: 614000, Пермь, ГСП-237, ул.Островского, 60, ВНИИОСуголь.

В В Е Д Е Н И Е

Предприятия угольной промышленности характеризуются разнообразием технологических операций, приемов добычи, транспортировки, подготовки к использованию твердого топлива, связанных с выделением пыли.

Использование угля в народном хозяйстве также сопровождается заметными выбросами вредных веществ в окружающую среду. Особенно значительное количество пыли, сажи, окиси углерода, окислов серы и азота выделяется при сжигании высокозольных и высокосернистых углей в топках сушильных и котельных установок.

Для предотвращения загрязнения окружающей воздушной среды промышленными предприятиями отечественная промышленность располагает многочисленными эффективными средствами, однако сведения о них разрознены, что затрудняет выбор необходимого обеспыливающего оборудования.

Настоящие Технические описания включают основные схемы очистки вредных выбросов технологических операций предприятий угольной промышленности. В описаниях приведено оборудование не только внедренное в практику борьбы с пылью за последние годы, но и прошедшее промышленные испытания и намеченное к серийному выпуску в ближайшее время.

Часть I

ХАРАКТЕРИСТИКА ВРЕДНЫХ ВЫБРОСОВ И СХЕМЫ ОЧИСТКИ

Характеристика вредных выбросов в атмосферу углеобогатительными фабриками

Высокие темпы развития угольной промышленности обусловили значительный рост объемов обогащения угля.

В системе Минуглепрома СССР в эксплуатации находится 139 обогатительных фабрик [1].

Обогатительные фабрики представляют собой сложные механизированные предприятия, оснащенные современным высокомеханизированным технологическим и транспортным оборудованием.

Основными операциями по переработке угля на обогатительных фабриках являются:

- приемка угля привозного и непосредственно с шахты;
- углеподготовка (дробление и грохочение);
- обогащение (в отсадочных машинах, тяжелосредных сепараторах, пневмосепараторах и флотомашинах);
- обезвоживание и сушка угля;
- транспортировка и складирование готовой продукции.

При многих технологических и транспортных операциях происходит интенсивное пылеобразование и выделение угольной пыли и вредных веществ.

Интенсивными очагами пылеобразования на обогатительных фабриках с мокрым методом обогащения являются узлы перепада высушенного концентрата, начиная от мест падения его из циклонов на конвейер. Высушенный концентрат содержит большое количество тонких фракций угольной пыли образованной продуктами флотации, быстро теряющих влагу. Пылеобразование в основном зависит от влажности высушенного концентрата и температурного режима сушки.

Кроме пылеобразования при транспортировании концентрата наблюдается значительное выделение пыли от мест падения угля из приемных бункеров на пластинчатые питатели и от мест перепада угля из дробилок на конвейеры, а также при сухой классификации угля на виброгрохотах. Запыленность

воздуха на приведенных участках колеблется от 40 до 200 мг/м^3 [2].

На фабриках с пневматическими методами обогащения пыль образуется по ходу всего технологического процесса.

Основными источниками пылеобразования являются места перепада продуктов обогащения с дексепараторов и пневматических отсадочных машин на сборные ленточные конвейеры и при дальнейшей их транспортировке. Количество узлов перепада угля колеблется от 70 до 100. Запыленность воздуха в отдельных случаях достигает 200-300 мг/м^3. По исследованиям института Гипрошахт (г.Ленинград) пыль, отсасываемая аспирационными системами углеобогатительных фабрик, имеет дисперсный состав указанный в табл. I.

Таблица I

Дисперсный состав пыли

Размер фракции, мкм	Содержание,%
0-5	12
5-10	15
10-20	22
20-30	15
30-75	36

В настоящее время на 58 обогатительных фабриках Минуглепрома СССР находится в эксплуатации 212 сушильных агрегатов, из них 125 труб-сушилок и 87 барабанных сушилок, которые ежегодно выбрасывают в воздушный бассейн около 100 млрд.м^3 газа с общим содержанием 35,0 тыс. тонн угольной тонкодисперсной пыли и 3,5 тыс.тонн сернистого ангидрида [1].

Основными ингредиентами в выбросах сушильных агрегатов являются пыль (выделяющаяся в процессе сушки, а также с топочными газами), сернистый ангидрид, окислы азота и окись углерода (выделяющиеся при сжигании топлива).

Количество пыли, образующейся в процессе сушки угля, определяется степенью измельченности угля, его влажностью, типом сушки. Средний ситовый состав угля, поступающего на сушку, приведен в табл. 2 [3]. В табл. 3 приведены основные технологические показатели работы барабанных сушилок при сушке угольных концентратов, а в табл. 4 - труб-сушилок на некоторых обогатительных фабриках [4].

Средняя запыленность газов на входе в циклоны колеблется, в зависимости от влажности "сушонки", от I до 95 г/м^3 [5].

Концентрация пыли в воздухе, отсасываемом из-под укрытия пылящего оборудования и мест перепадов перед пылеуловите-

Таблица 2

Средний ситовый состав угля, поступающего на сушку

Бассейн	Размер фракций, мкм									
	+2,0	-2,0 +1,0	-1,0 +0,5	-0,5 +0,25	-0,25 +0,12	-0,12 +0,06	-0,06 +0,03	-0,03 +0,015	-0,015 +0,005	-0,005 +0,000
Кузнецкий, $\sum_{0-1}$ = 40,9%	48,5	10,6	11,6	6,7	6,9	5,9	4,1	3,3	1,5	0,9
Карагандинский, $\sum_{0-1}$ = 50,0%	27,6	22,4	7,2	5,6	4,5	5,8	4,5	16,1	5,4	0,9
Донецкий, $\sum_{0-1}$ = 27,5%	65,2	7,3	3,6	2,4	2,9	5,6	7,6	4,6	0,6	0,2

Примечание. $\sum_{0-1}$ – процент фракций класса 0–1 мкм в исходном сырье.

Таблица 3

Технологические показатели работы барабанных сушилок

Материалы, подвергаемые сушке	Влажность, %		Температура газов, С		Производительность, т/ч		Напряжение объема барабана А кг/ч м³	Габаритные размеры барабанов		
	начальная	конечная	начальная	конечная	по исходному углю	по испаренной влаге		Д,м	L б, м	V б,м³
Мелкий концентрат, флотоконцентрат	I6	7,2	900	90	85	8,I	94	2,8	I4	86
Флотоконцентрат	28,2	6,4	800	I00	28,2	6,5	75	2,8	I4	86
То же	22,6	8,5	900	70	7I,0	II,0	66	3,25	20	I66
Мелкий концентрат, флотоконцентрат	I9,9	7,8	730	75	2I0	27,5	I07	3,5	27	268
Мелкий концентрат, флотоконцентрат *	I7,0	7,8	850	II0	280	30,0	I43	3,5	22	2I0

* Для барабана размером 3,5х22 м приведены проектные данные.

Таблица 4

Технологические показатели работы труб-сушилок
на некоторых обогатительных фабриках

Показатели	ЦОФ "Донецкая"	ЦОФ "Кальмиусская"	ОФ "Томусинская"
Производительность, т/ч:			
по сырому углю	150-170	120-130	104-130
по испаренной влаге	12,5-14,0	10,0-12,0	15,2-16,2
Температура газов, ^{0}C:			
начальная	750-800	750-830	900-1000
конечная	60-70	90-100	80-110
Влажность угля, %:			
начальная	14-15	15-17	17-20
конечная	7-8	6-7	5-6
Количество газов перед дымососом, тыс.$м^3$/ч	130	120	115
Запыленность газов, выбрасываемых в атмосферу после счистки , мг/$м^3$	100-122	108	197-273
Диаметр трубы-сушилки, мм	1100	1100	1100
Напряжение объема трубы-сушилки по испаренной влаге, кг/$м^3$.ч	695-780	1000-1200	1000-1100

лем, составляет 1-3 г/м^3 при рабочей влажности угля 5-7% [6].

Характеристика вредных выбросов в атмосферу котельными установками

Котельные установки предприятий угольной промышленности оборудованы преимущественно (более 99%) слоевыми топками различных конструкций, 70% которых составляют топочные устройства с неподвижной решеткой. В этих топках сжигается до 70% рядового угля, 34% сортового угля, 12% мелких отсевов, остальное приходится на долю смесей рядовых, сортовых углей и отсевов [7, 8]. Сжигание угля в топках сопровождается выбросом в атмосферу пыли, окиси углерода, окислов серы и азота. Наибольшее количество угля в системе Минуглепрома СССР сжигается в топках котлоагрегатов типа ДКВ, ДКВР, КВ-ТС с паропроизводительностью до 20 т/ч. Удельный вес современных котлов типа ДКВ, ДКВР в отрасли составляет 25%, вместе с тем они обеспечивают 54% вырабатываемого пара. Наличие большого количества мелких и устаревших котлоагрегатов определяет низкую степень оснащения котельных устройствами санитарной очистки дымовых газов.

Количество вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании топлива, определяется маркой сжигаемого угля (зольностью, содержанием серы и азота) и типом топочного устройства. Химический и минералогический состав золы некоторых видов топлива приведен в табл.5.

Характеристика уноса при различных способах сжигания топлива приведена в табл.6 и 7. Дисперсный состав золы в дымовых газах значительно зависит от вида топлива, метода его сжигания, конструкции топки и форсировки режима горения.

Характеристика вредных выбросов в атмосферу от плавильных агрегатов

Дуговые электропечи

Технологический процесс выплавки стали в электродуговых сталеплавильных печах сопровождается обильными выделениями насыщенных пылью газов. Часто дуговые печи работают с применением кислорода, что увеличивает запыленность выделяющихся газов. Химический состав газов резко меняется в зависимости

Таблица 5

Химический и минералогический состав золы углей, %

Уголь	Химический состав							Минералогический состав			
	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	CaO	MgO	SO_3	R_2O прочие	глина	SiO_2 свобод-ная	колче-даны	дру-гие
Кизеловский уголь	38,8	30,7	22,7	2,4	I,3	2,0	2,I	58,0	2,9	25,I	I4
Подмосковный уголь	4I,5	36,3	I3,I	4,4	0,7	3,3	0,7	68,0	I,8	II,I	I9,I
Карагандинский уголь	53,2	3I,8	7,7	3,4	0,3	2,0	I,6	59,0	I6,2	-	24,8
Кузнецкий уголь (Араличевский район)	57,I	28,0	5,6	3,7	0,4	I,6	3,6	52,5	24,2	-	23,3
Кузнецкий уголь (Кемеровский район)	46,8	26,5	I6,I	3,8	I,0	2,8	3,0	49,7	I5,8	-	34,5
Челябинский уголь	48,7	24,2	I4,8	4,9	2,7	3,8	0,9	45,2	20,4	6,5	27,9
Донецкий уголь	46,8	22,7	I7,6	4,2	I,6	3,3	3,8	42,4	20,3	8,3	29,0

Таблица 6

Характеристика золы уноса при пылевидном сжигании угля

Уголь	Размол топлива	Запыленность ($г/м^3$)	Зола в уносе, %		Недожог в уносе, %		Дисперсный состав уноса (вес, %) при размере фракций (мкм)						
			экспериментально	по нормам	экспериментально	по нормам	10	10-20	20-40	40-60	60-100	100-200	200
Силезский $A^p = 17,8$ $W^p = 12,8$	Шахтная мельница с жалюзийной вставкой	21,9	79,2	85,0	24,6	-	21,5	32,5	32,0	6,5	3,0	3,0	1,5
То же	Шахтная мельница без вставки	-	-	-	-	-	22,0	27,0	28,0	10,0	7,0	4,0	2,0
Ленинско-Кузнецкий $A^p = 11,6$ $W^p = 9,5$	Шахтная мельница	10,5	81,5	85,0	25,2	-	5,0	8,5	21,5	17,0	20,0	23,0	5,0
Ленинско-Кузнецкий $A^p = 10,0$ $W^p = 9,5$	То же	-	83,2	85,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подмосковный $A^p = 20,0$ $W^p = 30,0$	То же	26,8	57,2	85,0	4,1	2,5	20,3	17,3	27,5	16,7	13,5	4,5	0,2

Таблица 7

Характеристика золы уноса при слоевом сжигании топлива

Топливо	Запыленность г/м³	Зола в уносе, %		Недожог в уносе, %		Дисперсный состав уноса (вес.%) при размере фракций (мкм)							
		экспериментально	по норме	экспериментально	по норме	I0	I0-20	20-40	40-60	60-I00	I00-200	200-500	500
Антрацит кусковый A^p = I3,2 W^p = 6,0	0,55	-	20,0	[illegible]	25,0	I,0	2,0	5,0	9,0	I7,0	27,0	3I,0	8,0
Антрацит кусковый с мелочью A^p = I6,0 W^p = 7,0	0,82	7,6	25,0	55,0	25,0	0,8	I,4	4,3	6,7	I3,3	I5,5	I9,0	39,0
	0,52	5,8	25,0	45,0		I,5	2,0	6,5	I0,5	2I,0	2I,0	I9,0	I8,5
Антрацит АРШ A^p = 20,0 W^p = 8,0	2,24	I0,7	30,0	54,0	25,0	9,8	6,0	I2,2	II,I	I8,0	3I,0	I2,0	0,0
	4,84	23,I											
Антрацит 33% Подмосковный 67% A^p = 20,0 W^p = I0,0	0,7I	3,8	30,0	57,0	25,0	7,5	7,5	I3,0	II,0	I6,5	25,5	I9,0	0,0

Продолжение таблицы 7

Топливо	Запыленность г/м³	Зола в уносе, %		Недожог в уносе, %		Дисперсный состав уноса (вес.%) при размере фракций (мкм)							
		экспериментально	по норме	экспериментально	по норме	I0	I0-20	20-40	40-60	60-I00	I00-200	200-500	>500
Антрацитовый штыб 85% торф I5% A^p = I8,0 W^p = I3,0	5,5	I4,8	30,0	53,0	25,0	I,0	2,0	5,5	8,5	I6,0	27,5	32,0	7,5
Подмосковный уголь A^p = 39,3 W^p = I8,0	0,82	3,I	30,0	I6,8	20,0	34,0	9,5	I4,0	II,0	I5,5	I2,0	4,0	0,0
Подмосковный уголь A^p = 24-29,0 W^p = 25-26,0	2,60	-	30,0	-	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Подмосковный уголь A^p = 23,0	4,5	22,4	30,0	-	20,0	I2,5	9,5	9,0	7,0	II,0	2I,5	25,0	4,0
Подмосковный уголь	I,0	-	30,C	56,0	20,0	0,5	0,5	2,0	5,0	28,0	I9,0	22,0	23,0

от времени, режима плавки и применяемых шихтовых материалов. По данным института ВНИПИчерметэнергоочистка в состав газов входит: 5-70% CO, 5-I5% CO_2, 0,5-5% H_2, 3-I0% O_2, остальное - N_2. Аэрозоли отходящих газов сталеплавильных печей в основном состоят из окислов железа, марганца, кремния. Одновременно с образованием пыли, состоящей из окислов металлов, выделяются и неметаллическая пыль известняка, применяемого в качестве флюса, а также пыль, образующаяся в результате нарушения огнеупорной кладки и неметаллического покрова с поверхности шихты. Химический состав пыли определяется маркой выплавляемой стали и состоит из следующих компонентов: Fe_2O_3 - 40÷60%, CaO - II÷I2%, MgO - I%, Al_2O_3 - I÷I,5%, O_2 - 4÷I0%.

Дисперсный состав пыли, выделяющейся из сталеплавильных печей, приведен в табл.8.

Таблица 8

Дисперсный состав пыли плавильных агрегатов

Фракция, мкм	Содержание, %
I÷2	73
2÷5	I3
5÷I0	7
I0÷25	6
25÷50	I

Температура газов, выделяющихся из печей, достигает I800-2000°С. Количество дымовых газов зависит от производительности электропечей, от применения кислорода, условий проведения технологического процесса и на I т садки составляет 90-I00 м³/ч при продувке ванны кислородом.

Запыленность газа зависит от качества шихты и составляет от 2 до I0 г/м³ без продувки ванны кислородом и от I4 до I00 г/м³ при продувке. Плотность пыли равна 4 г/см³. Интенсивность выбросов газа и пыли из дуговых электросталеплавильных печей приведена в табл.9 [3].

Таблица 9

Интенсивность выбросов газа и пыли из дуговых электросталеплавильных печей

Емкость печи, т	Масса садки, т	Количество технологических газов, м³/ч	Удельный выброс пыли, кг/т металла	Концентрация пыли в газах, г/м³
5	7,0	700	9,4	27
I0	II,5	II00	8,8	22

Вагранки

Количество и состав вредных выбросов при плавке чугуна в вагранке зависит от производительности вагранки, расхода топлива, свойств топлива и шихты, режима плавки, давления, дутья и других факторов.

В состав пыли вагранок, работающих на горячем дутье, наряду с механическим уносом шихты, состоящим из частиц кокса, песка, известняка, глины, входит большое количество частиц возгонного характера, в частности окислов железа. Количество газов и пыли, которое выделяется при работе вагранок, приведено в табл.I0.

Таблица I0

Количество газов и пыли, выделяющееся из вагранок различной производительности

Производительность, т/ч	Диаметр вагранки, мм	Выбросы газов, $м^3/ч$	Концентрация, $г/м^3$ ж	Интенсивность выделения, кг/ч	Удельные выбросы на I т чугуна, кг
				Пыль	
2	600	2000-2600	20	36-44	I8-22
			I3	24-28	I2-I4
3	700	2800-3600	20	54-66	I8-22
			I3	36-42	I2-I4
4	800	3600-4600	20	72-88	I8-22
			I3	48-56	I2-I4
5	900	4500-5800	20	90-II0	I8-22
			I3	60-70	I2-I4
				Окись углерода	
2	600	2000-2600	I50-200	370-480	I60-220
3	700	2800-3600	I50-200	520-670	I80-220
4	800	3600-4600	I50-200	670-870	I80-220
5	900	4500-5800	I50-200	840-I080	I80-220
				Сернистый ангидрид	
2	600	2000-2600	I,I-I,5	2,6-3,4	I,3-I,7
3	700	2800-3600	I,I-I,4	3,6-4,6	I,2-I,5
4	800	3600-4600	I,I-I,4	4,6-5,9	I,2-I,5
5	900	4500-5800	I,I-I,4	5,9-7,5	I,2-I,5

ж В числителе приведено количество пыли в колошниковых газах до искрогасителя, в знаменателе - после искрогасителя.

Дисперсный состав пыли ваграночных газов приведен в табл.II.

Таблица II

Дисперсный состав пыли ваграночных газов (вес.%)

Используемое дутьё	Размер частиц, мкм				
	0-5	5-I0	I0-I5	25-50	> 50
Горячее	I6,6	I3,3	I6,0	I3,2	40,9
Холодное	-	2,4	6,2	2I,8	69,6

Температура ваграночных газов колеблется от I00 до 600°С, в некоторых случаях доходит до 900°С. В газе содержится примерно I5+23 об.% окиси углерода, 0,6+0,8 г/м^3 сернистого ангидрида и др. компоненты. Концентрация пыли зависит от состава шихты, степени ее загрязнения и в среднем составляет I3 г/м^3. Плотность пыли - 2,5 г/см^3. Количество пылевых выбросов составляет 4,5+I8,5 кг/т плавки [9].

Схемы очистки вредных выбросов от сушильных установок углеобогатительных фабрик

Сушильные аппараты обогатительных фабрик, являющиеся источниками образования дымовых газов, представлены двумя типами: трубами-сушилками и сушильными барабанами.

На сушильных установках применяется большое количество разнотипных аппаратов для пылеулавливания. Каждый пылеуловитель имеет свои границы применения в зависимости от крупности частиц улавливаемой пыли. Применяются аппараты очистки грубой (> I00 мкм), средней (I0-I00 мкм) и тонкодисперсной (< I0 мкм) пыли.

Для улавливания грубой пыли наиболее широкое применение получили циклоны и разгрузочные камеры. Для улавливания среднедисперсной пыли применяются следующие аппараты сухой очистки газов: групповые установки циклонов, батарейные пылеуловители. Для окончательной очистки газов от тонкодисперсной пыли нашли широкое распространение мокрые пылеуловители.

Сушилки могут быть оборудованы двух- или трехступенчатыми системами пылеулавливания.

На рис.I-3 представлены схемы очистки отходящих газов от труб-сушилок, а на рис.4-6 - от барабанных сушилок.

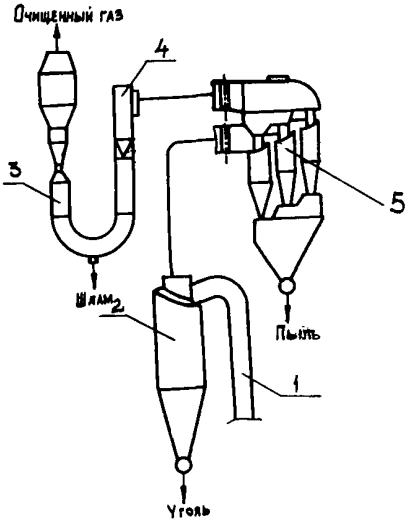


Рис.I. Схема очистки отходящих газов от трубы-сушилки:
I - труба-сушилка, 2 - разгрузочный циклон, 3 - мокрый пылеуловитель МПР, 4 - дымосос, 5 - пылеуловитель БПР

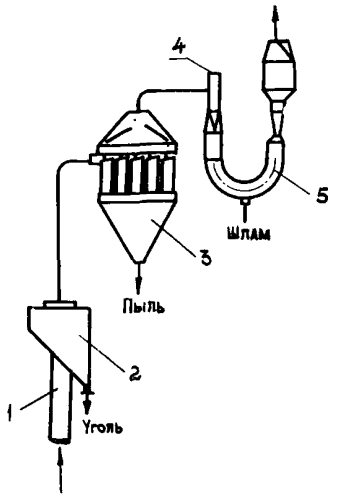


Рис.2. Схема очистки стходящих газов от трубы-сушилки:
I - труба-сушилка, 2 - разгрузочная гравитационная камера, 3 - групповой циклон, 4 - дымосос, 5 - мокрый пылеуловитель МПР

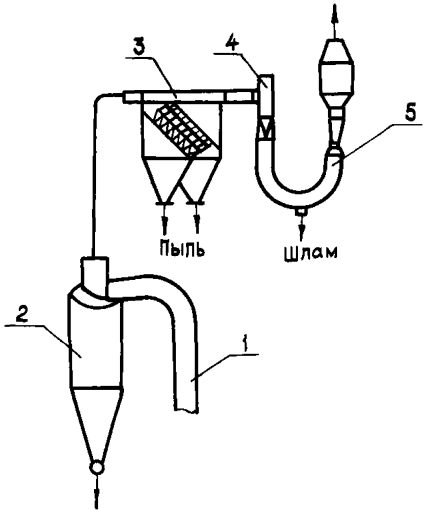


Рис.3. Схема очистки отходящих газов от трубы-сушилки:
1 - труба-сушилка, 2 - разгрузочный циклон, 3 - пылеуловитель ПБЦ, 4 - дымосос, 5 - мокрый пылеуловитель МПР

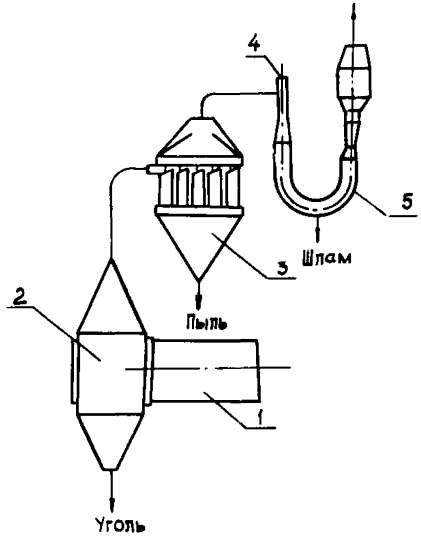


Рис.4. Схема очистки отходящих газов от барабанной сушилки:
1 - сушильный барабан, 2 - разгрузочная гравитационная камера, 3 - групповой циклон, 4 - дымосос, 5 - мокрый пылеуловитель МПР

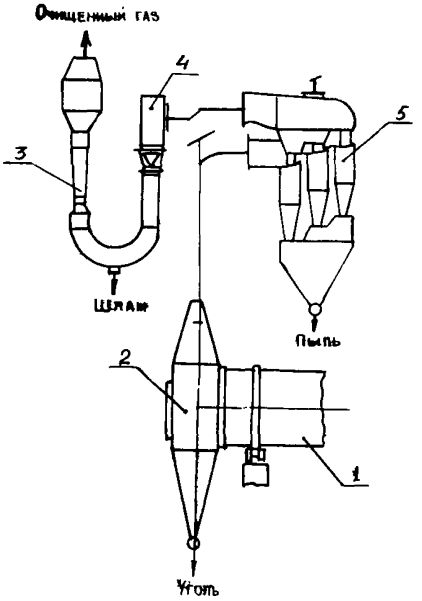


Рис.5. Схема очистки отходящих газов от барабанной сушилки:
I - сушильный барабан, 2 - разгрузочная камера, 3 - мокрый пылеуловитель МПР, 4 - дымосос, 5 - пылеуловитель БПР

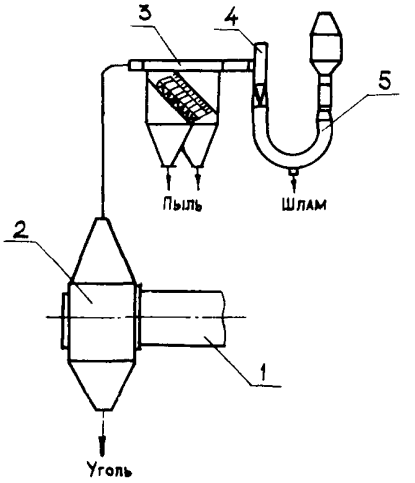


Рис.6. Схема очистки отходящих газов от барабанной сушилки:
I - сушильный барабан, 2 - разгрузочная гравитационная камера, 3 - пылеуловитель ПБЦ, 4 - дымосос, 5 - мокрый пылеуловитель МПР

На трубах-сушилках в качестве разгрузочных аппаратов используются одиночные крупногабаритные циклоны НИИОГАЗ типа ЦН-15 диаметром 2200-3000 мм, циклоны ИОТТ со скошенной крышкой, проходные сепараторы.

Проведенные испытания разгрузочных циклонов (одиночных) на трубах-сушилках обогатительных фабрик показывают, что при равных условиях эксплуатации наиболее эффективными являются крупногабаритные циклоны НИИОГАЗ типа ЦН-15. Однако с установкой этих циклонов в качестве разгрузочного устройства появляется верхнее колено трубы-сушилки, что создает дополнительное сопротивление сушильного тракта. Кроме того, при работе труб-сушилок колено и входной патрубок циклона забиваются углем.

Указанные недостатки устраняются в циклонах, разработанных институтом ИОТТ, путем увеличения скорости газового потока во входном патрубке, размещения входных патрубков под углом 40-50^0. Увеличивается длина конусной части, а также диаметр разгрузочных течек до 800-900 мм.

Применение в качестве первой ступени очистки газа проходного сепаратора в 5 раз повышает унос в мокрую ступень очистки по сравнению с разгрузочным циклоном. Однако проходные сепараторы гораздо проще циклонов, обладают меньшим сопротивлением и износом, отличаются более надежной работой, менее сложны в эксплуатации и удобно компонуются с эффективными батарейными циклонными пылеуловителями.

Анализ работы разгрузочных аппаратов показывает, что запыленность газов на выходе из циклонов составляет, в среднем, 30 г/м^3.

На барабанных сушилках в качестве разгрузочных аппаратов применяются, как правило, гравитационные разгрузочные камеры, которые изготовляются прямоугольной, трапециевидной и круглой формы. Камеры применяются на барабанных сушилках диаметром 2,8-3,5 м. В целях повышения эффективности осаждения угольной пыли и снижения вихревых потоков целесообразно применять разгрузочные камеры прямоугольного сечения с плавным сужением их верхней части. Такая конструкция камеры позволяет значительно увеличить время пребывания частиц угля в камере и создать условия для лучшего осаждения угольной пыли.

Средняя концентрация пыли в газах, поступающих в систему пылеулавливания из барабанных сушилок после разгрузочных камер, составляет 20-30 г/м^3.

Для второй ступени очистки газов, отходящих от барабанных сушилок и труб-сушилок, рекомендуются пылеуловители типов ПБЦ и БЦУ-М. Применяются также пылеуловители более ранних конструкций типов БПР, но они имеют более низкий КПД.

В качестве аппаратов санитарной очистки газов на сушильных установках в третьей ступени очистки можно рекомендовать мокрые пылеуловители типов МПР производительностью 75-100 тыс.$м^3$/ч, которые примерно вдвое меньше уносят пыли в атмосферу по сравнению с ранее применяемыми аппаратами МП-ВТИ или ПМ [I].

Аппараты типа МПР в настоящее время внедрены в промышленность, успешно эксплуатируются, показали высокую надежность в работе и позволяют обеспечить санитарные нормы очистки газов. Поэтому, несмотря на повышенные гидравлические потери в аппарате МПР по сравнению с аппаратами МП-ВТИ и ПМ, в качестве третьей ступени очистки газов следует устанавливать его.

Устройство и технические характеристики пылеуловителей, используемых на всех ступенях очистки газов сушильных установок обогатительных фабрик, приведены во второй части настоящих технических описаний.

Методика расчета схем пылеулавливания приведена в "Рекомендациях по расчету сушильных установок для проектируемых обогатительных фабрик" (М., 1975).

Схемы очистки дымовых газов котельных агрегатов

Малые котельные с вертикальными котлами

Малые котельные с вертикальными паровыми котлами оборудованы котлами типов ВГД, ММЗ, ТМЗ и др. паропроизводительностью 0,4÷1,0 т/ч.

При слоевом сжигании топлива фракционный состав уносимой пыли примерно на 98% состоит из частиц размером более 10 мкм.

Учитывая высокую температуру отходящих газов (300÷400°С) и характер пыли, для рассматриваемых котельных целесообразно применять золоуловители с малым коэффициентом гидравлического сопротивления, способные эффективно работать на естественной тяге, создаваемой дымовой трубой вследствие значительной разницы температур дымового газа и окружающего

воздуха. Указанным условиям очистки газов удовлетворяют и могут быть рекомендованы в качестве золоуловителей циклоны НИИОГАЗ типа ЦН. Применение этих циклонов, имеющих малое гидравлическое сопротивление, в некоторых случаях исключает установку дымососа, упрощает схему и не требует больших эксплуатационных и капитальных затрат. При этом степень очистки дымовых газов циклонами типов ЦН при слоевом сжигании топлива составляет 75-85%.

В отопительно-производственной котельной, оборудованной несколькими вертикальными паровыми котлами, на каждый котел устанавливается один или два циклона непосредственно около дымовой трубы. Предпочтительней установка двух циклонов меньшего диаметра, что повышает эффективность и снижает высоту установки. Циклоны могут быть расположены внутри или вне здания котельной. Пример схемы очистки газов от котла ВГД с использованием циклонов типа ЦН приведен на рис.7.

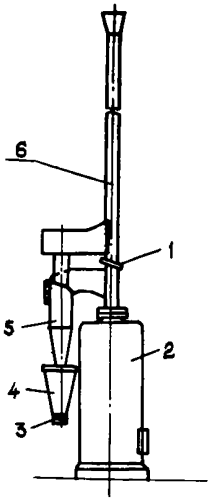


Рис.7. Схема компоновки циклона с вертикальным котлом: 1 - шибер трубы, 2 - котел, 3 - разгрузочное устройство, 4 - бункер, 5 - циклон, 6 - дымовая труба

По схеме дымовые газы из котла проходят нижнюю часть дымовой трубы до шибера и поступают в циклоны. Очищенные дымовые газы из циклонов возвращаются в дымовую трубу выше расположенного в ней шибера и выбрасываются естественной тягой в атмосферу. Уловленная зола накапливается в бункере, откуда периодически выгружается через разгрузочное устройство.

Устройство и технические характеристики циклонов типа ЦН приведены во второй части технических описаний.

Малые котельные с чугунными секционными котлами

Малые котельные часто бывают оборудованы водогрейными чугунными секционными котлами типов "Универсал-4", "Искитим-1", "Энергия-3" и др. с поверхностью нагрева 30-80 м^2.

Летучая зола характеризуется большим содержанием крупных фракций (> 10 мкм), что дает возможность обес-

печивать высокую степень очистки дымовых газов от золы и недожога в циклонах типа ЦН или в батарейных циклонах типа БЦ. Однако для малого объема дымовых газов (0,9-1,5 $м^3/с$), который характерен для перечисленных котлов, циклоны ЦН по сравнению с циклонами БЦ обладают преимуществом в простоте изготовления, надежности в эксплуатации, эффективности в работе и меньшем расходе металла на изготовление. Поэтому для очистки дымовых газов котельных, оборудованных чугунными секционными котлами, рекомендуются циклоны типа ЦН. При этом на каждый котел целесообразно устанавливать индивидуальную группу циклонов (обычно из двух спаренных циклонов), расположенную непосредственно за котлом. Циклоны могут находиться внутри или вне здания котельной. На рис.8 показана компоновка группы циклонов типа ЦН-15, расположенной вне котельной.

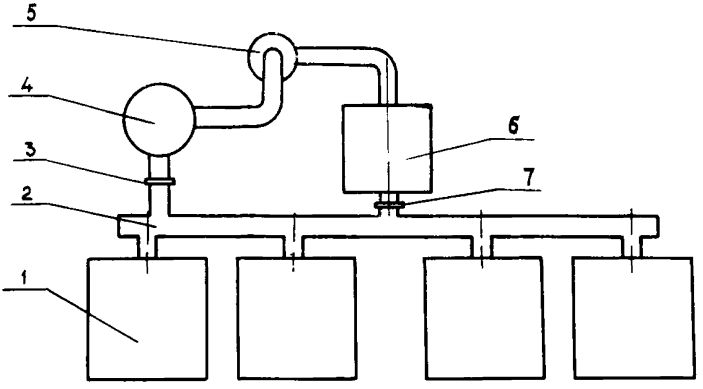


Рис.8. Схема компоновки группы циклонов вне котельной:
1 - чугунные секционные котлы, 2 - газоход,
3,7 - шиберы, 4 - дымовая труба, 5 - дымосос,
6 - группы циклонов

Так как температура дымового газа из рассматриваемых котлов составляет 250-300°С, а рекомендованный золоуловитель имеет высокое сопротивление, то для указанных котельных необходима искусственная тяга. Искусственная тяга может быть обеспечена установкой соответствующего дымососа или эжектора, расположенного в дымовой трубе, применение которого возможно при любой температуре дымового газа [10].

Котельные паропроизводительностью 2,5÷40,0 т/ч

Котельные установки паропроизводительностью 2,5÷40,0 т/ч обычно оборудованы котлами типа ДКВ, ДКВР, Шухова-Берлина и др. В последнее время на проектируемых котельных предполагается установка котлов КВ-ТС-20 и КЕ-25-14С.

Для котлов указанного типа рекомендуется установка индивидуальных золоуловителей, которые располагаются непосредственно за хвостовыми поверхностями нагрева перед дымососами. Размещение их допускается в закрытых помещениях или вне здания.

В отдельных случаях, в зависимости от местных условий или режима работы котельной, возможна установка золоуловителей на группу котлов.

При установке индивидуальных золоуловителей рекомендуется применять батарейные циклоны типа БЦ. Компоновка котельной с батарейными циклонами приведена на рис.9. Батарейные циклоны рекомендуется устанавливать к котлоагрегатам с пылевидным и со взвешенным способами сжигания топлива. При слоевом сжигании топлива, когда количество дымовых газов превышает 30 тыс.м^3/ч, устанавливаются батарейные циклоны.

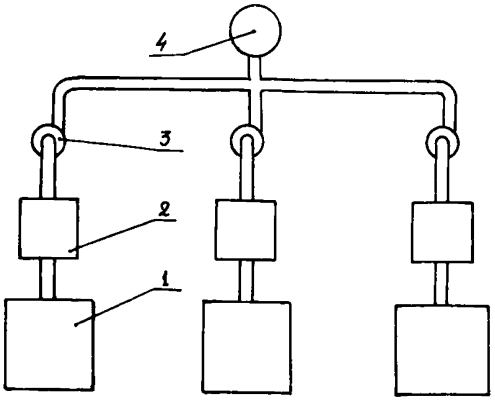


Рис.9. Схема компоновки котельной с батарейными циклонами:
1 - котел, 2 - батарейный циклон,
3 - дымосос, 4 - дымовая труба

Гидравлическое сопротивление батарейных циклонов при номинальном режиме работы составляет 45-60 кг/м^2. Степень очистки дымового газа зависит от дисперсного состава улавливаемой золы и при слоевом сжигании она составляет 85-92%, а при пылевидном-83-90%.

Золоуловители БЦ состоят из двух секций, одна из которых при необходимости может быть отключена.

Для всех вышеперечисленных котлов паропроизводительностью 2,5-25 т/ч в качестве аппарата пылеулавливания может быть рекомендован также батарейный циклон БЦУ-М, имеющий большой диапазон производительности по газу [II]. При выборе золоуловителя следует иметь в виду, что при высокой эффективности очистки батарейный циклон БЦУ-М имеет аэродинамическое сопротивление вдвое больше, чем циклон БЦ.

Рекомендуемые типы сухих золоуловителей для котлов приведены в табл.I2 [I2]. Устройство батарейных циклонов БЦ и БЦУ-М, а также их технические характеристики приведены во второй части технических описаний.

Схемы очистки дымовых газов плавильных агрегатов

Электродуговые сталеплавильные печи

Процесс выплавки стали в электродуговых сталеплавильных печах сопровождается выделением насыщенных пылью горючих газов. Разработка специальных устройств для эффективного отсоса газов затрудняется сложностью оборудования электродуговых сталелитейных печей (наличие движущихся частей при подъеме и опускании электродов, подъем и поворот свода, наклон печи), а также тем, что отсос не должен влиять на технологический процесс плавки стали.

Огромные объемы перемещаемого воздуха и, вместе с тем, низкий эффект аэрации заставляют искать новые решения проблемы вентиляции электродуговых печей. Таким решением является применение местных отсосов в виде зонтов и колпаков над печами или отсосов из внутреннего объема печи.

Зонты и колпаки должны закрывать всю печь и не мешать обслуживанию. Обычно зонты применяют на печах емкостью до I,5 т.

На печах большей емкости зонты не обеспечивают нормальной вытяжки газов, они не выдерживают вихревых токов вокруг электродов и быстро прогорают, поэтому их приходится часто ремонтировать.

На более крупных печах рационально, хотя технически несколько сложно, удалять дымовые газы непосредственно из внутреннего объема электродуговой сталеплавильной печи системой отсосов.

Таблица I2

Рекомендуемые типы сухих золоуловителей для котлов малой производительности

Номинальная паропроизводительность котла, т/ч	Типоразмер золоуловителей	
	Блок циклонов НИИОГАЗ	Батарейный циклон
0,4	Один циклон 400	-
	Два циклона 400	
0,8	Два циклона 400	-
	Два циклона 450	
I,0	Два циклона 450	-
	Два циклона 500	
2,5	ЦН	БЦУ-I6М
	ЦН-2х2х450	
4,0	ЦН	БЦУ-I6М, БЦУ-20М, БЦУ-25М
	ЦН-2х2х550	
6,5	ЦН	БЦ-2-4х(3+2)
	ЦН-3х2х550	БЦ-2-5х(3+2)
	ЦН-3х2х600	БЦУ-25М, БЦУ-30М, БЦУ-42М
I0,0	ЦН	БЦ-2-5х(4+2), БЦУ-42М,
	ЦН-3х2х700	БЦ-2-6х(4+2), БЦУ-49М
I5,0	ЦН	БЦ-2-5х(4+3)
	ЦН-4х2х700	БЦ-2-6х(4+3), БЦУ-49М
20,0	ЦН	БЦ-2-6х(5+3), БЦ-2-7х(5+3), БЦУ-64М, БЦУ-8IМ
25,0		БЦ-2-7х(5+3), БЦУ-8IМ
Чугунные секционные производительностью до 0,2 Гкал/ч	Один циклон 400 450	-
	Два циклона 400 450	
Чугунные секционные производительностью больше 0,2 Гкал/ч	Два циклона 450	
	Два циклона 500	
Водогрейные производительностью 20 Гкал/ч (КВ-ТС-20)	-	2 циклона БЦ-2-6х(4+3) БЦУ-I00М

Выходящие из печи газы являются взрывоопасными, так как концентрация CO в них находится в пределах взрываемости при смешении с воздухом. Поэтому нужно предусматривать устройства для дожигания CO. Из рабочего пространства печи вместе с газами выносится большое количество пыли (до 50 г/нм^3).

Для очистки газов от пыли перед выбросом в атмосферу применяют следующие типы пылеуловителей:

- мокрые скрубберы (с трубой Вентури в качестве коагулятора), мокрые пылеуловители типа "Ротоклон";
- рукавные (ленточные) фильтры.

В одной установке возможна комбинация этих пылеуловителей. Сухое улавливание пыли допускает более простое схемное решение, так как отпадает необходимость в устройстве для последующей обработки шламов. Стоимость установки для сухого улавливания пыли ниже, чем для мокрого.

В основном очистка дымовых газов от сталеплавильных печей выполняется по следующим схемам [13]:

- с водяным охлаждением и мокрой очисткой;
- с воздушным охлаждением и мокрой очисткой;
- с воздушным охлаждением и сухой очисткой.

Выбор схемы в каждом случае определяется в зависимости от емкости печи, места расположения и технических возможностей объекта.

Для печей, емкостью 5 т и более, рекомендуется схема с разрывом струи, водяным охлаждением и мокрой очисткой в трубе Вентури с каплеуловителем. Схема представлена на рис.10.

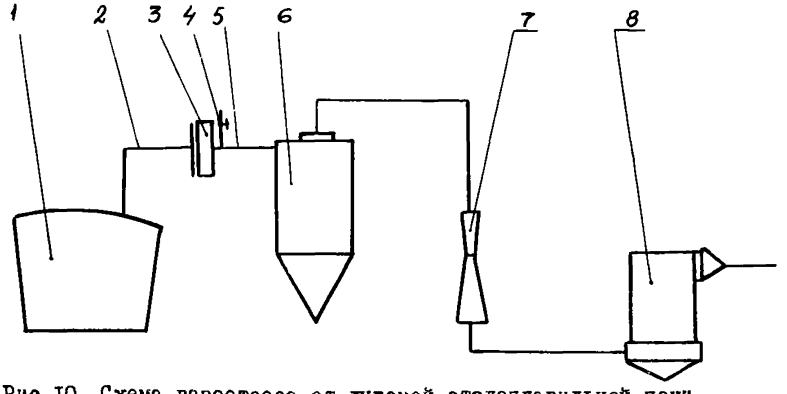


Рис.10. Схема газоотсоса от дуговой сталеплавильной печи с водяным охлаждением и мокрой очисткой:
1 - электропечь, 2 - газоотводящий патрубок, 3 - регулировочная муфта, 4 - регулируемый подсос, 5 - водоохлаждаемый патрубок, 6 - скруббер, 7 - труба Вентури, 8 - каплеуловитель

Большое количество газов, выбивающихся из печи и требующих очистки перед выбросом в атмосферу, вызывает необходимость уменьшения их объема за счет охлаждения в скруббере с целью уменьшения энергозатрат на газоочистку.

Как положительный фактор в этой схеме необходимо отметить то, что скруббер, являясь охладительным элементом, вместе с тем выполняет функции очистного сооружения. Примерно около 40% крупных частиц пыли выпадает в скруббере и удаляется в шламовую канализацию.

Уменьшение объема газа, идущего на газоочистку, сокращает размеры площадей, отводимых для них и упрощает эксплуатацию.

Газы отбираются из печи I через специальное четвертое отверстие в своде. Месторасположение отверстия выбрано в непосредственной близости от рабочего окна и таким образом, чтобы газоотводящий патрубок 2 мог опираться на конструкцию портала. Над отверстием в печи установлена муфта 3 со свободным ходом для газоотводящего патрубка в случае подъема свода печи. Для дожигания CO, входящего в состав газа, из атмосферы цеха подмешивается воздух через регулируемый подсос 4. В водоохлаждающем патрубке 5 происходит дожигание CO. Фактором, определяющим скорость, полноту сгорания газа и длину факела, является интенсивность и полнота перемешивания газа с воздухом. Водоохлаждающий патрубок выполнен с двойными стенками, между которыми циркулирует вода. В непосредственной близости от печи установлена камера охлаждения газов - скруббер 6. В скруббере, установленном неподвижно, газы промываются водой, распыляемой через форсунки. Вода частично испаряется, охлаждая и увлажняя газы. Неиспарившаяся вода вместе с уловленной пылью сливается в шламовый отстойник и канализацию. Затем охлажденные и увлажненные газы поступают в трубу Вентури 7, где благодаря высокой скорости газа происходит коагуляция мельчайших частиц пыли, улавливаемой в каплеуловителе 8. За каплеуловителем устанавливается побудитель тяги (турбовоздуходувка или дымосос), после которого газы выбрасываются в атмосферу. Для уплотнения зазоров между электродами и сводом, с целью предотвращения выбивания газов через неплотности, установлены воздушные манжеты.

Для дуговых сталеплавильных печей емкостью 3 т и более

может быть применена система очистки дымовых газов с дожиганием CO, воздушным охлаждением и мокрой очисткой. Схема представлена на рис.II.

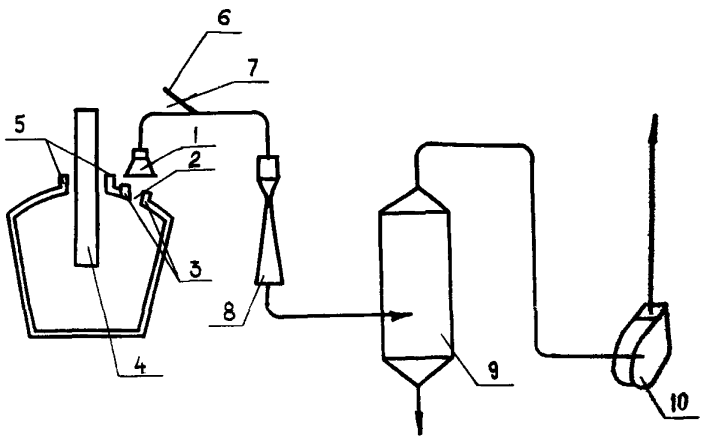


Рис.II. Схема газоотсоса дуговой сталеплавильной печи с воздушным охлаждением и мокрой очисткой:
I - подвижной зонт, 2 - свод печи, 3 - экономайзер, 4 - электроды, 5 - воздушные манжеты, 6 - регулируемый подсос с шибером, 7 - газоотводящий патрубок, 8 - труба Вентури, 9 - каплеуловитель, IO - побудитель тяги

Газы отбираются из печи через специальное четвертое отверстие в своде 2. Местоположение отверстия выбрано в непосредственной близости от рабочего окна печи таким образом, чтобы газоотводящий патрубок мог опираться на конструкцию портала. По краям отверстия на своде установлен экономайзер 3, аналогичный экономайзерам у электродов. Над экономайзером находится подвижной зонт I, свободно передвигающийся по газоотводящему патрубку 7, что обеспечивает регулирование количества отходящих газов из печи и необходимые повороты ее свода. Между экономайзером и зонтом газоотводящего патрубка имеется разрыв, через который поступает воздух из цеха для дожигания CO и H_2 в отходящих газах. Дожигание происходит в газоотводящем патрубке. Подсос воздуха, необходимого для охлаждения газов до 400°C, осуществляется через регулируемый подсос 6 с шибером, врезанным в газоход после

зоны дожигания. Количество подсасываемого воздуха регулируется шибером. С целью предупреждения прорыва газов через отверстие для прохода электродов 4 предусмотрены воздушные манжеты 5, изготовленные в форме кольца из труб диаметром 25-32 мм. На внутренней стороне кольца для выпуска сжатого воздуха просверлены отверстия диаметром 3 мм. К каждой манжете подается сжатый воздух, который отсекает выход газов через щели между отверстиями в своде 2 и электродами.

Очистка воздуха осуществляется трубой Вентури 8, где происходит предварительная коагуляция частиц пыли размером 30 мкм и более с последующим их отделением в циклоне - каплеуловителе 9. В качестве побудителей тяги IO могут быть использованы турбовоздуходувки и вентиляторы высокого давления Весь газоход до патрубка рекомендуется выполнять из жаропрочной стали [I4] .

Для электродуговых сталеплавильных печей, емкостью 3÷5 т в последнее время все больше находит применение схема с сухим улавливанием пыли. Такая схема приведена на рис.I2. При

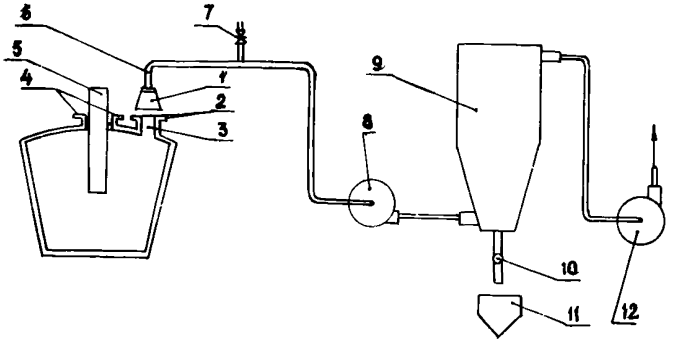


Рис.I2. Схема газоотсоса дуговой сталеплавильной печи с воздушным охлаждением и сухой очисткой: I - подвижной зонт, 2 - экономайзер, 3 - свод печи, 4 - воздушные манжеты, 5 - электрод, 6 - газоотводящий патрубок, 7 - регулировочный подсос, 8 - вентилятор, 9 - рукавный фильтр, IO - шлюзовый затвор, II - бункер-накопитель, I2 - вентилятор

сухом улавливании пыли (рукавными фильтрами) схема упрощается и удешевляется по сравнению со схемой установки с мокрой очисткой отходящих газов. Это объясняется тем, что отпадает

необходимость в подводе воды и в качестве побудителя тяги используются центробежные вентиляторы, потребляющие меньше электроэнергии, чем при мокром улавливании пыли.

Газы отбираются из печи через специальное четвертое отверстие в своде 3. Местоположение отверстия выбирается в непосредственной близости от рабочего окна печи таким образом, чтобы газоотводящий патрубок опирался на конструкцию портала печи.

По краям отверстия на своде установлен экономайзер 2, аналогичный экономайзерам у электродов 5. Над экономайзером находится подвижной зонт I, свободно перемещающийся по газоотводящему патрубку 6. Между экономайзером и подвижным зонтом имеется разрыв, через который поступает воздух из цеха для дожигания CO и H_2 в отходящих газах. Дожигание происходит в газоотводящем патрубке. Подсос воздуха, необходимый для охлаждения газов до 80-I20^{0}C, осуществляется через регулировочный подсос 7 с шибером, врезанным в газоход после зоны дожигания. Количество подсасываемого воздуха регулируется шибером. С целью предупреждения прорыва газа через отверстия для прохода электродов предусмотрены воздушные манжеты 4.

Охлажденный газ вентилятором 8 подается для очистки в рукавный фильтр 9, откуда вентилятором I2 через выхлопную трубу выбрасывается в атмосферу. Пыль, уловленная фильтром, отводится шнеком через шлюзовой затвор I0 в бункер-накопитель II [I3].

В качестве рукавных фильтров для очистки газов могут быть установлены фильтры типа РФГ, ФРКИ, которые могут быть оснащены фильтровальной тканью лавсан арт.I36 с температуростойкостью I40^{0}C (допускаемые кратковременные превышения температуры I60+I80^{0}C). Регенерация фильтров осуществляется путем посекционного отряхивания рукавов с продувкой их обратным потоком воздуха при отключении регенерируемой секции от сборного коллектора чистого воздуха.

Вагранки

Сухой способ очистки

Сухой способ улавливания частиц ваграночной пыли основан на инерционном осаждении их в пылеуловителе путем изменения направления движения газов, уменьшения скорости их дви-

жения, создания искусственных препятствий и т.д. При этом способе очистки имеется возможность уловить лишь частицы размером 200 мкм и более, что часто не удовлетворяет требованиям санитарных норм. Однако из-за простоты сооружения на практике часто применяют различные конструкции сухих пылеуловителей.

На заводе "Красный Октябрь" (г.Волгоград)применена схема очистки ваграночных газов, изображенная на рис.I3. Запыленные газы при выходе из вагранки 7 резко изменяют своё направление движения и проходят через камеру 4, где частицы пыли, потеряв скорость, выпадают в бункер 6. Затем газы направляются по газоходу 3 и, изменив направление, попадают в камеру I, в которой также происходит осаждение пыли. Из камеры I газы направляются в искрогаситель 2, где за счет снижения скорости движения происходит дополнительное осаждение часть . Осевшая пыль из бункера и искрогасителя удаляется соответственно через пылепроводы 8 и 5. Иногда с целью повышения эффективности очистки в верхней части искрогасителя устанавливают уголковый пылеуловитель.

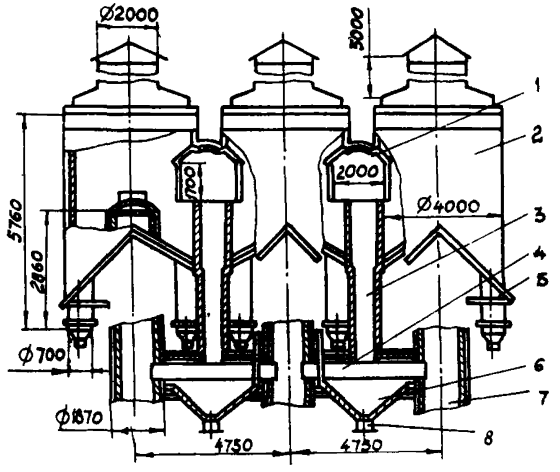


Рис.I3. Схема очистки ваграночных газов от пыли в камерах осаждения

Описанная схема улавливания ваграночной пыли проста в эксплуатации, но не дает возможности уловить мелкие частицы. Гидравлическое сопротивление системы незначительно и равно 4 мм вод.ст., поэтому оно преодолевается имеющейся тягой в вытяжной трубе вагранки.

Харьковским институтом Гипротракторсельхозмаш для Липецкого тракторного завода разработана двухступенчатая схема обеспыливания с применением сухой очистки и пенного аппарата (рис.I4). Ваграночные газы из вагранки I по газоходу 2

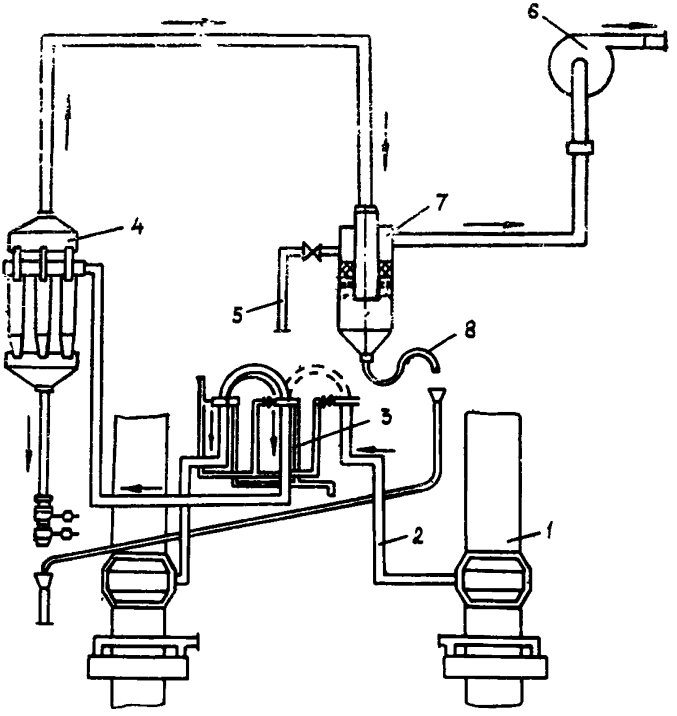


Рис.I4. Схема двухступенчатой очистки ваграночных газов

подаются на предварительное охлаждение в теплообменники 3, а затем направляются в первую ступень очистки 4, которая состоит из группы циклонов типа ЦН-I5. Здесь осаждается грубая пыль. После предварительной очистки в циклонах газы направляются в пенный аппарат 7, в котором они промываются от мелкой пыли. Затем очищенные газы вытяжным вентилятором 6 выбрасываются в атмосферу. Загрязненная вода из пенного аппарата удаляется по трубопроводу 8. Чистая вода подается в пенный аппарат по трубопроводу 5.

Такая схема очистки обеспечивает достаточно высокую очистку газов, но сложна в эксплуатации [9].

Мокрый способ очистки

Для очистки ваграночных газов от пыли все более широкое применение находит мокрый способ очистки, как наиболее эффективный и не требующий больших капитальных затрат. При этом способе исключается такая операция, как сбор уловленной пыли и ее транспортировка.

Мокрый способ очистки основан на принципе улавливания частиц пыли распыленной жидкостью. Капли жидкости, соприкасаясь с твердыми частицами, уносят их из газового потока. Загрязненная жидкость уходит в канализационную сеть или используется для вторичного распыления с предварительным осаждением твердых частиц.

Мокрые пылеуловители, так же как и сухие, отличаются по конструкции и принципу действия. Горьковским автозаводом разработан искрогаситель с орошением водой отходящих запыленных газов (рис.I5).

Газы вагранки I поступают в искрогаситель 7, где орошаются распыленной водой. Частицы пыли смачиваются водой, увлекаются на дно искрогасителя, откуда смываются водой по патрубку 2 в бак-отстойник емкостью I5 м^3. В этом баке выпадает механическая взвесь, а осветленная вода сливается в ливневую канализацию.

Распыление орошающей жидкости производится одной форсункой 5, расположенной в центре искрогасителя. Диаметр отверстия форсунки равен 2 мм. Вода к распыляющей форсунке 5 подается насосами по трубопроводу 4.

Избыточное давление орошающей жидкости равно 4 ата. С целью предотвращения замерзания воды в подающем трубопроводе последний прокладывают внутри искрогасителя. Отражатель 6 предупреждает попадание воды в вагранку и одновременно служит гасителем искр. Отражатель закреплен при помощи подвесок, которые омываются водой, что предохраняет их от воздействия высокой температуры. Корпус искрогасителя выполнен из нержавеющей жаропрочной стали без внутренней футеровки. В месте наибольших температур установлен защитный пояс 3 из аналогичной стали.

На заводе Россельмаш разработан мокрый искрогаситель

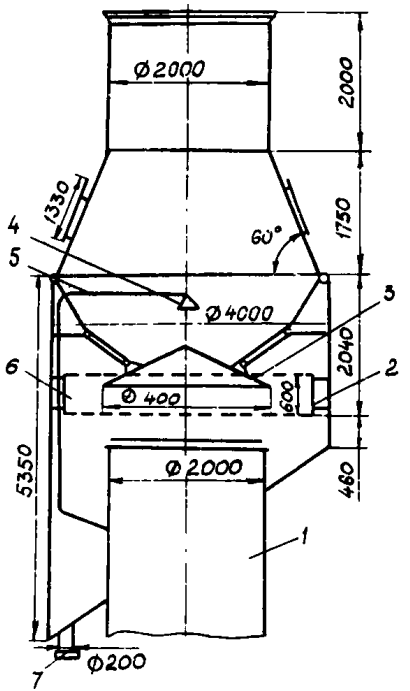


Рис.I5. Схема искрогасителя с орошением газа

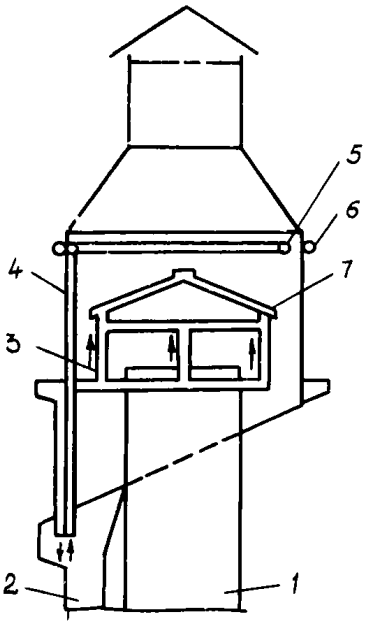


Рис.I6. Схема искрогасителя с охлаждаемыми стенками

(рис.I6) с охлаждаемыми стенками. Главным назначением такой конструкции является предохранение искрогасителя от воздействия высокой температуры, а также очистка ваграночных газов от пыли. Орошающее устройство выполнено в виде кольцевых труб 5, 6, одна из которых расположена внутри искрогасителя, а другая - снаружи. В кольцевых трубах отверстия диаметром 6 мм направлены под углом 45^0 к поверхности искрогасителя. Таким образом, внутренняя и наружная поверхности искрогасителя смачиваются пленкой воды, которая стекает по стенкам искрогасителя.

Запыленные ваграночные газы выходят из вагранки I, обтекают отражатель 7 и прижимаются к смоченной поверхности искрогасителя. Частицы пыли соприкасаются с поверхностью воды и увлекаются из потока газов. При такой конструкции орошения не все газы касаются водной поверхности, а, следовательно, и не полностью очищаются от пыли. Загрязненная вода стекает в общий приемник 2 и направляется в отстойники, где проходит тройную очистку. Осевшая пульпа из баков-отстойников удаляется при помощи скребкового конвейера.

На основе отечественного и зарубежного опыта работы мокрых искрогасителей была разработана усовершенствованная конструкция мокрого искрогасителя (рис.I7). Ваграночные газы из вагранки I попадают в корпус искрогасителя 9. Орошающее устройство 5 выполнено в виде системы форсунок 6, равномерно расположенных по сечению искрогасителя. Форсунки дают необходимую для улавливания мелких частиц степень распыления орошающей жидкости. Диаметр форсунок выбирают в зависимости от расхода жидкости. С целью предотвращения выноса капель предусмотрен простой по конструкции уголковый каплеуловитель 4, который одновременно служит и дополнительной ступенью очистки. Для предохранения стенок искрогасителя от чрезмерного теплового воздействия газов в месте обтекания ими отражателя 8 устроен защитный пояс 3. Орошающая жидкость подается по трубопроводу I0, загрязненная жидкость уходит из искрогасителя через патрубок 2 в гидроциклоны, где очищается для вторичного использования. Отражатель газов закреплен на подвесках, которые орошаются водой искрогасителями 7 и тем самым предохраняются от воздействия высокой температуры ваграночных газов.

Конструкция описанного искрогасителя с орошением выполнена из нержавеющей жароупорной стали, что значительно

увеличивает срок службы и практически устраняет простои вагранки из-за ремонта искрогасителя. Усовершенствованный искрогаситель с орошением позволяет достигнуть 96% улавливания пыли ваграночных газов.

Мокрые искрогасители являются наиболее приемлемыми для очистки ваграночных газов от пыли и должны широко внедряться в практику пылеочистки. Уловленную мокрым способом пыль в виде шлама можно удалять с помощью шламовых насосов на поля орошения или вывозить автомашинами в герметичной таре в отвалы.

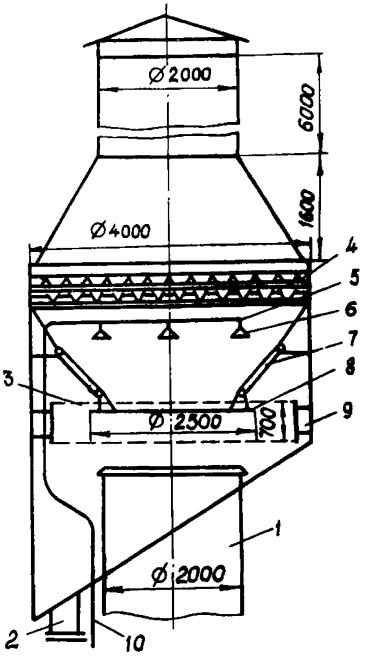


Рис.17. Схема искрогасителя ВИИГХа

В последнее время находят широкое применение закрытые вагранки с системой очистки ваграночных газов от пыли и окиси углерода. На рис.18 показана закрытая вагранка конструкции "Гипростанок". Газы из вагранки I поступают в камеру охлаждения 2, а затем направляются на очистку в трубу Вентури 3. Затем очищенные газы проходят циклонный каплеуловитель 4, где производится осаждение капель и дополнительная очистка газов. Из каплеуловителя газы дымососом 5 направляются в рекуператор 6, где они дожигаются и одновременно отдают тепло дутьевому воздуху. Из рекуператора очищенные газы поступают в атмосферу.

Преимуществом такой схемы является достаточно высокая очистка газов. Кроме того, в рекуператор поступают очищенные от пыли газы, что предохраняет его от засорения. Недостатком является высокое гидравлическое сопротивление очистной системы.

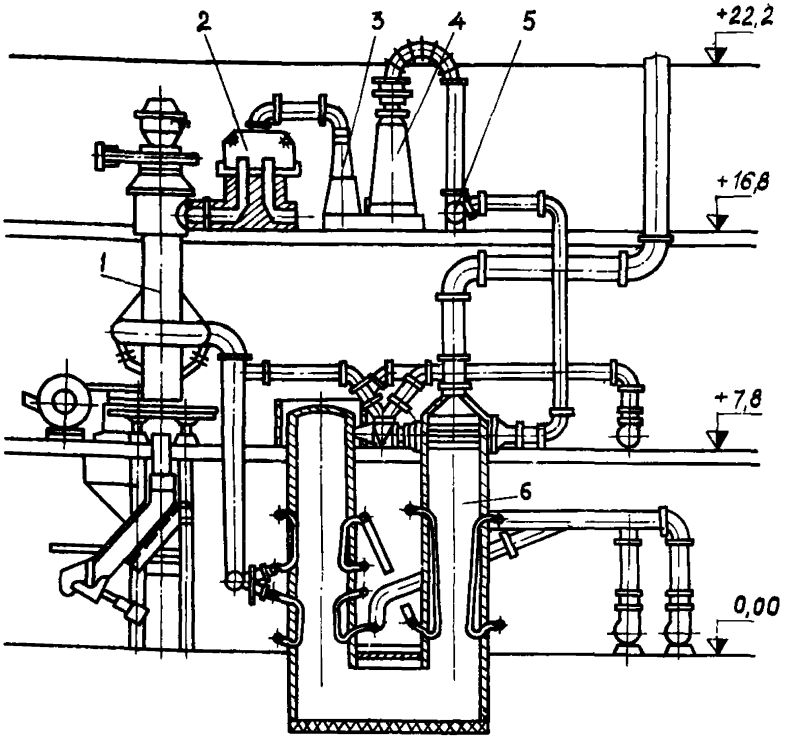


Рис.I8. Схема закрытой вагранки конструкции "Гипростанок"

Закрытые вагранки дают наиболее полную очистку отходящих газов, но для них требуются большие производственные площади. Поэтому можно рекомендовать при строительстве новых цехов применять закрытые вагранки, а в случае отсутствия площадей на действующих предприятиях следует использовать другие схемы очистки ваграночных газов [9] .

Схемы очистки газов аспирационных систем углеобогатительных фабрик

Создание нормальных условий труда на обогатительных фабриках идет по следующим направлениям:

- изыскание способов уменьшения пылеобразования;
- рациональный выбор систем вентиляции аэродинамически совершенных укрытий технологического оборудования, их хорошей герметизации;
- организация правильного воздухообмена в рабочих помещениях.

Одним из главных способов по снижению запыленности в помещении фабрик является вытяжная обеспыливающая вентиляция (аспирация), задача которой - с помощью укрытий и зонтов локализовать пылевое облако в местах пылеобразования, осадить пыль в пылеулавливающих аппаратах и выбросить чистый воздух в атмосферу.

В технологических схемах фабрик должно быть минимальное количество перегрузок. При разработке систем аспирации необходимо принять такую форму укрытия, чтобы оптимальный объем отсасываемого воздуха обеспечил равномерное разрежение под укрытием, исключающим выбивание пыли в помещение. При наименьших габаритах и весе укрытия должны иметь достаточную жесткость конструкции, высокую эффективность в работе. Укрытия должны быть легкосъемными для удобства при ремонте машин и оборудования.

При выборе схемы аспирации, комплектации ее очистными аппаратами следует исходить из компоновки оборудования и условий технологии обогащения. При проектировании необходимо предусмотреть взаимную блокировку приводов технологического оборудования и вентилятора в системе аспирации. Для очистки аспирационного воздуха с запыленностью свыше 5 г/м^3 устанавливаются 2 ступени пылеулавливающих аппаратов.

На рис.I9 представлена схема аспирационной установки обеспыливания транспортных механизмов с одной ступенью очистки в мокром циклоне СИОТ, а на рис.20 - схема установки ротоклона "Урал" в аспирационной системе на дробильно-обогатительной фабрике. В качестве пылеочистного аппарата здесь могут быть применены пылеуловители КМП, ПВМ, ЦВП или ПМ-35А.

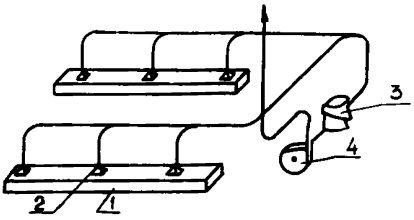


Рис.I9. Схема аспирационной установки обеспыливания транспортных механизмов с одной ступенью очистки отходящего воздуха в циклоне-промывателе СИОТ. I - укрытия конвейеров, 2 - воздухоприемники, 3 - циклон промыватель СИОТ, 4 - центробежный вентилятор

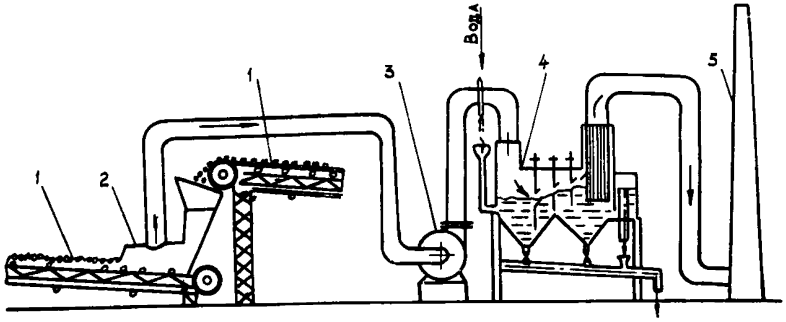


Рис.20. Схема установки ротоклона "Урал" в аспирационной системе на дробильно-обогатительной фабрике: I - транспортеры дробленого угля, 2 - укрытие, 3 - вентилятор, 4 - ротоклон "Урал", 5 - выхлопная труба

На рис.2I приведена система аспирации с двумя ступенями очистки. В качестве первой ступени установлена батарея циклонов БЦ или группа циклонов типа ЦН.

Во второй ступени установлен мокрый пылеуловитель типа МПР. В качестве второй ступени могут быть рекомендованы коагуляционный пылеуловитель КМП, мокрый пылеуловитель ПВМ. Из аппаратов сухого улавливания в качестве второй ступени можно рекомендовать рукавные фильтры типа ФРКИ, РФГ, ФВК, ФВС-45.

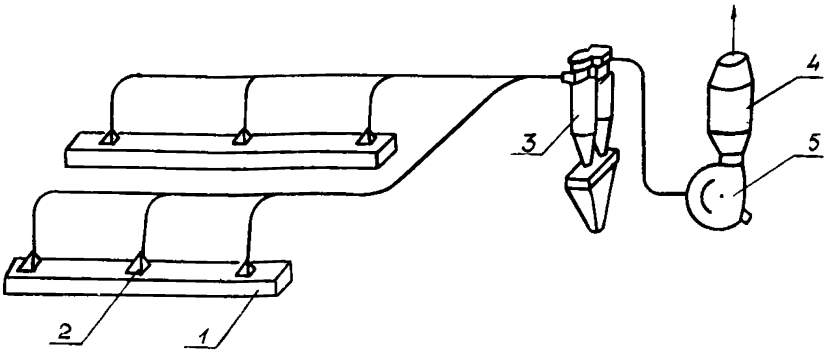


Рис.21. Схема аспирационной установки обеспыливания транспортных механизмов с двумя ступенями очистки воздуха в циклонах ЦН-15 и мокром пылеуловителе МПР
I - укрытия конвейеров, 2 - воздухоприемники, 3 - группа циклонов, 4 - мокрый пылеуловитель МПР, 5 - вентилятор

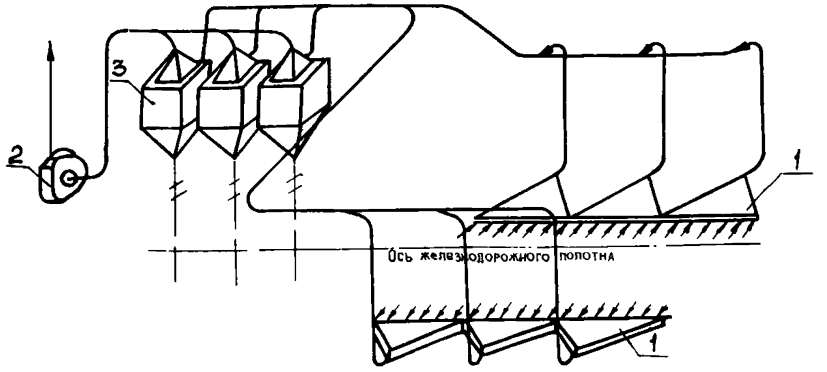


Рис.22. Схема аспирации установки вагоноопрокидывателя: I - воздухоприемники, 2 - вентилятор, 3 - батарея циклонов

На рис.22, 23 представлены схемы обеспыливания вагоноопрокидывателя и ямы привозных углей ЦОФ "Красная Звезда". В них предусмотрена только сухая ступень очистки в батарее циклонов. Для того, чтобы очистить воздух до санитарных норм, в некоторых случаях необходимо установить вторую ступень очистки типа МПР, тогда этот пылеуловитель следует поместить в отапливаемом помещении [I].

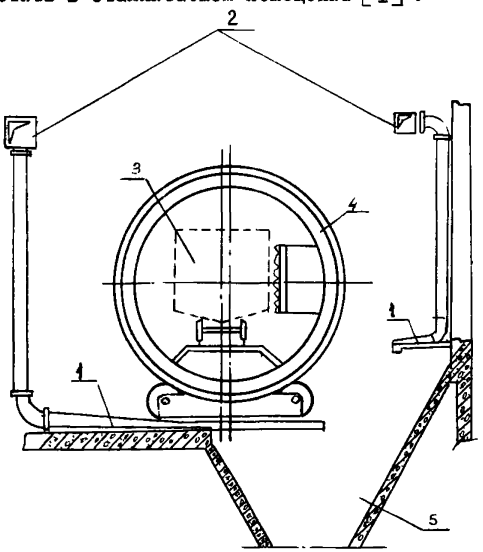


Рис.23. Схема аспирации установки вагоноопрокидывателя:
I - воздухоприемники,
2 - воздуховоды, 3 - вагон, 4 - вагоноопрокидыватель,
5 - ямы привозных углей

Расчет объемов воздуха, аспирируемого от укрытий, приведен в "Нормах технологического проектирования углеобогатительных фабрик и поверхности шахт", разработанных институтом "Южгипрошахт". Раздел - комплекс обеспыливания, вторая редакция.

Часть II

ОБОРУДОВАНИЕ

Сухие инерционные пылеуловители

Циклоны НИИОГАЗа типа ЦН

Циклоны НИИОГАЗа (ЦН) предназначены для улавливания из газов взвешенных твердых частиц. В зависимости от требований, предъявляемых к очистке газов, от свойств и дисперсного состава частиц ЦН могут применяться самостоятельно или использоваться в качестве аппаратов первой и второй ступени очистки в сочетании с другими газоочистительными аппаратами. Эффективность очистки зависит от диаметра и типа циклона. При увеличении диаметра циклона уменьшается центробежная сила, а, следовательно, и эффективность очистки [15] .

Установки ЦН могут применяться для очистки газов от нескольких сотен кубометров в час до сотен тысяч $м^3/ч$. Для очистки значительных количеств газов циклоны выбранного диаметра объединяются в группы по 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14 элементов.

Допускаемая концентрация пыли в очищаемых газах зависит от свойств пыли и диаметра циклона. При очистке газов от неслипающихся пылей в циклонах диаметром 800 мм и более ее содержание не должно превышать 2,5 $кг/м^3$; для циклонов меньшего диаметра концентрация пыли в газах должна быть меньше. При больших концентрациях пыли, а также в случае улавливания слипающейся пыли, возможно забивание пылевыпускного отверстия, что приводит к нарушению нормальной работы аппарата.

Циклоны НИИОГАЗ, предназначенные для улавливания легко взрывающихся или самовозгорающихся частиц пыли, не должны

иметь узлов, на которых происходит скопление пыли; аппараты должны быть снабжены достаточным количеством взрывных клапанов.

Циклоны НИИОГАЗ рекомендуется применять для улавливания:

- золы из дымовых газов котельных установок;
- пылевидных продуктов, уносимых из различного типа сушилок;
- зернистого катализатора в процессах каталитического крекинга;
- пыли, удаляемой после помола;
- зернистых и пылевидных продуктов, перемещающихся пневмотранспортом;
- пыли, уносимой из аппаратов, в которых протекают процессы со взвешенными в газах частицами;
- пыли, выбрасываемой вентиляционными установками.

Общий вид циклонного аппарата НИИОГАЗ и схема движения в нем газового потока показаны на рис.24. Газовый поток со взвешенными частицами (твердыми или жидкими) со сравнительно большой скоростью вводится через патрубок 10 в циклон с винтообразной крышкой 7. Огибая выхлопную трубу 6, поток в виде вращающейся нисходящей спирали направляется по цилиндрической части корпуса 5. По мере продвижения к пылевыпускному отверстию 3 часть потока под влиянием разности давлений направляется к выхлопной трубе.

Основная часть взвешенных частиц (в зависимости от крупности) по инерции отбрасывается к стенке циклона и вместе с газовым потоком движется вниз, проходя через пылевыпускное отверстие в бункер 2 циклона. В бункере завихренный поток меняет свое направление и теряет скорость, вследствие чего происходит выпадение взвешенных частиц.

Очищенные газы движутся по восходящей внутренней спирали к выхлопной трубе, через которую выводятся из циклона. Внизу к бункеру примыкает пылевой затвор 1, при помощи которого происходит удаление уловленных частиц из аппарата. Чем крупнее частицы, взвешенные в потоке, и чем интенсивнее (в известных пределах) вращательное движение, тем эффективнее очищаются газы. Наиболее мелкие частицы, имеющие малую массу, могут захватываться радиальными потоками и выноситься вместе с газами в выхлопную трубу. Для устранения вращательного движения на выходе из циклона и уменьшения гидравлических по-

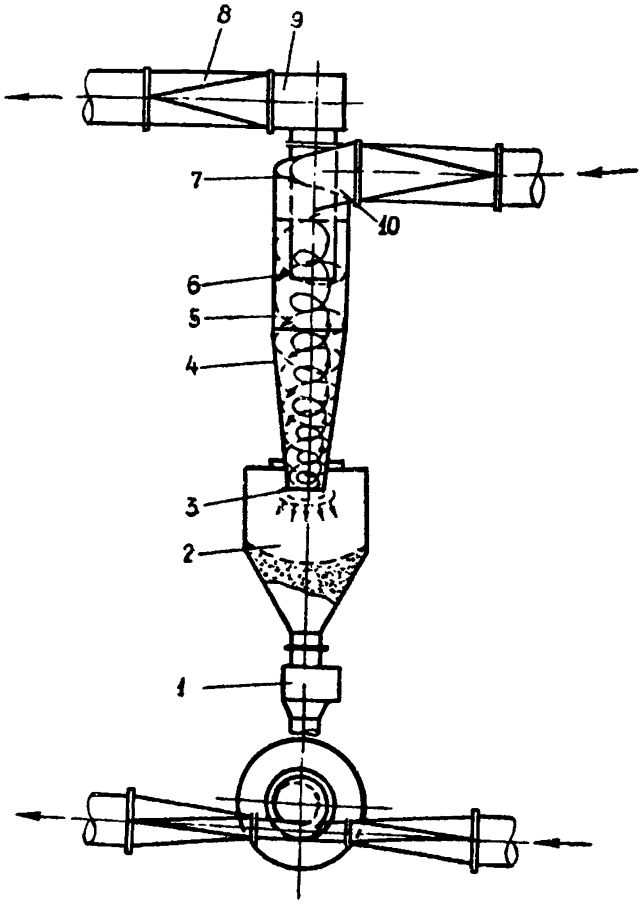


Рис.24. Циклон НИИОГАЗ (общий вид и схема движения газов):
I - пылевой затвор, 2 - бункер, 3 - пылевыпускное отверстие, 4 - корпус (коническая часть), 5 - корпус (цилиндрическая часть циклона), 6 - выхлопная труба, 7 - винтообразная крышка, 8 - газоход очищенных газов, 9 - улитка для вывода газов, IO - входной патрубок

терь иногда применяют специальные устройства. Для обеспечения максимальной эффективности очистки следует обращать внимание на герметичность пылевого затвора I. В случае возникновения подсосов скорость восходящего вихря в бункере увеличивается и усиливается вынос отсепарированных частиц пыли.

При соединении циклонов в группы с общим подводом и отводом газов и с общим бункером (рис.25) газовый поток разделяется на параллельные потоки, очищаемые в отдельных циклонах. Чтобы избежать нарушений нормальной работы вследствие перетока газов через общий бункер от одного циклонного элемента к другому, необходимо обеспечить одинаковое гидравлическое сопротивление элементов и равное распределение газов между ними.

I. Одиночные циклоны.

В зависимости от типа, циклоны ЦН имеют различные соотношения внутреннего диаметра к их длине, ширине и высоте входного патрубка, диаметру выхлопной трубы и другим определяющим размерам. В табл.I3 приведены соотношения размеров для циклонов ЦН-II, ЦН-I5, ЦН-I5У, ЦН-24. В табл.I4 приведены соотношения размеров для циклонов СДК-ЦН-33 и СК-ЦН-34. На основании этих соотношений могут быть разработаны циклоны ЦН-II, ЦН-I5, ЦН-I5У любых размеров в пределах от 200 до 2000 мм и циклоны СДК-ЦН-33, СК-ЦН-44 и ЦН-24 в пределах от 400 до 3000 мм. Согласно ГОСТу 9617-67 для циклонов приняты следующие размеры диаметров (мм): 200, 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, I000, I200, I400, I600, I800, 2000, 2400, 3000.

2. Групповые циклоны.

В групповых циклонах элементы компонуются в два ряда или имеют круговую компоновку и комплектуются в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл.I5.

В целях ограничения количества типоразмеров, сборки из циклонных элементов диаметром 300, 500, 700 мм рекомендуется по возможности не применять, а заменять их равноценными по производительности группами из циклонов других диаметров.

На рис.26-29 представлены прямоугольные компоновки циклонов из 2, 4, 6, 8 элементов. В табл.I6-I9 приведены основные размеры аппаратов. На рис.30 представлен вариант компоновки группы из 8 циклонов со ступенчатым расположением элементов. Приведенные компоновки могут быть составлены

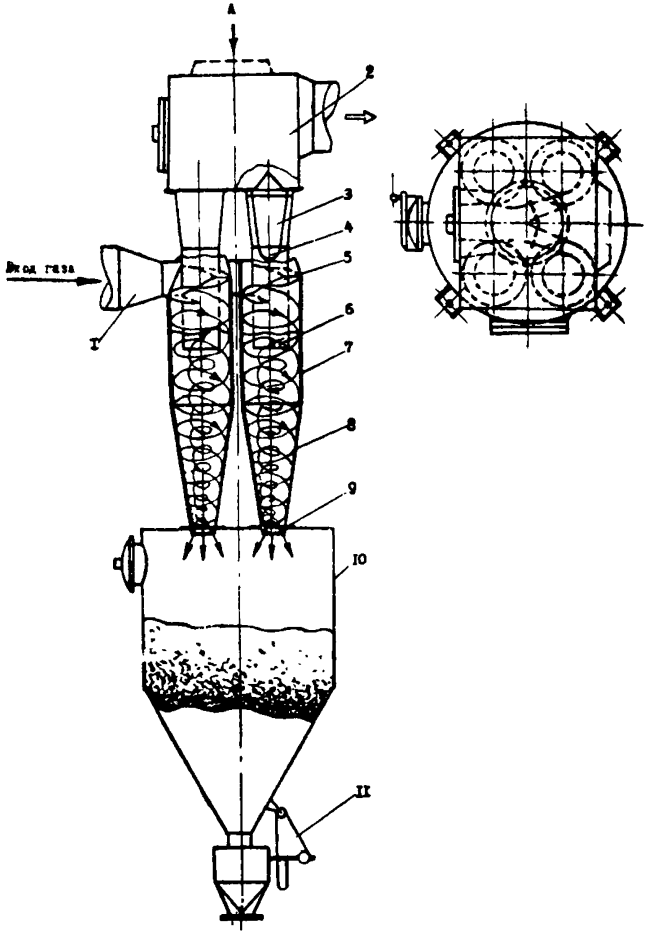
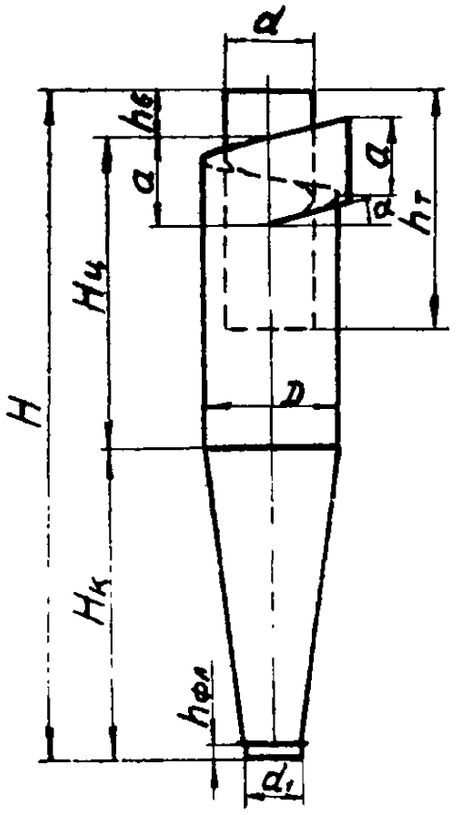


Рис. 25. Группа из четырех циклонов НИИОГАЗ (общий вид и схема движения газов):

1 — входной патрубок; *2* — камера обеспыленных газов; *3* — кольцевой диффузор; *4* — коллектор запыленных газов; *5* — винтообразная крышка; *6* — выхлопная труба; *7* — корпус (цилиндрическая часть); *8* — корпус (коническая часть); *9* — пылевыпускное отверстие; *10* — бункер; *11* — пылевой затвор



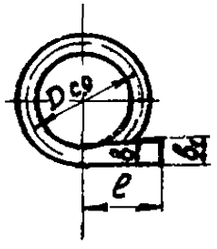


Таблица 13

Соотношение размеров в долях диаметра D для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24

Размеры		Тип циклона				Примечание
Наименование	Обозначение	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	ЦН-11	
Внутренний диаметр выхлопной трубы	d	$0{,}59D$ для всех типов				
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия	d_1	$0{,}3—0{,}4D$ для всех типов				Больший размер принимается при малых D_1 при большой запыленности
Ширина входного патрубка в циклоне (внутренний размер)	b	$0{,}2D$ для всех типов				
Ширина входного патрубка на входе (внутренний размер)	b_1	$0{,}26D$ для всех типов				
Длина входного патрубка	l	$0{,}6D$ для всех типов				
Диаметр средней линии циклона	$D_{ср}$	$0{,}8D$ для всех типов				
Высота установки фланца	$h_{фл}$	$0{,}1D$ для всех типов				
Угол наклона крышки и входного патрубка циклона	α	15°	15°	24°	11°	Угол наклона крышки циклона берется по линии $D_{ср}$
Внутренний диаметр циклона	D	—	—	—	—	
Высота входного патрубка (внутренний диаметр)	a	$0{,}66D$	$0{,}66D$	$1{,}11D$	$0{,}48D$	
Высота выхлопной трубы	$h_т$	$1{,}74D$	$1{,}5D$	$2{,}11D$	$1{,}56D$	
Высота цилиндрической части циклона	$H_ц$	$2{,}26D$	$1{,}51D$	$2{,}11D$	$2{,}06D$	
Высота конуса циклона	$H_к$	$2D$	$1{,}50D$	$1{,}75D$	$2{,}0D$	
Высота внешней части выхлопной трубы	$h_в$	$0{,}3D$	$0{,}3D$	$0{,}4D$	$0{,}3D$	
Общая высота циклона	H	$4{,}56D$	$3{,}31D$	$4{,}26D$	$4{,}38D$	

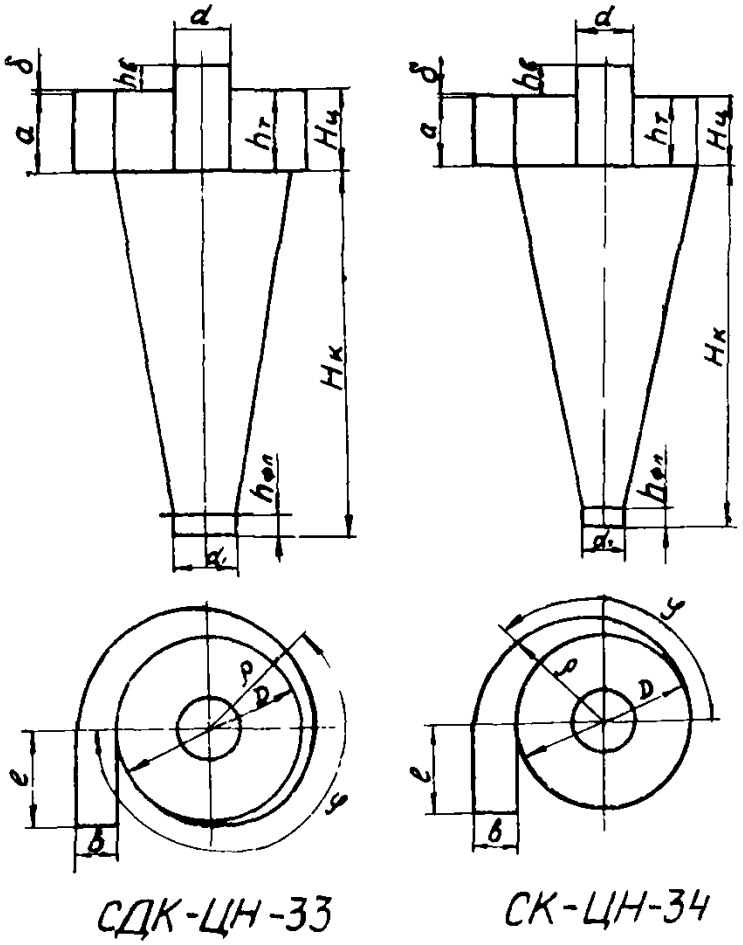


Таблица 14

Соотношение размеров в долях диаметра D для циклонов СДК-ЦН-33, СК-ЦН-34

Наименование	Обозначение	Типы циклонов	
		СДК-ЦН-33	СК-ЦН-34
Внутренний диаметр цилиндрической части	D	—	—
Высота цилиндрической части	$H_ц$	0,535D	0,515D
Высота конической части	$H_к$	3,0D	2,110D
Внутренний диаметр выхлопной трубы	d	0,334D	0,340D
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия	d_1	0,334D	0,229D
Ширина входного патрубка	b	0,264D	0,214D
Высота внешней части выхлопной трубы	$h_в$	0,2—0,3D	0,515D
Высота установки фланца	$h_{фл}$	0,1D	0,1D
Высота входного патрубка	a	0,535D	0,2—0,3D
Длина входного патрубка	l	0,6D	0,6D
Высота заглубления выхлопной трубы	$h_т$	0,535D	0,515D
Текущий радиус улитки	ρ	$\frac{D}{2} + b\frac{L}{2\pi}$	$\frac{D}{2} + b\frac{L}{\pi}$

Таблица 15

Диаметр циклона мм	Группы прямоугольной компоновки из циклонов типа ЦН-11, ЦН-15; ЦН-15У, ЦН-24				Группы круговой компоновки из циклонов типа ЦН-11; ЦН-15, ЦН-15У			Примечание
	Количество циклонов в группе							
	2	4	6	8	10	12	14	
200	●	●	●	●				
300	○	○	○	○				
400	●	●	●	●				
500	○	○	○	○				
600	●	●	●	●	●	●	●	
700	○	○	○	○				
800	●	●	●	●	●	●	●	
900	●	●	●	●				
1000	●	●	●	●	●	●	●	
1200	●	●						
1400	●	●						
1600	●	●						
1800	●	●						

● Группы, рекомендуемые для преимущественного применения

○ Группы ограниченного применения

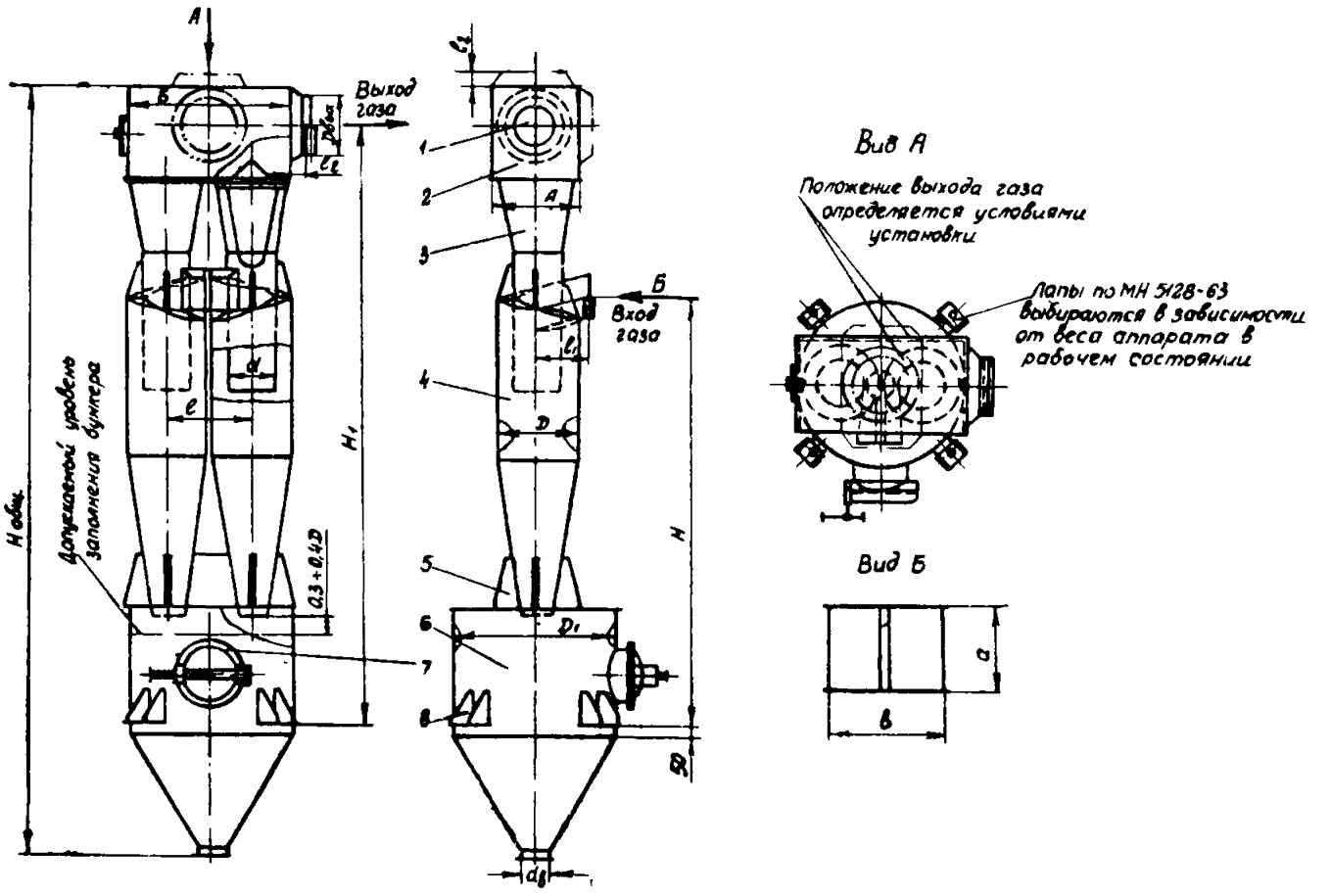


Рис 26 Групповой циклон из 2 элементов:

1 — заглушка; *2* — сборник чистого газа, *3* — кольцевой диффузор; *4* — циклон *5* — косынки; *6* — бункер; 7 — люк, *8* — лапы опорные

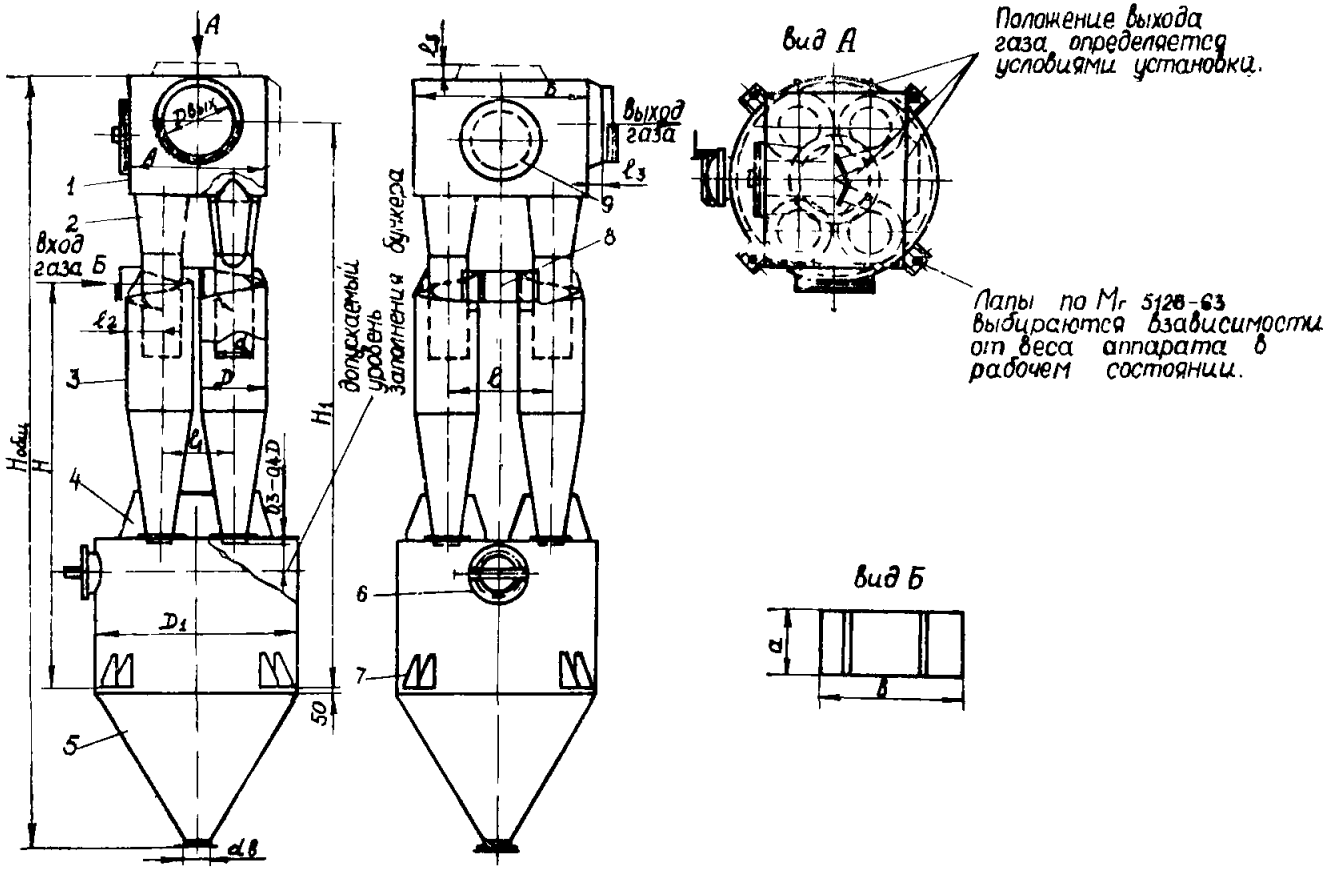


Рис 27 Групповой циклон из 4 элементов·

1 — сборник чистого газа, *2* — кольцевой диффузор циклоны, *4* — косынка, *5* — бункер, *6* — люк, *7* — лапы опорные, *8* — коллектор входя газа, *9* — заглушка

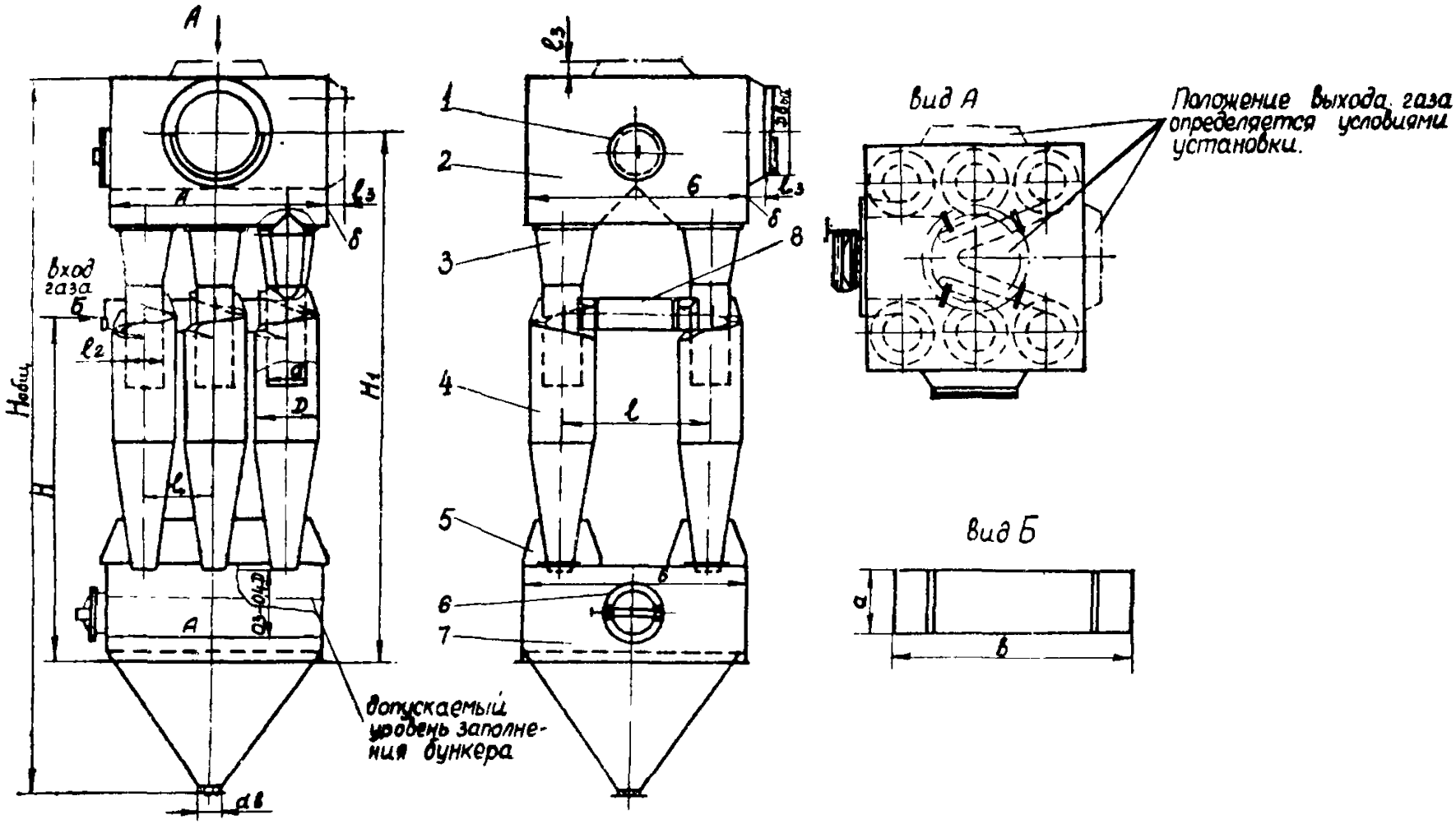


Рис 28 Групповой циклон из 6 элементов

1 — заглушка; *2* — сборник чистого газа; *3* — кольцевой диффузор; *4* — циклон; *5* — косынка — люк, *7* — бункер; *8* — коллектор входа газа

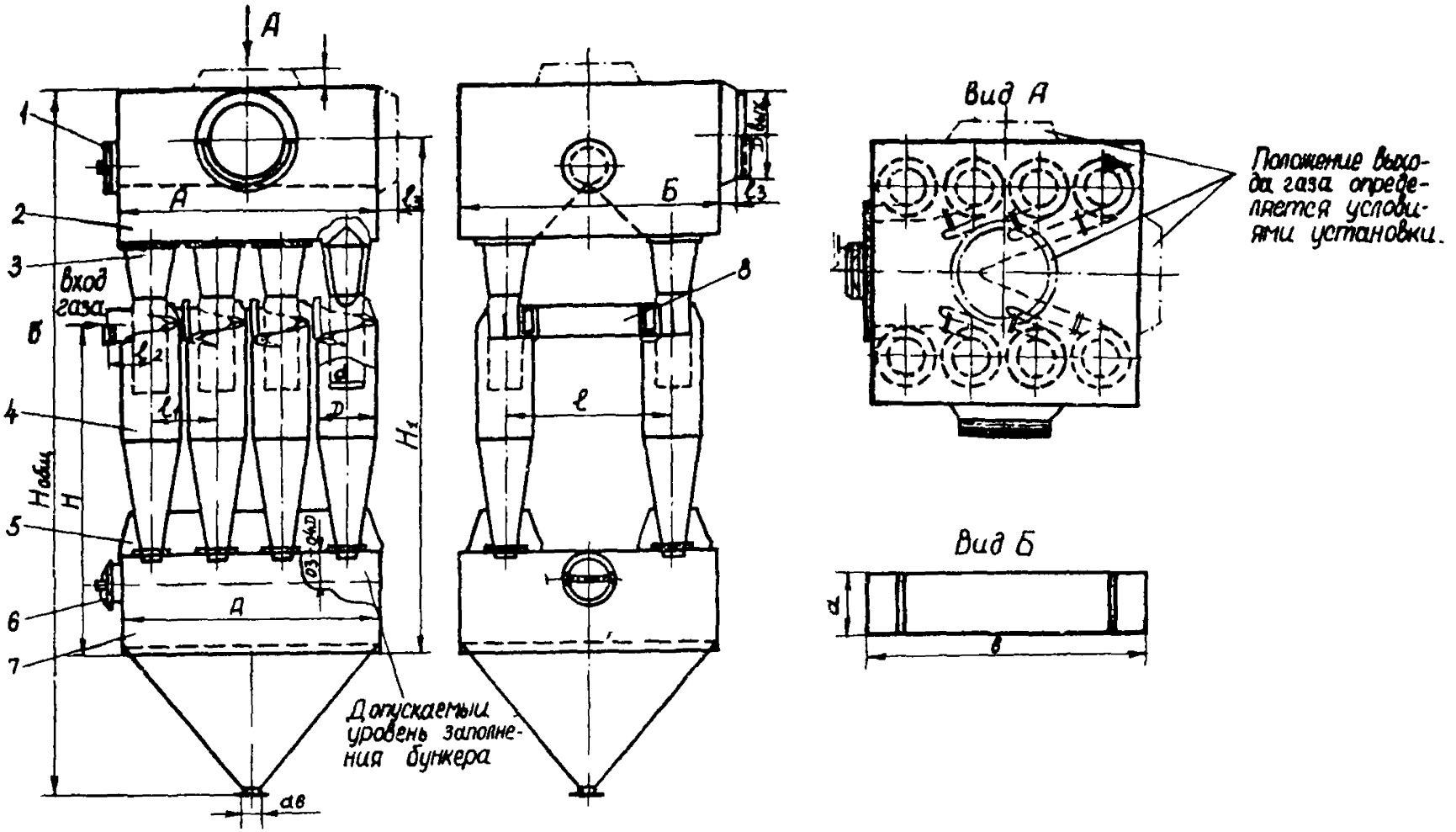


Рис. 29 Групповой циклон из 8 элементов:

1 — заглушка; *2* — сборник чистого газа; *3* — кольцевой диффузор; *4* — циклон; *5* — косынка; *6* — люк; *7* — бункер; *8* — коллектор входа газа

Таблица I6

Основные размеры группы из 2 циклонов

D	D_1	А + Б	$D_{вых}$	d	a				b	$d_в$	l	l_1	l_2	H				H_1				$H_{общ}$			
					ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24						ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	Ц	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24
200	500	240х 460	I59	I20	I32	96	-	I32	I50	220	I20	32	II56	906	II30	-	I597	I347	I560	-	2169	I920	2133	-
300	800	360х 680	245	I80	I98	I44	-	I84	200	320	I80	50	I795	I420	I756	-	2454	2079	2400	-	3250	2875	2I96	-
400	I000	480х 900	325	240	264	I92	444	236	200	420	240	65	2354	I854	2300	2I45	3226	2726	3I54	3I06	4240	3740	4I69	4I20
500	I000	500хI024	377	300	330	240	555	294	200	524	300	75	2755	2I30	2688	2496	3807	3I82	3717	3657	4850	4225	4760	4700
600	I200	600хI224	426	360	396	288	666	346	200	624	360	85	33I4	2564	3234	3003	4557	3807	4449	4377	5807	5057	5699	5627
700	I400	700хI424	530	420	462	336	777	398	300	724	420	I05	3872	2997	3779	35I0	5343	4468	52I7	5I33	6733	5858	6607	6523
800	I600	800хI624	630	480	528	384	888	450	300	824	480	I25	4432	3432	4324	40I8	6I22	5I22	5978	5882	7755	6754	76I0	75I4
900	I800	900хI824	720	540	594	432	999	502	300	924	540	I45	4992	3867	4870	4525	6895	5770	6733	6625	8750	7625	8588	8480
I000	2000	I000х2028	720	600	660	480	III0	560	300	I028	600	I45	5553	4303	5420	5034	7624	6374	7444	7324	9655	8404	9474	9355
I200	2400	I200х2428	920	720	792	576	I332	664	300	I228	720	I85	6670	5I70	65I0	6048	9I88	7688	8972	8828	II678	I0I78	II462	II3I8
1400	2800	I400х2828	I020	840	924	672	I554	768	300	I428	840	205	7790	6040	7600	7063	I0690	8940	I0438	I0270	I3597	II847	I3344	I3I77
I600	3600	I600х3228	I220	960	I056	768	I776	872	500	I628	960	245	9227	7227	9012	8397	I2572	I0572	I2274	I2092	I6I20	I4I20	I5832	I5640
I800	3600	I800х3636	I320	I080	II88	864	I998	988	500	I836	I080	265	I0030	7780	9787	9095	I3755	II505	I343I	I32I5	I7370	I5I20	I7046	I6830

Таблица I7

Основные размеры группы из 4 циклонов

D	A	B	D_1	D	d	a			b	$d_в$	l	l_1	l_2	l_3	H				H_I				$H_{общ.}$			
						ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24							ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24
200	480	584	800	219	I20	I32		96	-	248	200	344	240	I20	45	I396	II46	I370	-	I9I4	I664	I878	-	2694	244I	2658	-
300	700	856	I000	325	I80	I98		I44	-	352	200	496	340	I80	65	I955	I580	I9I6	-	2720	2345	2666	-	3735	3360	3680	-
400	920	II28	I400	426	240	264		I92	444	456	300	648	440	240	85	2674	2I74	2620	2465	3693	3I93	362I	3573	50II	45II	4939	4890
500	I040	I308	I600	530	300	330		240	555	568	300	808	540	300	I05	3235	2610	3I68	2976	4473	3848	4383	4323	6046	5424	5956	5895
600	I240	I560	I800	630	360	396		288	666	672	300	960	640	360	I25	3794	3044	3714	3483	5272	4522	5I64	5092	7072	6322	6964	6892
700	I440	I8I2	2000	820	420	462		336	777	776	300	III2	740	420	I65	4352	3477	4259	3990	6I23	6248	5997	5913	8208	7333	8082	7998
800	I640	2064	2400	920	480	528		384	888	880	300	I264	840	480	I85	5072	4072	4964	4658	7C8I	608I	6937	684I	9569	8569	9425	9330
900	I840	23I6	2800	I020	540	594		432	999	984	300	I4I6	940	540	205	5792	4667	567I	5325	8040	6915	7878	7770	I0950	9825	I0788	I0680
I000	2040	2576	3000	II20	600	660		480	III0	I096	500	I576	I040	600	225	6353	5I03	6219	5834	8844	7594	8664	8544	II794	I0544	II6I4	II494

Таблица I8

Основные размеры группы из 6 циклонов

D	A=B	D вых.	d	a			B	d_0	l	l_1	l_2	l_3	H				H_1				$H_{общ.}$			
				ЦН-15 ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24							ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24
200	900	273	I20	I32	96	-	388	200	484	280	I20	55	I366	III6	I340	-	I990	I740	I953	-	27I0	2460	2675	-
300	I200	426	I80	I98	I44	-	562	200	706	380	I80	I00	I885	I5I0	I845	-	2795	2420	2740	-	3860	3485	3806	-
400	I600	530	240	264	I92	444	736	300	928	480	240	I05	2444	I944	2390	2235	3630	3I30	3560	35I0	5066	4566	4995	4946
500	I700	720	300	330	240	555	9I8	300	II58	580	300	I45	2885	2260	28I8	2625	4340	37I5	4250	4I90	5975	5350	5885	5825
600	2000	820	360	396	288	666	I092	300	I380	680	360	I65	3404	2654	3324	3095	5II7	4367	50I0	4937	7067	63I7	6960	6887
700	2300	920	420	462	336	777	I266	300	I602	780	420	I82	3924	3049	3830	3560	5880	5005	5755	5670	7858	6983	7732	7648
800	2700	II20	480	528	384	888	I440	300	I824	880	480	225	4482	3482	4375	4068	6785	5785	6640	6545	9I55	8I55	90I0	89I5
900	3000	I220	540	594	432	999	I6I4	500	2046	980	540	245	5002	3877	4880	4535	7555	6430	7393	7285	I0055	8930	9893	9785
I000	3300	I520	600	660	480	III0	I796	500	2276	I080	600	265	5623	4373	5489	5I05	8435	7185	8255	8I35	III05	9855	I0925	I0805

Таблица I9

Основные размеры группы из 8 циклонов

D	A=B	$D_{вых}$	α	a			b	$\alpha_в$	l	l_1	l_2	l_3	H				H_1				$H_{общ.}$			
				ЦН-15	ЦН-11	ЦН-24							ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-24
200	I200	325	I20	I35	96	-	492	200	588	280	I20	65	1485	I235	I460	-	2200	I950	2I65	-	3207	2957	3I70	-
300	I600	426	I80	I98	I44	-	7I8	300	862	380	I80	85	2045	I670	2005	-	3035	2660	2980	-	44I0	4035	4356	-
400	2000	630	240	264	I92	444	944	300	II36	480	240	I25	2605	2I05	2550	2395	3930	3430	3858	38I0	5766	5266	5694	5646
500	2300	720	300	330	240	555	II78	300	I4I8	580	300	I45	3I25	2500	3058	2866	4700	4075	46I0	4550	6556	5930	6466	6406
600	2700	920	360	396	288	666	I404	300	I692	680	360	I85	3685	2935	3605	3373	5595	4845	5487	54I5	7847	7097	7740	7667
700	3000	I020	420	462	336	777	I630	500	I966	780	420	205	4202	3327	4II0	3840	6368	5493	6242	6I58	8753	7878	8627	8543
800	3450	I220	480	528	384	888	I856	500	2240	880	480	245	4882	3882	4775	4468	7389	6389	7245	7I50	IOII0	9II0	9966	9870
900	3850	I320	540	594	432	999	2082	500	25I4	980	540	265	5542	44I7	542I	5075	8320	7I95	8I58	8050	II285	IOI60	III23	IIOI5
I000	4250	I520	600	660	480	IIIO	23I6	500	2796	I080	600	305	6I03	4853	5970	5585	92I6	7965	9035	89I5	I2589	II340	I24I0	I2290

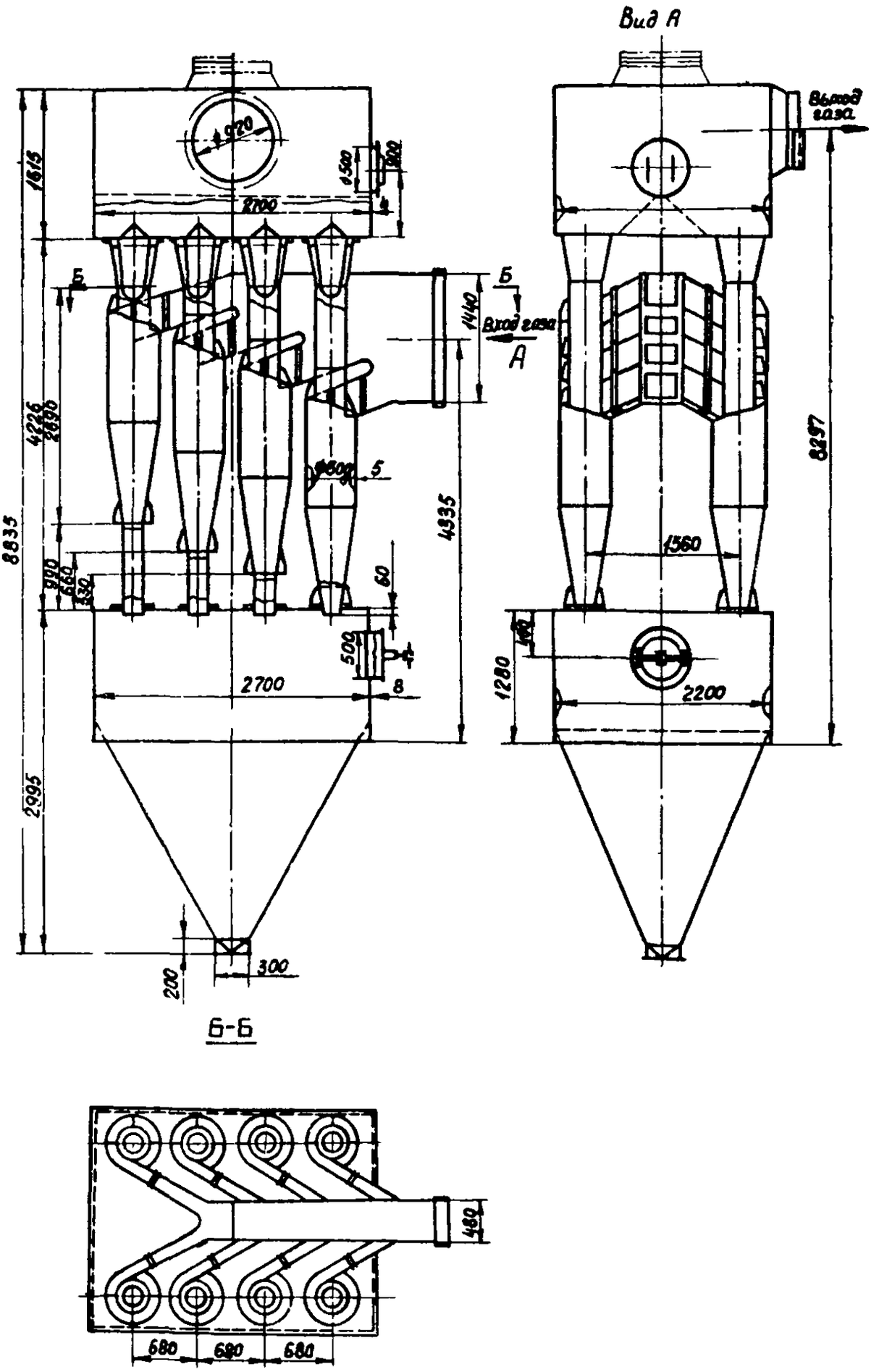


Рис. 30. Групповой циклон из 8 элементов — вариант ступенчатой компоновки

Таблица 20

Основные размеры групповых циклонов круговой компоновки

Группа из 10 циклонов

D	$d_{вх}$ 1,5D	$D_{ср}$ 3,75D	l 1,05D	Циклон									Бункер						Сборник чистого газа								
				H			$H_{общ}$			H_I			D_1' 4,66D	$H_{бун.}$	$H_к$	$H_ц$ 1,2D	$d_в$		D_2 4,66D	$D_к$ 2,75D	$H_{об.}$	$d_{вых.}$ 1,5D	$d_{вых.}$	ℓ_1' 0,2$d_{вых.}$	h 1,2D_2	δ_1	H_2
				ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11															
600	920	2250	630	3237	2487	3129	7670	6920	7563	5452	4692	5344	2800	2800	2000	720	500	12	2800	1650	1640	920	1064	185	560	8	800
800	1220	3000	840	4309	3309	4165	10393	9400	10250	7140	6140	6995	3900	3900	2860	960	500	12	3800	2200	2190	1220	1414	245	760	8	950
1000	1520	3750	1050	5484	4134	5204	13330	12080	13150	8864	7614	8684	5000	5180	3900	1200	500	12	5000	2750	2770	1520	1755	305	1000	8	1100

Группа из 12 циклонов

D	$d_{вх}$ 1,7D	$D_{ср}$ 4,4D	ℓ 1,05	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	D_1' 5,4D	$H_{бун.}$	$H_к$	$H_ц$ 1,2D	$d_в$	δ	D_2 5,4D	$D_к$ 3,4D	$H_{об.}$	$d_{вых.}$ 1,7D	$d_{вых.}$	ℓ_1' 0,2$d_{вых.}$	h 0,2D_2	δ_1	H_2
600	1020	2640	630	3237	2487	3129	8200	7450	8093	5587	4837	5480	3200	3140	2340	720	500	12	3200	2040	1830	1020	1174	204	640	8	900
800	1320	3520	840	4309	3309	4165	11253	10253	11110	7334	6334	7190	4500	4510	3470	960	500	12	4500	2720	2440	1320	1524	264	900	8	1100
1000	1720	4400	1050	5384	4134	5204	14109	12860	13929	9090	7840	8910	5500	5620	4340	1200	500	12	5500	3400	3110	1720	1995	344	1100	8	1300

Группа из 14 циклонов

D	$d_{вх}$ 1,85D	$D_{ср}$ 5,1D	ℓ 1,05D	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	D_1' 6,1D	$H_{бун.}$	$H_к$	$H_ц$ 1,2D	$d_в$	δ	D_2 6,1D	$D_к$ 4,1D	$H_{об.}$	$D_{вых.}$ 1,85D	$d_{вых.}$	ℓ_1' 0,2$D_{вых}$	h 1,2D_2	δ_1	H_2
600	1120	3060	630	3237	2487	3130	8740	7990	8633	5727	4977	5620	3600	3480	2680	720	500	12	3600	2460	2030	1120	1294	224	720	8	1000
800	1520	4080	840	4309	3309	4165	12013	11013	11870	7550	6550	7405	5000	4940	3900	960	500	12	5000	3280	2770	1520	1754	304	1000	8	1250
1000	1820	5100	1050	5384	4134	5204	14750	13500	14570	9240	7990	9060	6000	6050	4770	1200	500	12	6000	4100	3320	1820	2105	364	1200	8	1650

Примечания. 1 D_1', равный 6.1 D, округляется до ближайшего размера обечайки по ГОСТу 9617-67.

2. $d_{вх}$ и $d_{вых}$, равный 1,85 D, округляется до ближайшего размера трубы соответствующего ГОСТа.

из циклонов с удлиненной конической частью. При очистке больших объемов газов с высокой эффективностью используются круговые компоновки, изображенные на рисунках 3I-33. Основные размеры аппаратов приведены в таблице 20.

В таблице 2I представлены фракционные КПД циклонов НИИОГАЗ.

Таблица 2I

Фракционный КПД циклонов НИИОГАЗ

Циклон		Размер частиц пыли, мкм		
Тип	Диаметр, мм	5	I0	I5
ЦН-I5	800	50	85	97,5
	600	55	87	98
	400	69	89	98,5
	200	77	93	99,0
ЦН-I5У	800	40	8I	97
	200	70	9I	97
ЦН-24	I000	30	70	96
	500	4I	79	97
ЦН-II	800	65	90	98,0
	I00	86	97	99,8

Основные технические данные циклонов представлены в таблицах 22-28. Завод-изготовитель циклонов типа ЦН-I5 - Каховский завод "Ремстроймаш"; циклонов типа СКЦН-34 - Кузнецкий завод полимерного машиностроения; циклонов типа ЦН-I5 во взрывобезопасном исполнении - Сызранский завод тяжелого машиностроения [I6] .

Циклон конструкции ИОТТ

Предназначен для очистки запыленных газов на сушильных установках обогатительных фабрик.

Циклон ИОТТ (рис.34) состоит из входного патрубка I, корпуса 3, конуса 2, выхлопной трубы 4.

Циклон представляет собой инерционный пылеуловитель, в котором выделение частиц из воздушной (газовой) среды происходит в основном под воздействием центробежной силы, возникающей при вращении воздушного потока в корпусе аппарата.

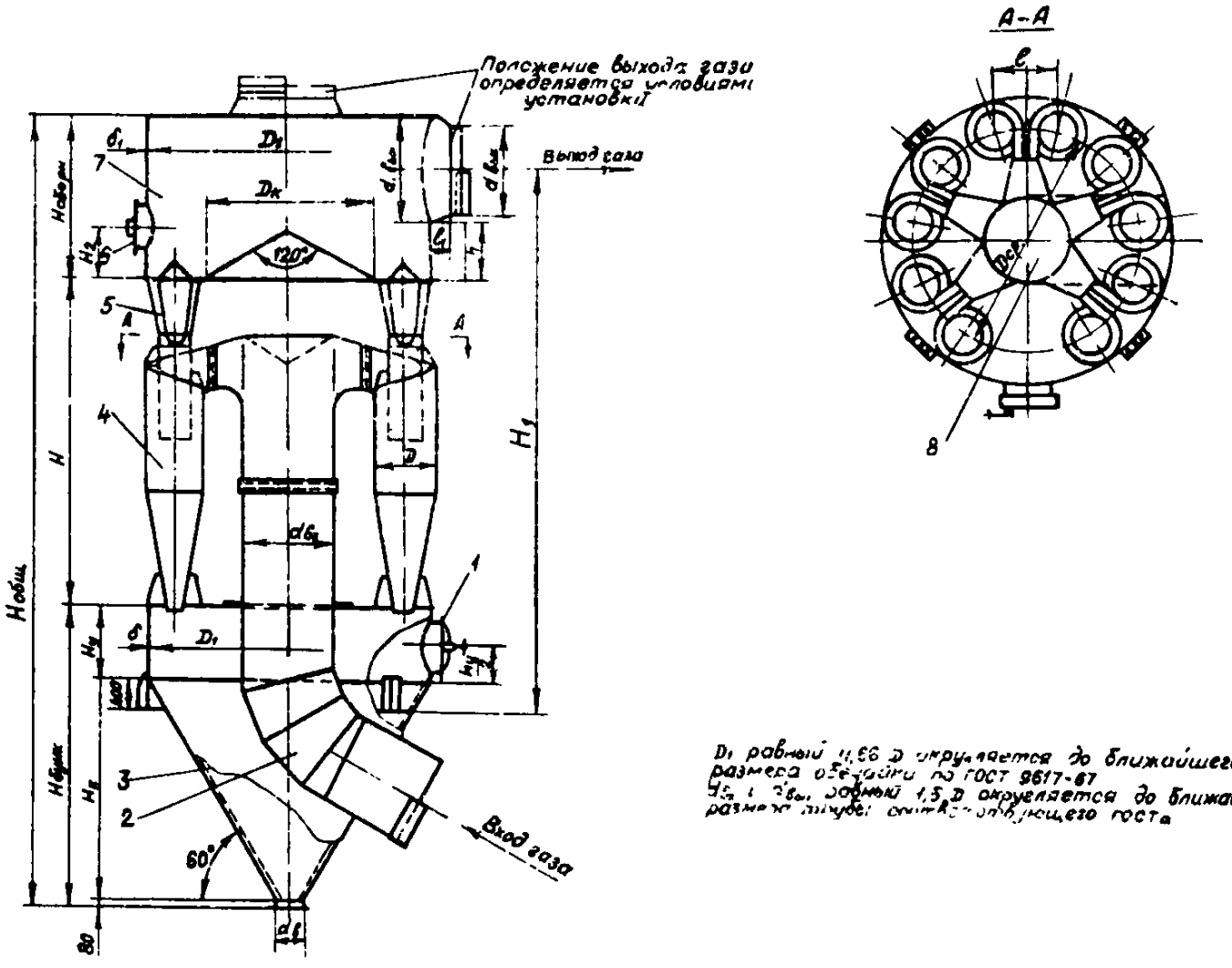


Рис. 31 Групповой циклон круговой компоновки из 10 элементов:

1 — люк; *2* — газоход подводящий; *3* — бункер. *4* — циклон; *5* — кольцевой диффузор; *6* — заглушка ⌀ 500; *7* — сборник чистого газа; *8* — коллектор входа

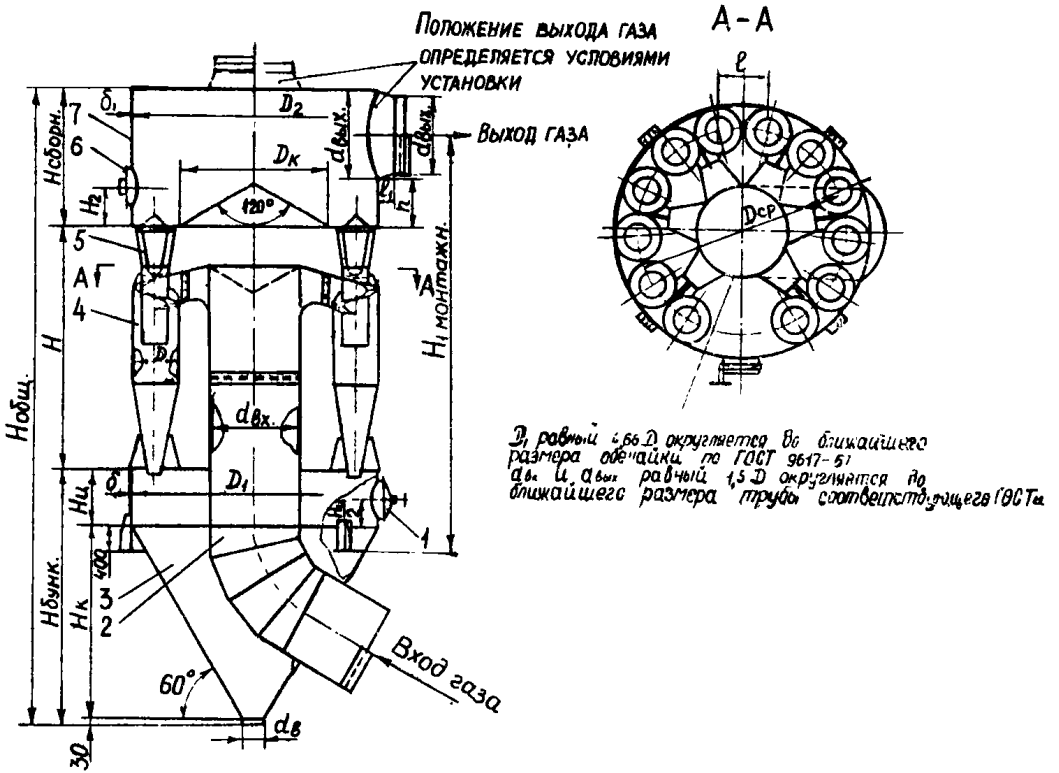


Рис. 32 Групповой циклон круговой компоновки из 12 элементов:

1 — люк; *2* — газоход подводящий; *3* — бункер; *4* — циклон; *5* — кольцевой диффузор; *6* — заглушка ∅ 500; *7* — сборник чистого газа; *8* — коллектор входа газа

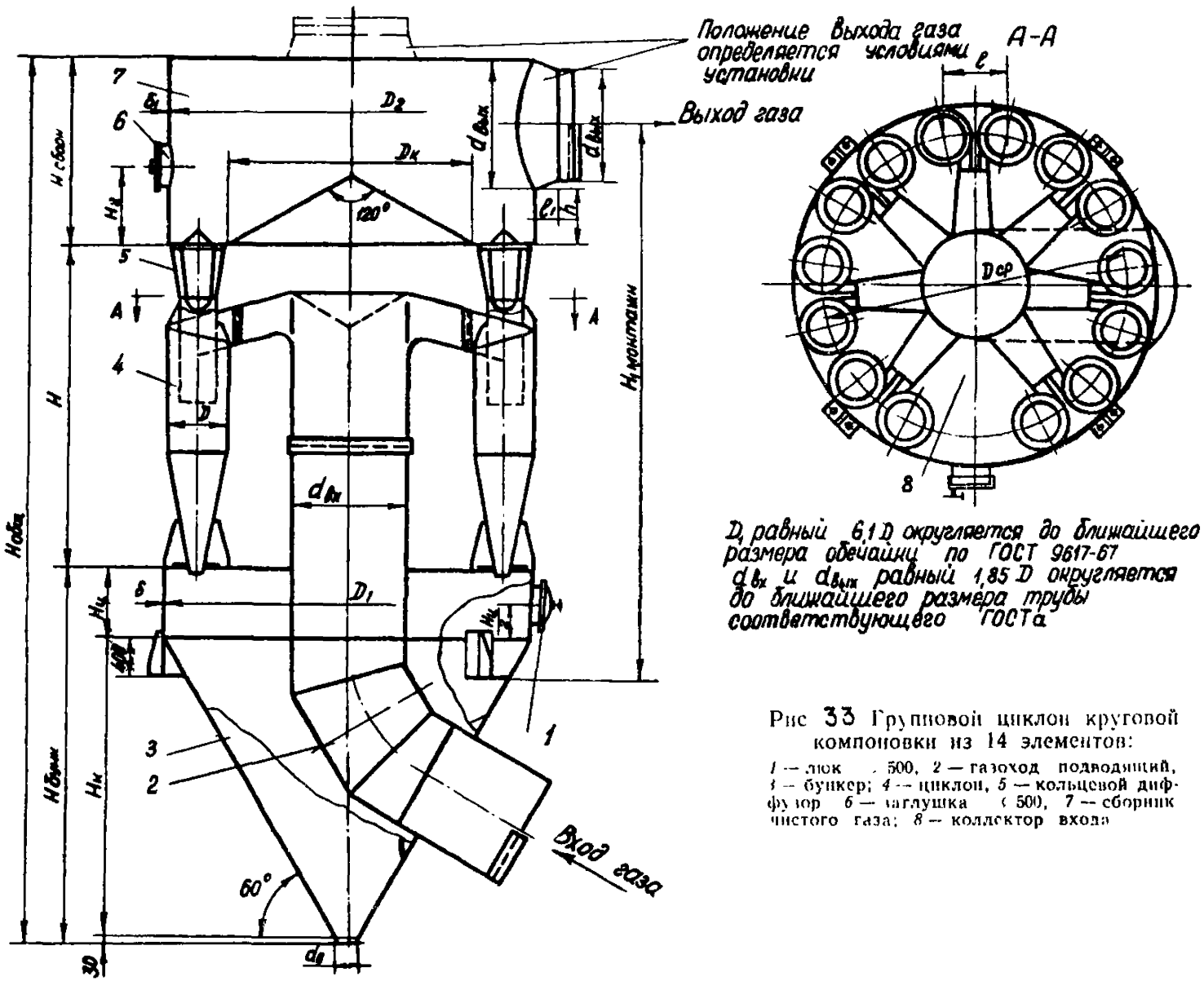


Рис 33 Групповой циклон круговой компоновки из 14 элементов:

1 — люк ⌀ 500, *2* — газоход подводящий, *3* — бункер; *4* — циклон, *5* — кольцевой диффузор *6* — заглушка ⌀ 500, *7* — сборник чистого газа; *8* — коллектор входа

Таблица 22

Основные технические характеристики циклонов типа ЦН

Показатели	ЦН-11 с диаметром, мм		ЦН-24 с диаметром, мм		ЦН-15У с диаметром, мм	
	100	800	500	1000	200	800
Производительность, $м^3/ч$	900	6300	3200	12700	400	6300
Аэродинамическое сопротивление, $кг/м^2$	45	45	50	50	50	50
Эффективность пылеулавливания, %	86--99,8	65--98	41-97	30-96	70-97	40-97
Высота, мм	438	9500	2130	4260	665	2650
Стоимость (ориентировочно), руб.	65	210	170	340	84	236

Таблица 23

Характеристика типоразмерного ряда циклонов типа ЦН-15

Типоразмер	Производительность, $м^3/ч$		Рабочий объем бункера, $м^3$	Масса, кг
	при ω = 2,5 м/с	при ω = 4 м/с		
ЦН-15-300П	650	1000	0,17	208
ЦН-15-400П	1100	1800	0,146	275
ЦН-15-500П	1800	2800	0,205	385
ЦН-15-600П	2500	4100	0,327	520
ЦН-15-700П	3500	5500	0,465	660
ЦН-15-800П	4500	7200	0,56	825
ЦН-15-900П	5700	9200	0,64	1010
ЦН-15-1000П	7100	11300	0,72	1195
ЦН-15-1200П	10200	16200	1,07	1630

Продолжение таблицы 23

Типоразмер	Производительность, м³/ч		Рабочий объем бункера, м³	Масса, кг
	при ω = 2,5 м/с	при ω = 4 м/с		
ЦН-15-1400П	13900	22200	1,42	2180
ЦН-15-300х2УП	1270	2000	0,2	277
ЦН-15-300х2СП	1270	2000	0,2	307
ЦН-15-400х2УП	2300	3600	0,31	456
ЦН-15-400х2СП	2300	3600	0,31	475
ЦН-15-500х2УП	3500	5600	0,5	680
ЦН-15-500х2СП	3500	5600	0,5	675
ЦН-15-600х2УП	5100	8100	0,595	890
ЦН-15-600х2СП	5100	8100	0,595	870
ЦН-15-700х2УП	6900	11100	0,825	1140
ЦН-15-700х2СП	6900	11100	0,825	1110
ЦН-15-800х2УП	9000	14400	1,15	1475
ЦН-15-800х2СП	9000	14400	1,15	1430
ЦН-15-900х2УП	11400	18300	1,45	1830
ЦН-15-900х2СП	11400	18300	1,45	1760
ЦН-15-400х4УП	4500	7200	0,54	850
ЦН-15-400х4СП	4500	7200	0,54	840
ЦН-15-500х4УП	7000	11300	0,77	1225
ЦН-15-500х4СП	7000	11300	0,77	1165
ЦН-15-600х4УП	10200	16300	1,11	1700
ЦН-15-600х4СП	10200	16300	1,11	1615
ЦН-15-700х4УП	13800	22000	1,5	2210
ЦН-15-700х4СП	13800	22000	1,5	2130
ЦН-15-800х4УП	18100	28900	2,27	2870
ЦН-15-800х4СП	18100	28900	2,27	2760
ЦН-15-900х4УП	22800	36600	2,28	3610
ЦН-15-900х4СП	22800	36600	2,28	3450
ЦН-15-500х6УП	10600	16900	1,3	1960
ЦН-15-500х6СП	10600	16900	1,3	1900
ЦН-15-600х6УП	15300	24400	2	2720
ЦН-15-600х6СП	15300	24400	2	2640
ЦН-15-700х6УП	20800	33100	2,67	3550
ЦН-15-700х6СП	20800	33100	2,67	3430

Продолжение таблицы 23

Типоразмер	Производительность, м³/ч		Рабочий объем бункера, м³	Масса, кг
	при ω = = 2,5 м/с	при ω = = 4 м/с		
ЦН-15-800х6УП	27100	43300	3,82	4640
ЦН-15-800х6СП	27100	43300	3,82	4440
ЦН-15-900х6УП	34300	54900	5,55	5810
ЦН-15-900х6СП	34300	54900	5,55	5580
ЦН-15-1000х6УП	42600	67800	8	7100
ЦН-15-1000х6СП	42600	67800	8	6780
ЦН-15-500х8УП	14100	22600	2,33	2720
ЦН-15-500х8СП	14100	22600	2,33	2640
ЦН-15-800х8УП	36000	57500	8,3	6650
ЦН-15-800х8СП	36000	57500	8,3	6420

Условное обозначение типоразмера одиночного и группового циклона типа ЦН

ЦН - циклон НИИОГА; 15 - угол наклона входного патрубка относительно горизонтали (град.); П, Л - "правое" ("левое") вращение газа в "улитке"; число после тире - внутренний диаметр цилиндрической части циклона (мм); следующая цифра - количество циклонов в группе; У - с камерой очищенного газа в виде "улитки"; С - с камерой очищенного газа в виде сборника; П - пирамидальная форма бункера.

Например: ЦН-15-600П и ЦН-15-600х2УП.

Таблица 24

Техническая характеристика циклонов типа ЦН-15

Допустимая запыленность газа, г/м³	
для слабослипающихся пылей	⩾ 1000
для среднеслипающихся пылей	⩾ 250
Температура очищаемого газа, °С	400
Аэродинамическое сопротивление, кг/м²	50
Эффективность очистки, %	55-99,0

Таблица 25

Характеристика
типоразмерного ряда циклонов типа СКЦН-34
"левого" и "правого" вращений

Типоразмер	Производительность при ω = 2,5 м/с, м³/ч	Объем бункера, м³	Масса, кг
СКЦН-34БП-600	2540	0,16	205
СКЦН-34БП-700	3460	0,16	230
СКЦН-34БП-800	4520	0,16	270
СКЦН-34БП-900	5730	0,45	446
СКЦН-34БП-1000	7100	0,45	505
СКЦН-34БП-1200	10200	0,45	620
СКЦН-34БП-1400	13800	1,3	1218
СКЦН-34БП-1600	18100	1,3	1420
СКЦН-34БП-1800	23000	1,3	1700
СКЦН-34БП-2000	28300	1,75	2550
СКЦН-34БП-2200	34200	1,75	3130
СКЦН-34БП-2400	40700	1,75	4289
СКЦН-34БП-2800	55400	3,4	7363
СКЦН-34БП-3200	72000	3,4	8854
СКЦН-34БП-3600	92000	4,4	10300
СКЦН-34Б-600	2540	0,16	175
СКЦН-34Б-700	3460	0,16	205
СКЦН-34Б-800	4520	0,16	239
СКЦН-34Б-900	5730	0,45	412
СКЦН-34Б-1000	7100	0,45	470
СКЦН-34Б-1200	10200	0,45	615
СКЦН-34Б-1400	13800	1,3	1117
СКЦН-34Б-1600	18100	1,3	1325
СКЦН-34Б-1800	23000	1,3	1605
СКЦН-34Б-2000	28300	1,75	2430
СКЦН-34Б-2200	34200	1,75	2992
СКЦН-34Б-2400	40700	1,75	4155
СКЦН-34Б-2800	55400	3,4	7181
СКЦН-34Б-3200	72000	3,4	8700
СКЦН-34Б-3600	92000	4,4	10098
СКЦН-34-600	2540	-	106

Продолжение таблицы 25

Типоразмер	Производительность при ω = 2,5 м/с $м^3/ч$	Объем бункера, $м^3$	Масса, кг
СКЦН-34-700	3460	-	131
СКЦН-34-800	4520	-	169
СКЦН-34-900	5730	-	284
СКЦН-34-1000	7100	-	343
СКЦН-34-1200	10200	-	476
СКЦН-34-1400	13900	-	776
СКЦН-34-1600	18100	-	975
СКЦН-34-1800	23000	-	1256
СКЦН-34-2000	28300	-	1816
СКЦН-34-2200	34200	-	2507
СКЦН-34-2400	40700	-	3673
СКЦН-34-2800	55400	-	6190
СКЦН-34-3200	72000	-	7730
СКЦН-34-3600	92000	-	8913

Условное обозначение типоразмера
циклона типа СКЦН

СК - спирально-конический; ЦН - циклон НИИОГАЗа; 34 -отношение диаметра выхлопной трубы к диаметру цилиндрической части (равно 0,34); БП - с бункером и подогревателем; Б - с бункером без подогревателя (при отсутствии букв Б или БП - без бункера и подогревателя); последнее число - диаметр цилиндрической части циклона (мм); П, Л - "правое" ("левое") вращение газового потока.

Например: СКЦН-34БП-600Л, СКЦН-34-600П.

Таблица 26

Техническая характеристика
циклонов типа СКЦН-34

Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	1000
Температура очищаемого газа, ^0C	до 250
Аэродинамическое сопротивление, $кг/м^2$	350-450
Эффективность очистки от пыли при d_m = 10 мкм и плотности 2,7 $г/см^3$, %	до 95

Таблица 27

Характеристика типоразмерного ряда циклонов типа ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении

Типоразмер	Производительность, $м^3/ч$	Масса, кг
ЦН-15-1120	11000-13000	1620
ЦН-15-1250	13000-17000	1980
ЦН-15-1400	17000-20000	2540
ЦН-15-1600	20000-24000	3250
ЦН-15-1800	24000-28000	4090
ЦН-15-2000	28000-32000	5360
ЦН-15-2240	38000-51000	6600
ЦН-15-2360	51000-61000	7300
ЦН-15-2650	61000-70000	9990
ЦН-15-2800	70000-82000	11100
ЦН-15-3000	82000-90000	12600
ЦН-15-3150	90000-100000	15400
ЦН-15-3350	100000-120000	20000
ЦН-15-3750	120000-140000	26800
ЦН-15-4250	120000-140000	34800
ЦН-15-4500	180000-200000	38700
ЦН-15-5000	200000-230000	47300

Условное обозначение типоразмера циклона типа ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении

ЦН - циклон НИИОГАЗа; 15 - угол наклона входного патрубка относительно горизонтали (град.); П, Л - "правое" ("левое") вращение газа в "улитке"; последнее число - диаметр цилиндрической части (мм).

Например: ЦН-15Л-1120.

Таблица 28

Техническая характеристика циклонов типа ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении

Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	1500
Температура очищаемого газа, ^0C	до 250
Аэродинамическое сопротивление, $кг/м^2$	70-115
Эффективность очистки от пыли при d_m = 10 мкм и плотности 2,7 $г/см^3$, %	80

Запыленный воздух входит в циклон под углом 40-50° через тангенциональный патрубок и, приобретая вращательное движение, спускается винтообразно вдоль внутренних стенок цилиндра и конуса. Небольшая часть этого потока, в котором сконцентрированы пылевые частицы, движется в непосредственной близости от стенок циклона и поступает через пылеотводящее отверстие в пылесборный бункер, где происходит осаждение и накопление пылевых частиц.

В центральной зоне циклона воздушный поток, освобожденный от пыли, поднимается винтообразно вверх и удаляется через выхлопную трубу наружу [4, 5].

Основная техническая характеристика циклонов ИОТТ приведена в табл. 29.

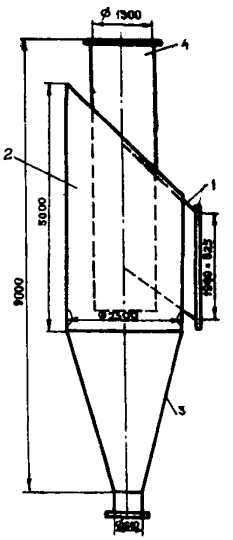


Рис.34. Циклон ИОТТ

Таблица 29

Основная техническая характеристика циклонов конструкции ИОТТ

Показатели	Циклон I	Циклон 2
Производительность по газу, м³/ч	60000	75000
Гидравлическое сопротивление, кг/м²	80	80
Эффективность очистки, %	98,5	98,5
Габариты, мм:		
диаметр	2360	2700
высота	9000	I2000
Масса, кг	5544	5800
Цена, руб.	-	I040

Изготовитель - Жызын-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь". Изготовление серийное.

Батарейные циклоны БЦ

Применяются для сухой технологической очистки газа в сушильных установках и системах промышленной вентиляции на углеобогатительных и брикетных фабриках, а также в котельных для очистки дымовых газов [17] .

Батарейный циклон БЦ (рис. 35) состоит из набора циклонных элементов 5, выхлопных труб с закручивающими лопатками 4, верхней 3 и нижней 7 решёток, кожуха 6 и верхней панели 2 с теплоизоляцией, подводящего патрубка 9 и бункера 8.

Золоуловитель состоит из двух параллельно работающих секций. При малых нагрузках одну из секций отключают шибером 10. На верхней панели устанавливают предохранительный клапан 1.

Подводят запыленный газ в циклон обеих секций одним общим потоком равномерно по всему входному сечению.

Из общего потока запыленный газ поступает в элементы и получает вращение от лопаток закручивающего аппарата (розетки). Частицы золы, двигаясь по инерции прямо, прижимаются к корпусу циклона и вместе с газовым потоком спускаются по конической части циклона. От этого спирального вихревого движения образуется пониженное давление в центре циклона, вследствие чего поток газа в нижней части конуса меняет своё направление и идет по центру циклона вверх, направляясь в выхлопную трубу. Зола осаждается внизу, откуда её периодически или непрерывно удаляют.

Фракционные КПД батарейных циклонов приведены в табл. 30, основные технические данные - в табл. 31, основные размеры циклонов - в табл. 32.

Таблица 30

Зависимость КПД батарейного циклона БЦ от фракционного состава угольной пыли

Фракции	Фракционный КПД, %
0-5	83,2
5-10	94,4
10-20	97
20-30	99
30-40	100

Разработчик - ЦКТИ им.Ползунова совместно с Кусинским машиностроительным заводом.

Изготовитель - Кусинский машиностроительный завод, выпуск серийный.

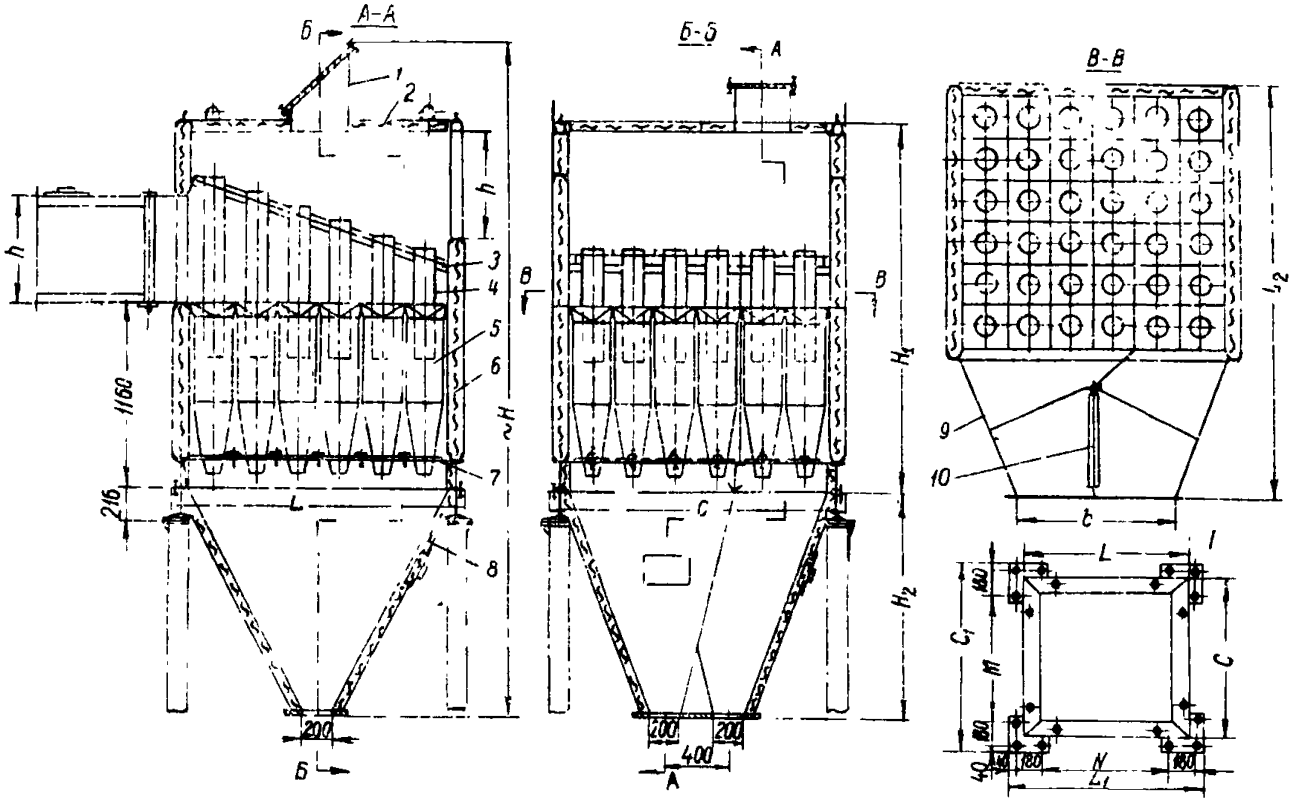


Рис 35 Батарейный циклон БЦ.

Таблица 31

Основные технические характеристики золоуловителей типа БЦ-2

Типоразмер	Количество элементов в батарее			Эффективность очистки %	Расход газа при +150 °С, м³/ч		Вес металлической конструкции, т	Рекомендуемая производительность котлов, т/ч
	по глубине	по ширине	всего		при сопротивлении, кг/м²			
					45	60		
БЦ-2-4х (3+2)	4	3+2	20	85-90	15100	17300	3,51	6,5
БЦ-2-5х (3+2)	5	3+2	25		18700	21600	4,40	6,5
БЦ-2-5х (4+2)	5	4+2	30		22700	26300	4,82	10
БЦ-2-6х (4+2)	6	4+2	36		27000	31300	5,62	10
БЦ-2-6х (4+3)	6	4+3	42		31300	36000	5,77	15
БЦ-2-6х (5+3)	6	5+3	48		36000	41800	7,15	15,20
БЦ-2-7х (5+3)	7	5+3	56		42500	49000	8,29	20

Таблица 32

Основные размеры батарейных циклонов типа БЦ, мм

Типоразмеры	H	H_1	H_2	C	C_1	L	L_1	L_2	M	N	h	B
БЦ-2-4х (3+2)	4020	2110	1400	1610	1810	1330	1530	2120	1370	1090	450	800
БЦ-2-5х (3+2)	4120	2210	1400	1610	1810	1610	1810	2400	1370	1370	600	800
БЦ-2-5х (4+2)	4120	2210	1400	1890	2090	1610	1810	2600	1650	1370	500	1000
БЦ-2-6х (4+2)	4220	2310	1400	1890	2090	1890	2090	2880	1650	1650	700	1000
БЦ-2-6х (4+3)	4220	2310	1600	2170	2370	1890	2090	2880	1930	1650	700	1100
БЦ-2-6х (5+3)	4420	2310	1600	2450	2650	1890	2090	3180	2210	1650	700	1300
БЦ-2-7х (5+3)	4520	2410	1600	2450	2650	2170	2270	3460	2210	1930	800	1300

Батарейный циклонный пылеуловитель типа БЦУ-М

Предназначен для очистки газов от твердых частиц со средним размером не менее 5 мкм.

Батарейные циклонные пылеуловители могут применяться для улавливания:

- золы в промышленных котельных и на тепловых электростанциях;

- *неслипающейся пыли других отраслей народного хозяйства* [II].

Пылеуловитель БЦУ-М (рис. 36) собирается из циклонных элементов 2, имеющих полуулиточный подвод газов с углом охвата улиткой 180^0. Количество элементов определяется в зависимости от производительности установки по очищаемым газам.

Пылеуловитель верхней и нижней опорными рамами делится на три части: среднюю - камеру запыленных газов 3, верхнюю - камеру обеспыленных газов I и нижнюю бункер 4 для сбора уловленной пыли с герметическим устройством для выгрузки уловленной пыли. Циклонные элементы устанавливаются на нижнюю раму таким образом, что нижняя трубная доска образуется из сваренных между собой фланцев, являющихся нижними основаниями входных щелей элементов.

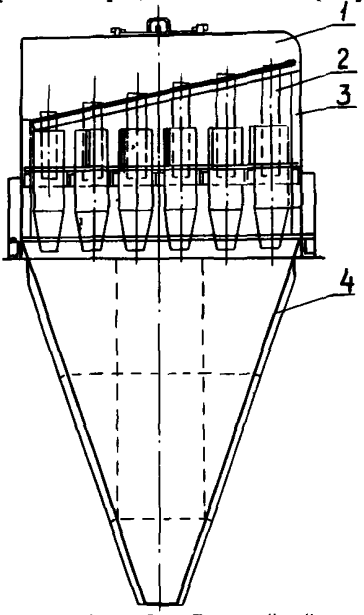


Рис. 36. Батарейный пылеуловитель БЦУ-М

Выбор типоразмера пылеуловителя должен производиться исходя из основных технических характеристик, приведенных в табл. 33.

Разработчик - СКТБ шахтной автоматики ВПО "Союзуглеавтоматика".

Изготовитель - Ангренские мастерские управления "Средазэнергоуголь" по индивидуальным заказам.

Таблица 33

Основные технические характеристики БЦУ-М

Наименование основных параметров и размеров	Нормы по типоразмерам												
	БЦУ-12М	БЦУ-16М	БЦУ-20М	БЦУ-25М	БЦУ-30М	БЦУ-42М	БЦУ-49М	БЦУ-64М	БЦУ-81М	БЦУ-100М	БЦУ-130М	БЦУ-156М	БЦУ-210М
Производительность по поступающим газам или воздуху при температуре 220 °С, м³/ч, в пределах	6000-8500	8500-11000	11000-14000	14000-18000	13000-23000	23000-30000	30000-38000	38000-47000	47000-60000	60000-75000	75000-95000	95000-120000	120000-150000
Эффективность пылеулавливания, %, в пределах	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]	95,5-99,8[x]
Аэродинамическое сопротивление, н/м² (кгс/м²), в пределах	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125	1000-1250 100-125
Запыленность поступающих газов, г/м³, не более	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Расчетная температура очищаемого газа, °С	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Расчетное давление внутри пылеуловителя, кгс/м²	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4	0,4
Габаритные размеры, мм, не более:													
длина	1310	1660	1660	2010	2010	2360	2710	3060	3410	3760	4810	4810	5510
ширина	1600	1600	1930	1930	2260	2590	2590	2920	3250	3580	3580	4240	4900
высота	3500[xx]	4000[xx]	4200[xx]	4600[xx]	5000[xx]	5500[xx]	5500[xx]	6300[xx]	7000[xx]	8000[xx]	9000[xx]	10000[xx]	11000[xx]
Количество элементов по ширине и глубине	4x3	4x4	5x4	5x5	6x5	7x6	7x7	8x8	9x9	10x10	10x13	12x13	14x15
Масса, кг, не более	1800	2000	2200	2700	3200	4200	7000	8000	9000	10500	16000	18500	22000
Ориентировочная стоимость, руб.	1400	1800	2200	2800	3300	4650	5400	7100	9000	11000	14300	17200	23100

[x] Величина указана при условной скорости очищаемого газа в полном сечении циклона 4,2-4,5 м/с для угольной пыли с кажущейся плотностью ρ = 1400 кг/м³

[xx] Величина указана без учета высоты предохранительных клапанов.

Батарейные пылеуловители БПР-75А и БПР-100А

Батарейные пылеуловители БПР-75А и БПР-100А предназначены для сухой технологической очистки газов сушильных установок углеобогатительных фабрик [17, 18] .

Они состоят (рис. 37, 38) из двух секций, каждая из которых имеет блок циклонов 1, бункер 2, пылеразгрузочную мигалку 3 и выхлопной коллектор 4. Секция пылеуловителя БПР-75А состоит из шести, а БПР-100А из восьми циклонов ЦН-11 с раскручивающими устройствами в виде трехлопаточных розеток, снижающих сопротивление аппарата на 25-30%.

При работе батарейных пылеуловителей запыленный поток через входной коллектор поступает в параллельно установленные циклоны, где под действием центробежных сил пыль отделяется от газового потока и через пылеразгрузочные мигалки отводится из аппарата. Обеспыленный газ через выхлопные коллекторы удаляется из аппаратов.

Основные технические данные батарейных пылеуловителей приведены в табл. 34.

Таблица 34

Основная техническая характеристика батарейных пылеуловителей типа БПР

Показатели	БПР-75А	БПР-100А
Производительность по воздуху, $м^3/ч$	75000	100000
Число циклонов в установке, шт.	12	16
Диаметр циклонов, мм		800
Аэродинамическое сопротивление, $кг/м^2$	90-110	90-100
Эффективность пылеулавливания, %	94	94
Основные размеры, мм:		
длина	5060	6000
ширина	4250	3640
высота	8280	10420

Продолжение таблицы 34

Показатели	БПР-75А	БПР-100А
Масса пылеуловителя, кг	13100	17120
Стоимость, руб.	6670	9400

Таблица 35

Зависимость КПД аппарата типа БПР от фракционного состава угольной пыли

Фракция, мкм	Фракционный КПД, %
0-5	42,2
5-10	60,2
10-20	77,1
20-30	88,8
30-40	95
40-60	98,2
60-100	100

Эксплуатационные фракционные КПД аппарата представлены в табл. 35 (данные получены на угольной пыли при температуре 100 °С и скорости газов в аппарате 4,35 м/с).

Изготовитель - филиал № 2 объединения "Каргормаш" (г.Караганда), выпуск серийный; г.Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь", изготовляются по индивидуальным заказам.

Батарейные циклоны ПБЦ

Предназначены для очистки запыленных газов на сушильных установках обогатительных фабрик [17].

Батарейный циклон ПБЦ-15 (рис. 39-43) состоит из входного коллектора 1, выходного коллектора 2, циклонных элементов 3 с улиточным подводом газа, сварного корпуса 4, пылесборных бункеров и шлюзовых затворов 6.

Запыленный газ поступает в циклонные элементы, где за счет тангенциального входа приобретает вращательное движение. Под действием центробежных сил и инерции частицы отбрасываются к стенкам циклонных элементов и отводятся в пылевой бункер. Обеспыленный газ удаляется из аппарата через выхлопные патрубки циклонных элементов. Уловленная в батарейном циклоне пыль выпускается через шлюзовые затворы.

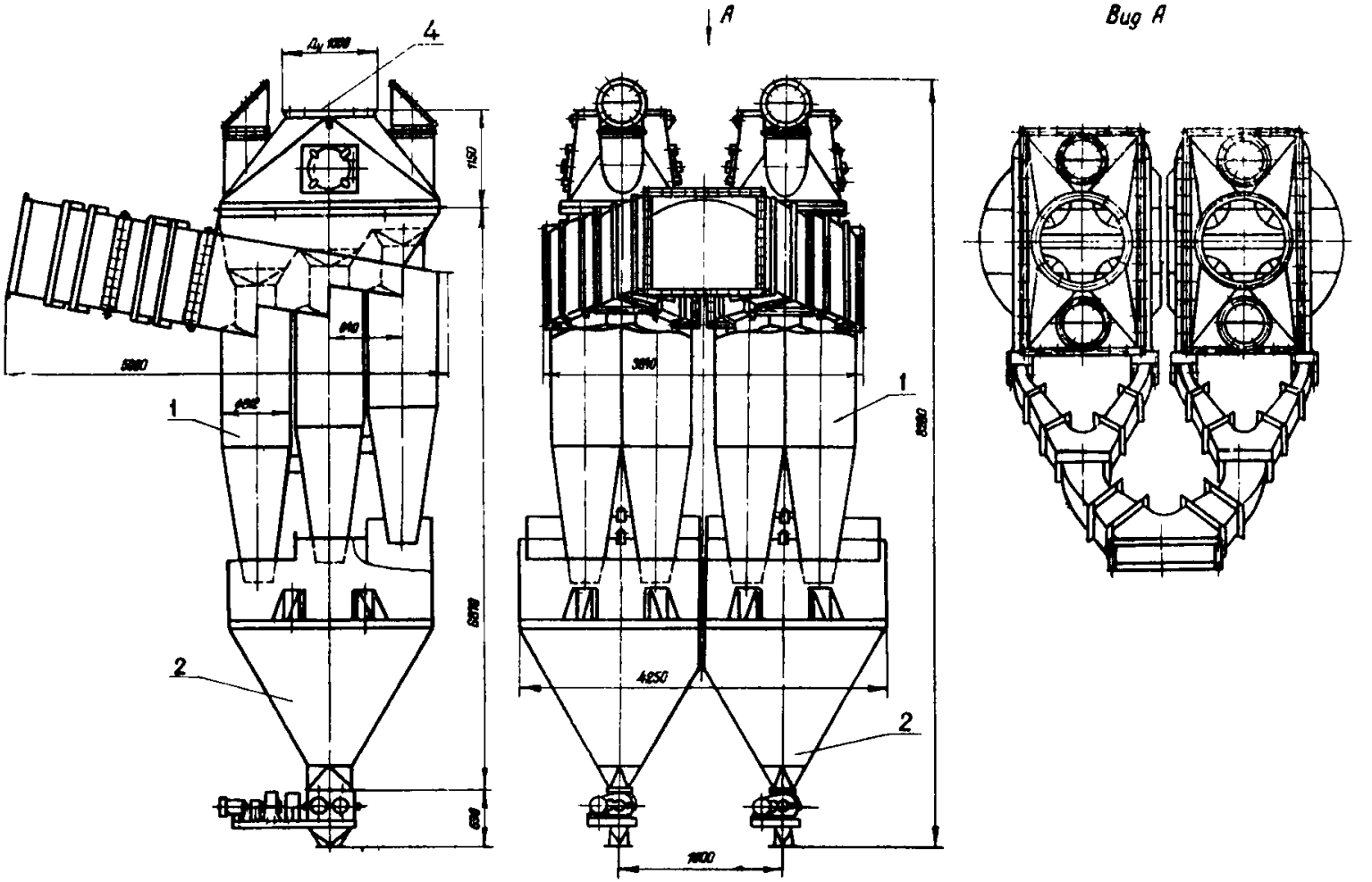


Рис. 37 Батарейный пылеуловитель БПР-75А

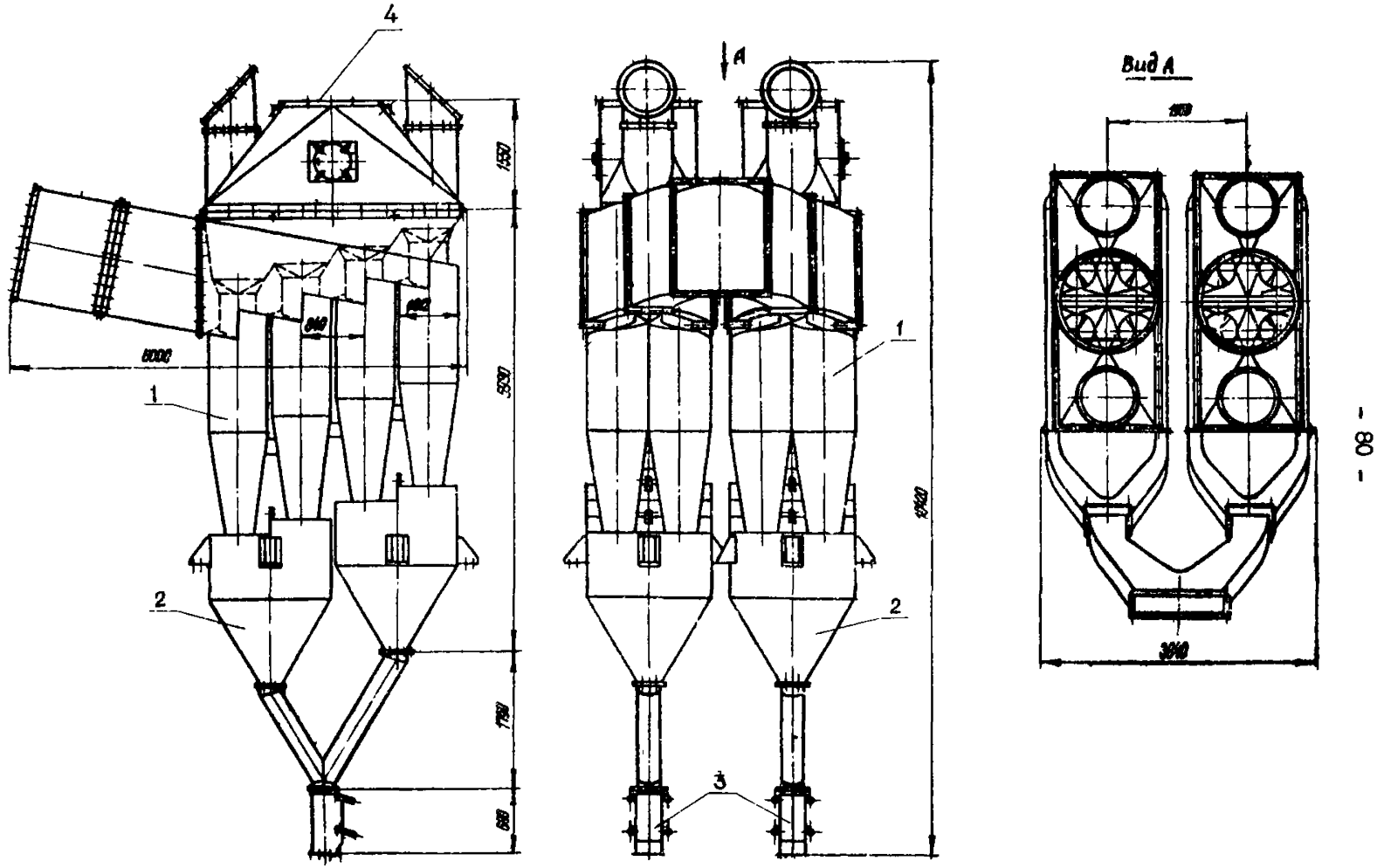


Рис 38 Батарейный пылеуловитель БПР - 100 А

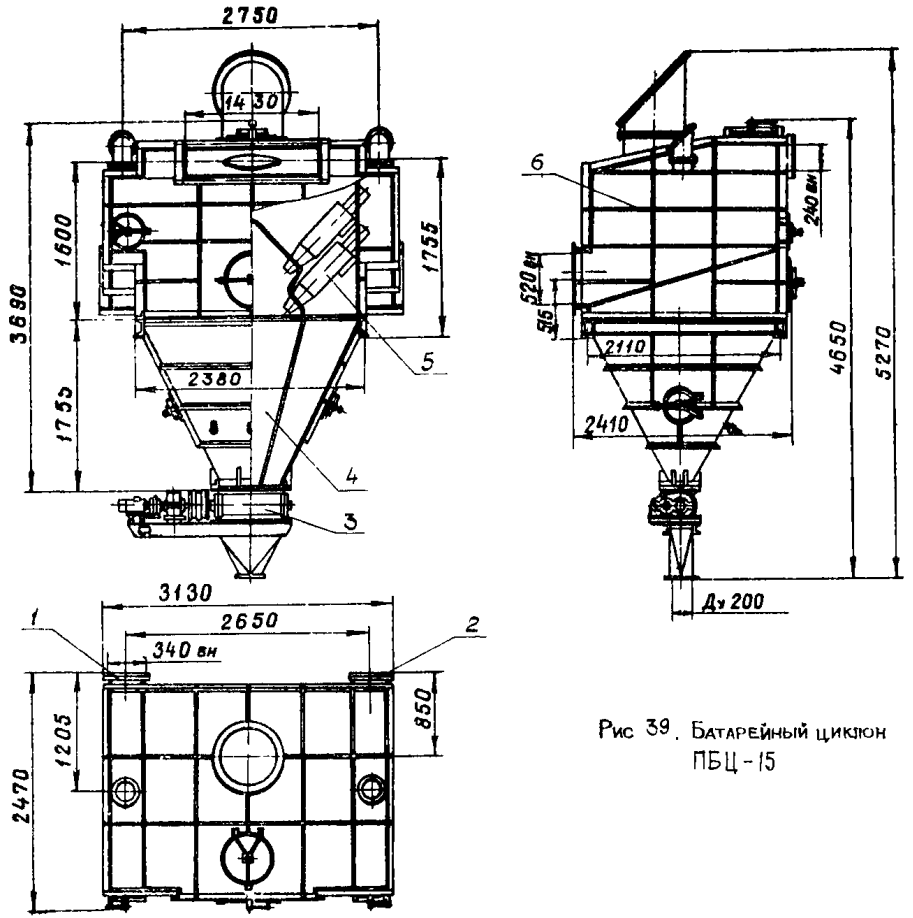


Рис 39. Батарейный циклон ПБЦ-15

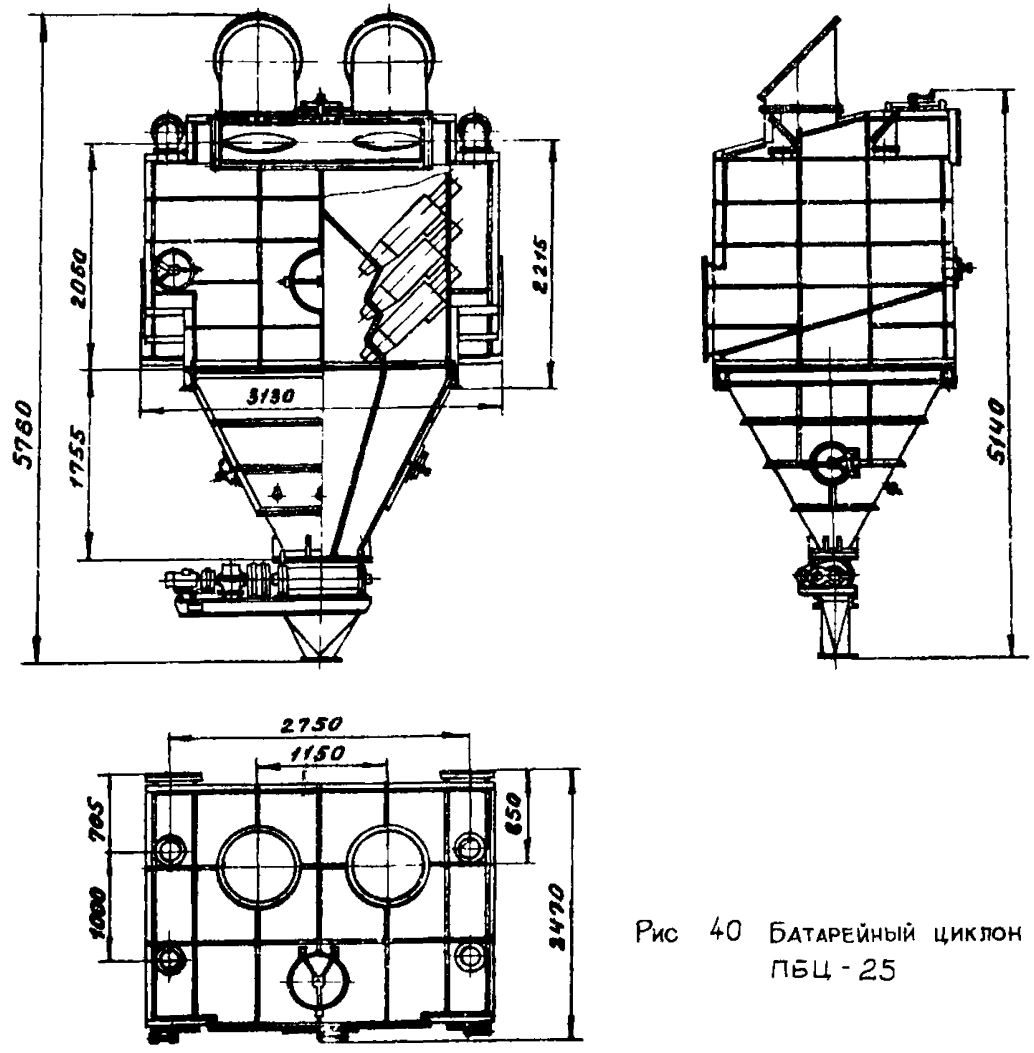


Рис 40 Батарейный циклон ПБЦ - 25

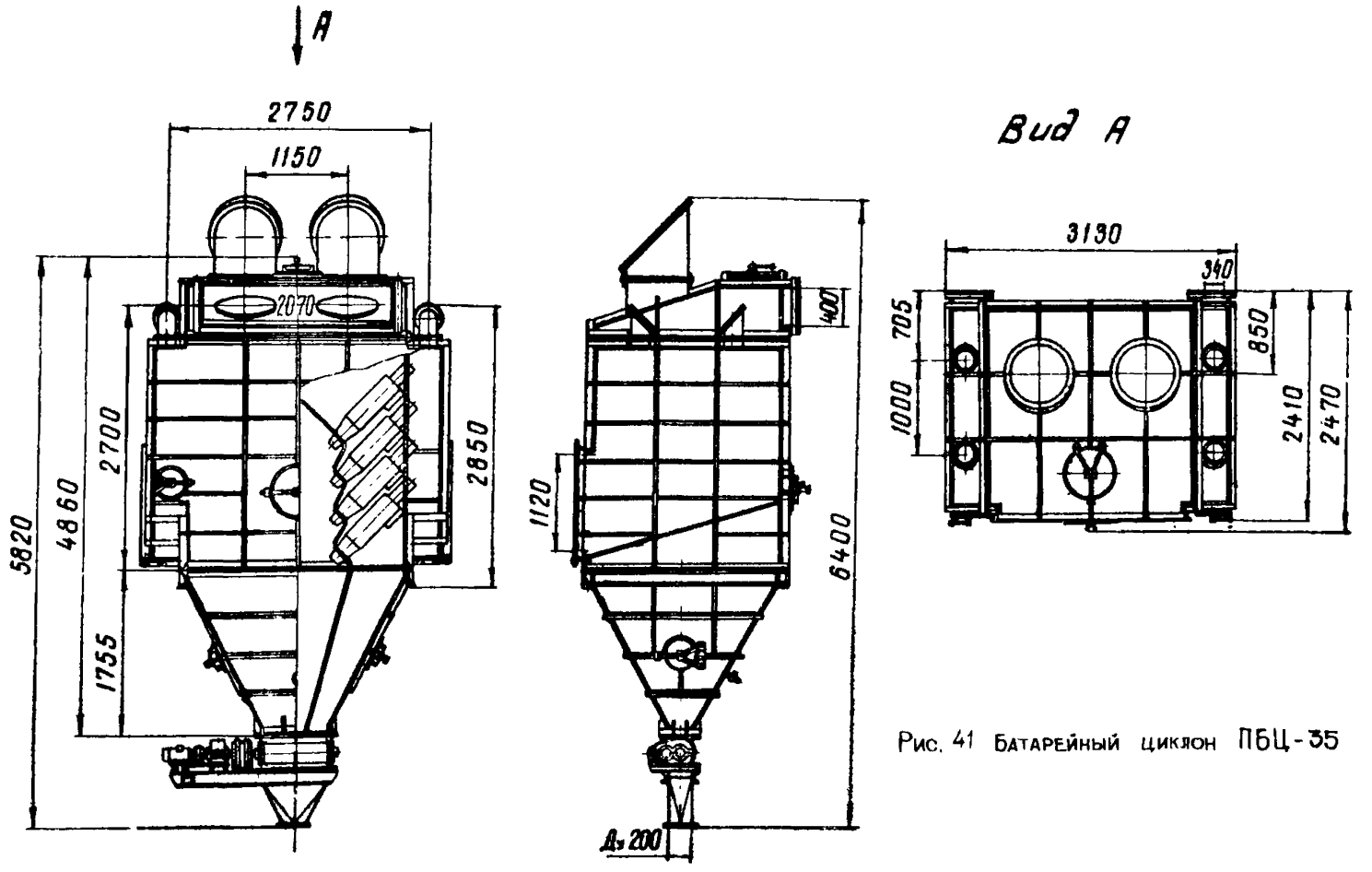


Рис. 41 Батарейный циклон ПБЦ-35

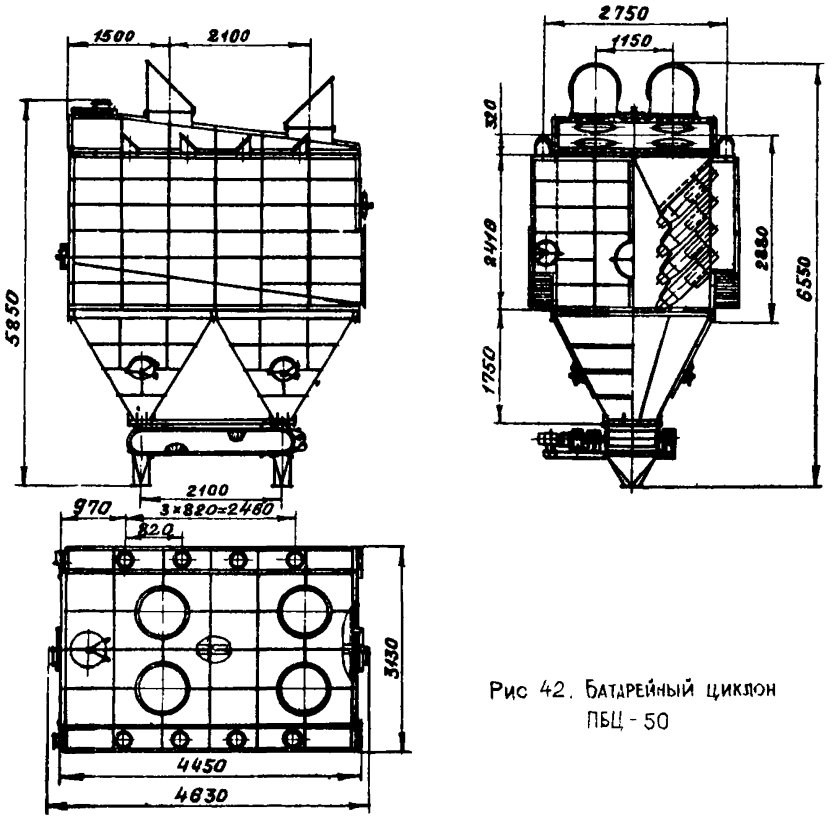


Рис 42. Батарейный циклон ПБЦ - 50

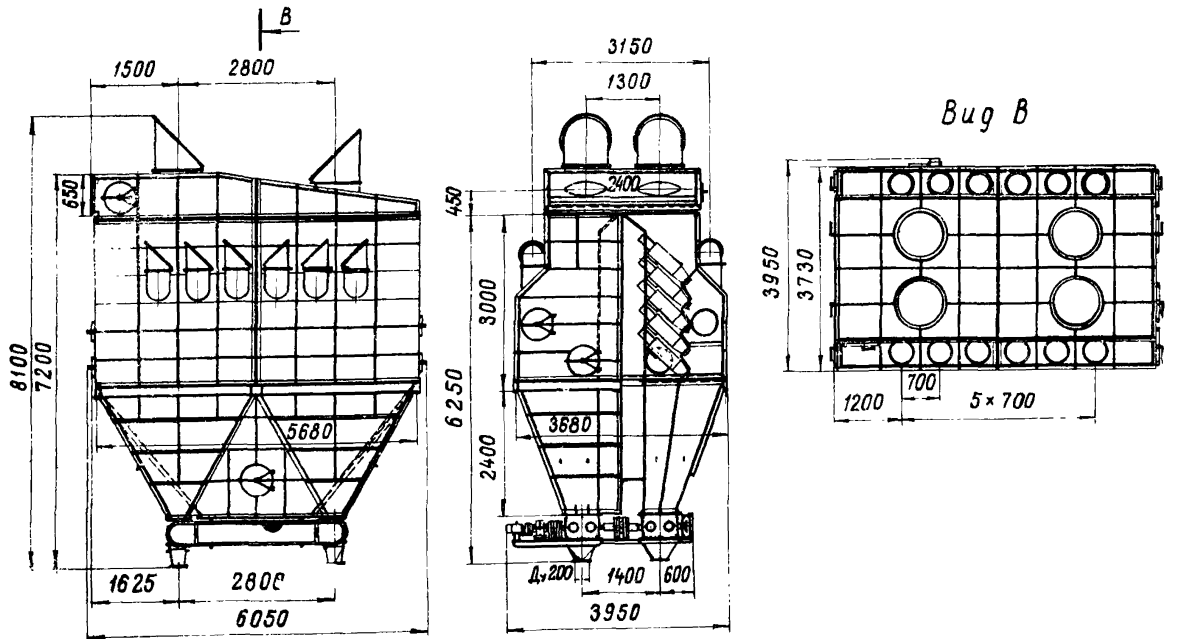


Рис. 43 Батарейный циклон ПБЦ-100

Основные технические данные батарейных циклонов ПБЦ приведены в табл. 36.

Таблица 36

Основная характеристика батарейных циклонов типа ПБЦ

Показатели	ПБЦ-15	ПБЦ-25	ПБЦ-35	ПБЦ-50	ПБЦ-100
Производительность, $м^3/ч$	12000--15000	25000--30000	35000--40000	50000--60000	до 100000
Число аппаратов, шт.	2	3	4	4	5
Гидравлическое сопротивление, кг/м2			130-150		
Габаритные размеры, мм:					
длина	3130	3130	3130	4630	6050
высота	2470	2470	2470	3130	3950
ширина	5270	5760	6400	6550	8100
Эффективность пылеулавливания, %	98	98	98	98	до 98
Масса, кг	4000	5000	6100	12500	20500
Стоимость, руб.	3500	3800	4850	7600	15000

Изготовитель и держатель чертежей - филиал № 2 объединения "Каргормаш" (г.Караганда),г.Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь", выпуск серийный.

МОКРЫЕ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛИ

Аппараты мокрого пылеулавливания МПР

Предназначены для окончательной очистки запыленных газов перед выбросом в атмосферу на сушильных установках углеобогатительных фабрик [5, 18, 19] .

Аппараты мокрого пылеулавливания типа МПР (рис. 44, 45) состоят из орошаемой коллекторной решётки, установленной в комплексе с газоходом типа трубы Вентури и шламоотделителя с закручивающим устройством типа неподвижного колеса вентилятора. Запыленный газ подается в аппарат через U -образный переходный газоход, в котором установлены две форсунки центробежного действия для подачи чистой жидкости на орошение коллекторной решётки и пылегазового потока. При прохождении газа через коллекторную решётку пылевые частицы вследствие действия инерционных сил осаждаются на её смоченных поверхностях, а также на многочисленных каплях воды, образующихся в результате вторичной диспергации орошающей жидкости газом в этой зоне. Смоченная в зоне решётки и скоагулированная пыль частично вместе с водой удаляется через гидрозатвор, а остальная часть её выносится в трубу Вентури, при прохождении которой пылегазовый поток интенсивно перемешивается с жидкостной фазой, в результате чего происходит дополнительное улавливание и коагуляция частиц. Смоченная пыль окончательно выделяется из газового потока в шламоотделитель с помощью закручивающего устройства и отводится из аппарата в бак в виде пульпы через шламоотводящие патрубки. Часть зашламованной воды из бака удаляется, а часть (до 30% основного расхода воды на орошение) подается в смесительную камеру и затем по трубопроводам - в конфузор трубы Вентури.

Основные технические данные аппаратов мокрого пылеулавливания МПР приведены в табл. 37.

Таблица 37

Основная техническая характеристика аппаратов мокрого пылеулавливания типа МПР

Показатели	МПР-75	МПР-100
Производительность по газу, $м^3/ч$	75000	100000-125000
Расход воды, $г/м^3$	$\leqslant$ 50	-
Диаметр циклона, мм	2500	3000
Аэродинамическое сопротивление, $кг/м^2$	150	-

Продолжение таблицы 37

Показатели	МПР-75	МПР-100
Число аппаратов, шт.	I	I
Габаритные размеры, мм:		
длина	5015	6500
высота	2900	3160
ширина	10380	12950
Эффективность пылеулавливания, %	99	до 99
Масса, кг	4950	6500
Стоимость, руб.	19700	-

Таблица 38

Зависимость КПД мокрых пылеуловителей МПР от фракционного состава

Фракция, мкм	Фракционные КПД, %
0-5	85,85
5-10	97,00
10-20	98,75
20-30	99,50
30-40	99,73
40-60	99,85
60	100

Фракционные КПД мокрых пылеуловителей МПР, которые были определены на основании промышленных и лабораторных испытаний при расходе воды 0,05 л/м^3 газа и скорости набегающего потока 22 м/с приведены в табл. 38.

Разработчик - институт Гипромашуглеобогащение.

Изготовитель - Карагандинский машзавод № 2 имени Пархоменко, выпуск серийный; г.Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь", изготовляются по индивидуальным заказам.

СКОРОСТНОЙ ПРОМЫВАТЕЛЬ СИОТ

Аппарат применяется в вытяжных (аспирационных) установках для очистки воздуха от различных видов смачиваемой пыли, за исключением цементирующейся и волокнистой, а также конденсационных аэрозолей [17] .

Промыватели рекомендуется применять при начальной концентрации пыли до 5 г/м^3. При концентрации пыли свыше 5 г/м^3

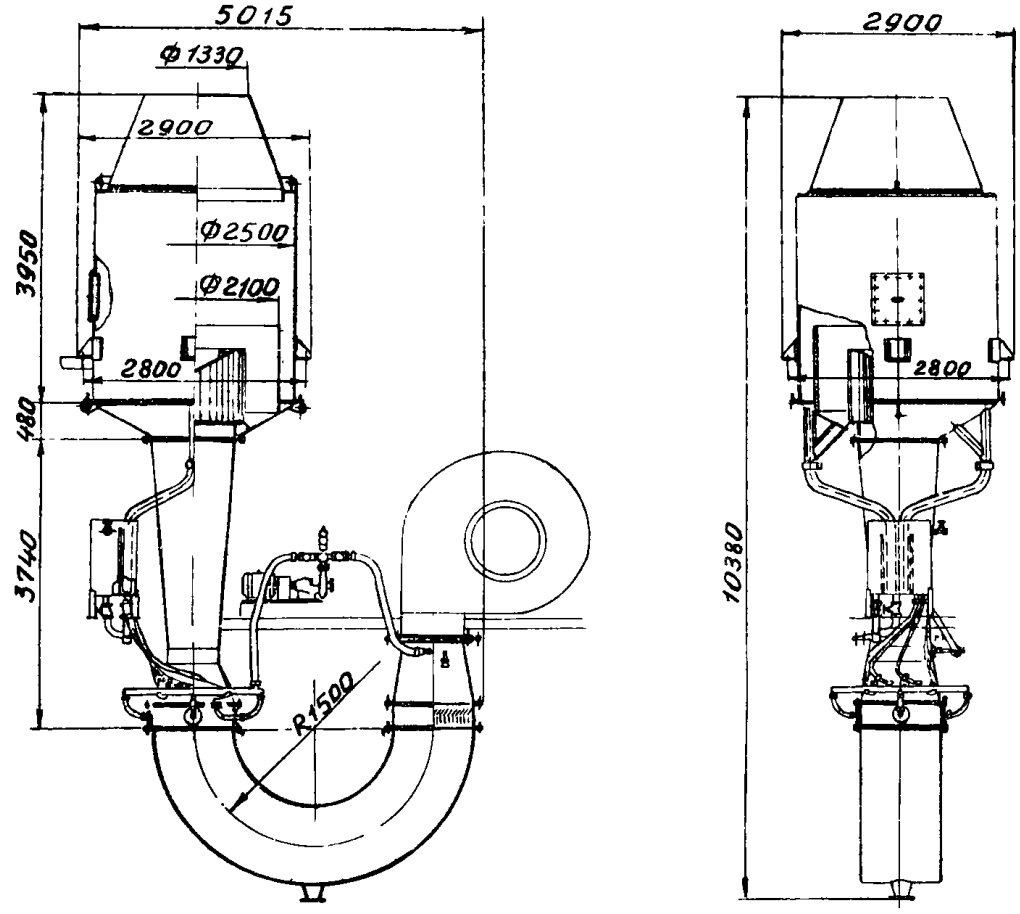


Рис. 44 Мокрый пылеуловитель МПР-75

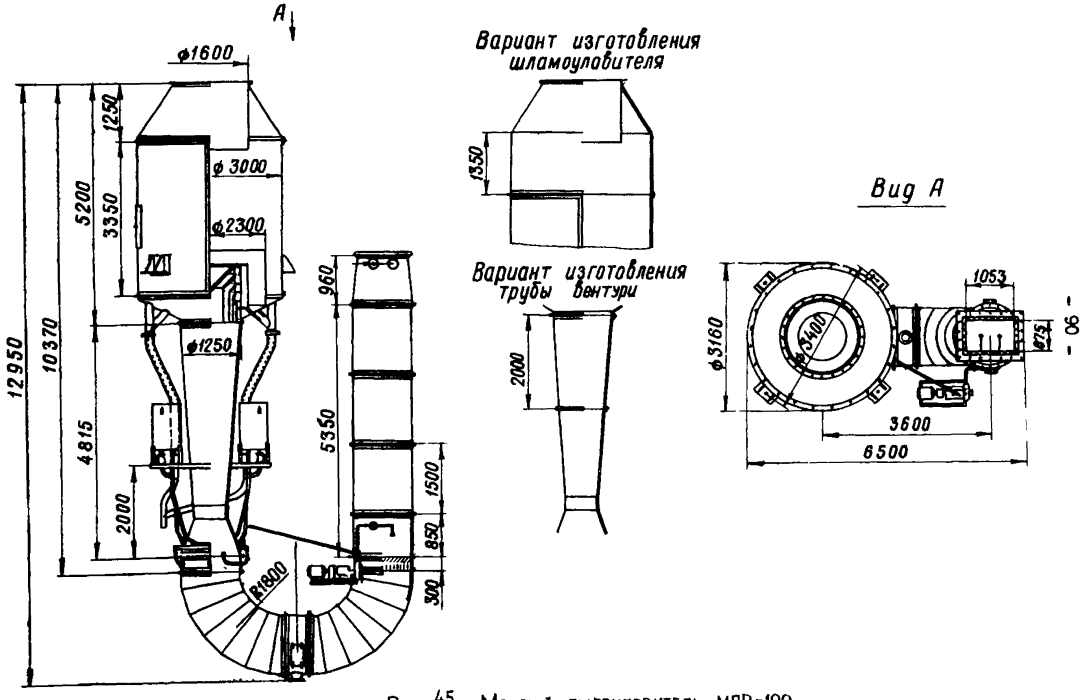


Рис 45 Мокрый пылеуловитель МПР-100

следует предусматривать предварительную очистку воздуха.

Скоростной промыватель СИОТ (рис. 46) представляет собой прямоточный мокрый пылеуловитель, состоящий из цилиндрического I и конического 2 корпусов, раскручивателя 5 и водопоодающей системы 9. Днище промывателя 6 выполнено в виде вин-

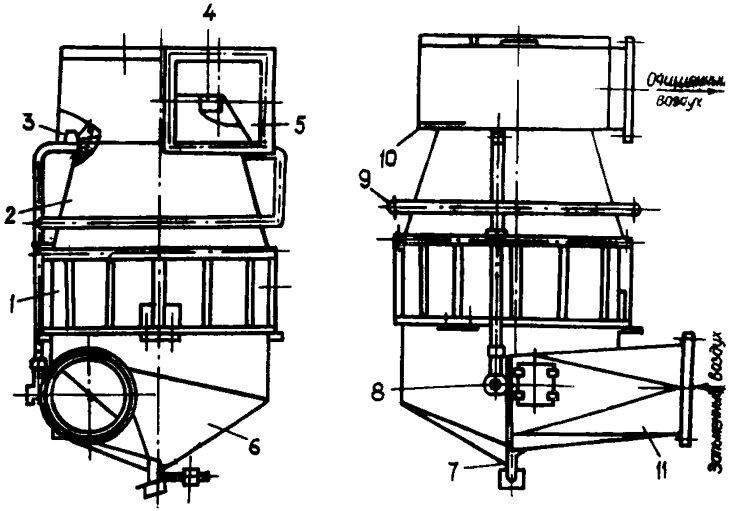


Рис. 46. Скоростной промыватель СИОТ

товой конической поверхности с вершиной на оси промывателя. К нижней и верхней кромкам днища примыкает входной патрубок II. В нижней части днища расположен сливной патрубок 7 с затвором - мигалкой, служащий для удаления шлама.

Часть воды через форсунки 3 подается в верхнюю зону промывателя на водораспределительное кольцо IO, с которого она стекает, смачивая стенки корпуса. Другая часть воды через нижнюю форсунку 8 подается в нижнюю зону промывателя. В верхней части конического корпуса предусмотрен кольцевой козырек 4, служащий для предотвращения брызгоуноса.

Улавливание пыли происходит путем осаждения её на смоченные стенки аппарата под действием центробежных сил, а также путем промывки воздуха водой, распыляемой воздушным потоком.

Вода, стекающая со стенок промывателя, поступает на винтовое коническое днище. Между нижней и верхней образующими этого днища через треугольное входное сечение в промыватель

поступает запыленный воздух. Вода увлекается потоком воздуха в направлении его вращения к верхней образующей, срывается с неё и направляется во входящий запыленный поток воздуха, тем самым увеличивая возможность соприкосновения пылинок с водой.

Очищенный воздух через раскручивающую улитку выходит из пылеуловителя.

Шлам удаляется из аппарата через сливной патрубок.

Основные технические данные скоростных промывателей СИОТ приведены в табл. 39.

Разработчик - Государственный проектный институт "Сантехпроект" (г.Москва).

Рабочие чертежи на скоростные промыватели СИОТ имеются в филиале ЦИТП (г.Тбилиси).

ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ ВЕНТИЛЯЦИОННЫЙ МОКРЫЙ ТИПА ПВМ

Аппарат применяется для очистки вентиляционных выбросов от неслипающихся и нецементирующихся пылей [20, 21].

Устройство пылеуловителя показано на рис. 47.

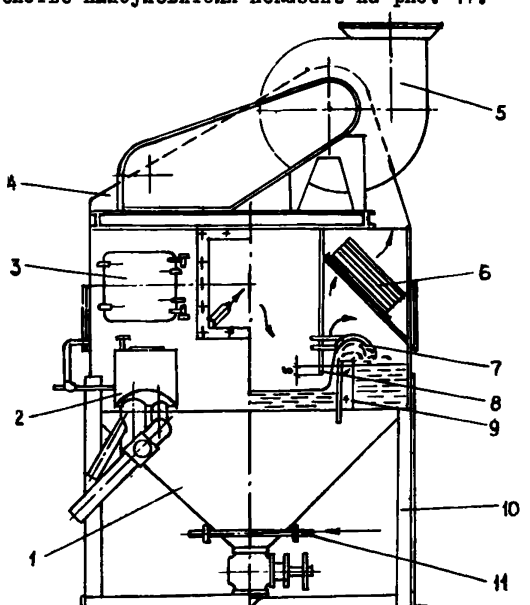


Рис. 47. Принципиальная схема пылеуловителя ПВМ

Таблица 39

Основная техническая характеристика скоростных промывателей СИОТ

Показатели	СИОТ-5	СИОТ-6	СИОТ-7	СИОТ-8	СИОТ-9	СИОТ-10	СИОТ-11	СИОТ-12	СИОТ-13
Производительность, $м^3/ч$, при входной скорости, м/с:									
14	12500	17500	25000	35000	50000	70000	100000	140000	200000
20	17500	25000	35000	50000	70000	100000	140000	200000	280000
Диаметр входного патрубка, мм	560	665	790	940	1120	1330	1590	1880	2240
Расход воды (максимальный), л/с	0,55	0,77	1,08	1,52	2,13	3,05	4,16	6,11	8,61
Гидравлическое сопротивление, $кг/м^2$				80-150					
Эффективность очистки, %				95-99					
Габариты, мм									
ширина	1590	1800	2085	2500	2900	3320	3800	4520	5420
длина	1855	2190	2590	3160	3740	4415	5260	6220	7450
высота	3170	3660	4250	4970	5820	6820	8000	9430	11170
Масса (общая), кг	755	1070	1440	2300	3150	4500	5960	8100	14030
Стоимость, руб.	163	215	362	503	831	1145	2101	2792	-

Пылеуловитель состоит из корпуса I, перегородок 8 и 9, каплеотбойника 7, каплеуловителя 6 и вентагрегата 5. На стенке корпуса крепится устройство 2 для регулирования верхнего уровня воды. В нижней части бункера предусмотрена запорная арматура II и устройство для слива шлама (для пылеуловителя вентиляционного мокрого сливного типа ПВМС). В комплект пылеуловителя входит электрощит.

Очистка воздуха происходит следующим образом. Запыленный воздух поступает в корпус через отверстие в его боковой стенке. При работе вентилятора уровень воды устанавливается так, что в среднем отсеке пылеуловителя между перегородками 8 уровень воды ниже, чем за перегородками 9. Между поверхностью воды и перегородкой 8 образуется щель, через которую воздух устремляется с большой скоростью в виде плоской струи, частично увлекая с собой воду. Встречая на своём пути перегородку 9 струя отклоняется вверх, причем на поверхность перегородки, смоченную водой, осаждаются сепарирующиеся из струи пылевые частицы. Увлеченная воздухом вода перетекает вверх по перегородкам 9, отклоняется каплеотбойниками и сливается в крайние отсеки. Воздух проходит через каплеуловители и выбрасывается наружу вентилятором.

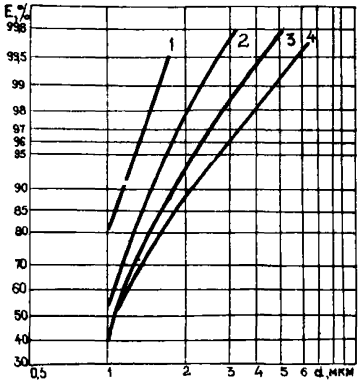


Рис. 48. Зависимость эффективности (E) пылеуловителей ПВМ от фракционного состава (d) при различных уровнях воды I,2,3,4 - уровень воды 300, 200, 80 и 40 мм соответственно.

Пылеуловители ПВМ разработаны в двух исполнениях: ПВМС - со сливным удалением шлама и ПВМК - с механизированным скребковым удалением шлама.

Основные технические данные пылеуловителей ПВМ приведены в табл. 40. Расход воды в пылеуловителях ПВМС составляет 20 г на г уловленной пыли, но не менее 120 г/м^3 очищаемого воздуха; расход водч в пылеуловителях ПВМК - 5-10 г/м^3. Фракционная эффективность пылеуловителей зависит от поддерживаемого в них уровня воды (рис. 48).

Таблица 40

Основная техническая характеристика пылеуловителей ПВМ со сливным (С) и конвейерным (К) удалением шлама

Показатели	Типоразмер пылеуловителей									
	3с	3к	5с	5к	10с	10к	20с	20к	40с	40к
Номинальная производительность по воздуху, м³/ч	3000		5000		10000		20000		40000	
Тип, № установленного вентилятора	ц 13-50 № 3,2		цп 7-40 № 5		цп 7-40 № 6		цп 7-40 № 8		ц 4-76 № 10	
Мощность электродвигателя вентилятора, квт	3-5,5		4-17		7,5-22		13-40		22-40	
Объем воды в бункере пылеуловителя, м³	0,45	I	0,65	I,75	I,45	2,3	2,2	3	5,5	5,8
Расход воды, л/ч	300-500	-	600--1000	-	1200--2000	50-100	2400--4000	100-200	4800--8000[x]	200-400
Длина перегородок, м	0,8		I,2I		2		4		8	
Гидравлическое сопротивление, кг/м²										

Продолжение таблицы 40

Показатели	Типоразмер пылеуловителей									
	3с	3к	5с	5к	10с	10к	20с	20к	40с	40к
Эффективность очистки, %	95 - 99,6									
Габариты, мм										
ширина	1100		1110		1514	1800	2314	2500	2416	2500
длина	1250	-	1650	-	2500	3683	2510	3683	4710	5900
высота	2794		3085		3412	3585	3680	4060	4110	4200
Масса электродвигателя вентилятора, кг	35-57		60-154		93-208		140-333		208-333	
Масса пылеуловителя без воды и электродвигателя, кг	676	-	815	-	1395	1700	1942	2300	4737	-

[x] Температура очищаемого воздуха ≤ 40 °С. Первое значение соответствует запыленности ≤ 6 г/м³, второе - 15 г/м³.

Расход воздуха на I м длины перегородки принимается от 2000 до 6000 м^3/ч. Сопротивление пылеуловителей определяется по графику на рис. 49.

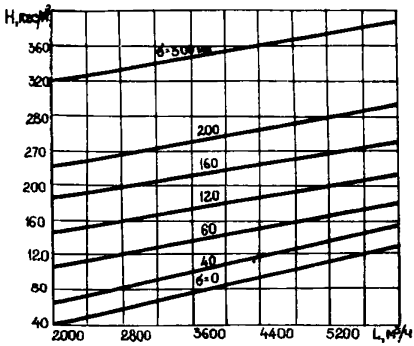


Рис. 49. Зависимость сопротивления (H) пылеуловителей ПВМ от расхода воздуха (L) при различных уровнях воды
I,2,3,4,5,6,7 - уровень воды 300, 200, I60, I20, 80, 40 и 0 мм соответственно.

Разработчик - институт ЦНИИпромзданий.

Изготовитель - Мингечаурский завод дорожных машин (г.Мингечаур, Азербайджанской ССР).

КОАГУЛЯЦИОННЫЙ МОКРЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ КМП

Предназначен для очистки воздуха от крупно-, средне- и частично мелкодисперсной зернистой пыли в установках обеспыливающей вентиляции. Областью преимущественного применения пылеуловителей КМП являются аспирационные установки рудоподготовительных предприятий и эстакад доменных цехов черной металлургии. Аппараты КМП могут быть установлены на предприятиях других отраслей промышленности для очистки воздуха от минеральной пыли, содержащей до I5% цементирующихся и слипающихся веществ и образовавшейся в результате дробления, сортировки, истирания и пересыпки минералов и продуктов их переработки. Указанные пылеуловители следует применять при отсутствии в вентиляционных выбросах токсических веществ и пыли, образующей агрессивные водные растворы [22] .

Коагуляционный мокрый пылеуловитель типа КМП (рис. 50) состоит из двух основных частей: трубы-коагулятора и каплеуловителя.

Труба-коагулятор (труба Вентури) состоит из воздухоподводящего патрубка 2, конфузора I7, горловины I6, диффузора I4 и водоподающих устройств. На воздухоподающем патрубке имеется штуцер для подсоединения микроманометра, отверстие для отбора воздушных проб и герметический люк 3 для осмотра водоподающих устройств.

Основная подача воды (штуцер 2) осуществляется через сопло с отбойником (на рис. 50 не показаны), установленные по оси трубы в зоне конфузора. Для удобства ревизии соединение сопла с трубой выполнено легкоразъёмным. В целях предотвращения отложений шлама на границе раздела сухой и мокрой поверхности корпуса предусмотрена дополнительная подача воды в виде пленки, равномерно стекающей из водяной камеры I8. Вода к камере подводится через патрубок I и полукольцевой коллектор I9 с двумя штуцерами, приваренными к корпусу камеры.

Каплеуловитель 8 представляет собой циклон типа ЦВП. Он состоит из корпуса с воздухоподводящим патрубком I2 и воздухоотводящей улитки 5. Направление воздухоподводящего патрубка можно менять. В нижней части корпуса имеется фланец, к которому крепится гидрозатвор 9 для отвода шлама. С целью промывки каплеотделителя при периодическом орошении его стенок в верхней части корпуса установлены сопла. Вода к соплам подается через резиновые трубки, присоединенные к кольцевому коллектору 6. Для наблюдения за работой сопел и осмотра каплеотделителя на воздухоотводящем патрубке установлен люк. На гидрозатворе имеется штуцер подвода воды I0 для взмучивания осевшего шлама и периодической промывки гидрозатвора.

Каплеуловители могут быть правого (вращение воздушного потока по часовой стрелке) и левого исполнения.

Принцип действия аппарата основан на осаждении частиц пыли на каплях орошающей воды из-за различия в скорости их движения. Эффективность улавливания в трубах-коагуляторах увеличивается с ростом скорости воздуха и удельного расхода воды. При увеличении скорости воздуха в конфузоре степень дисперсности жидкой фазы возрастает; в диффузоре капли воды увеличиваются. Экспериментально установлено, что чем больше затраты энергии на ввод, дробление и перемещение орошающей жидкости, тем боль-

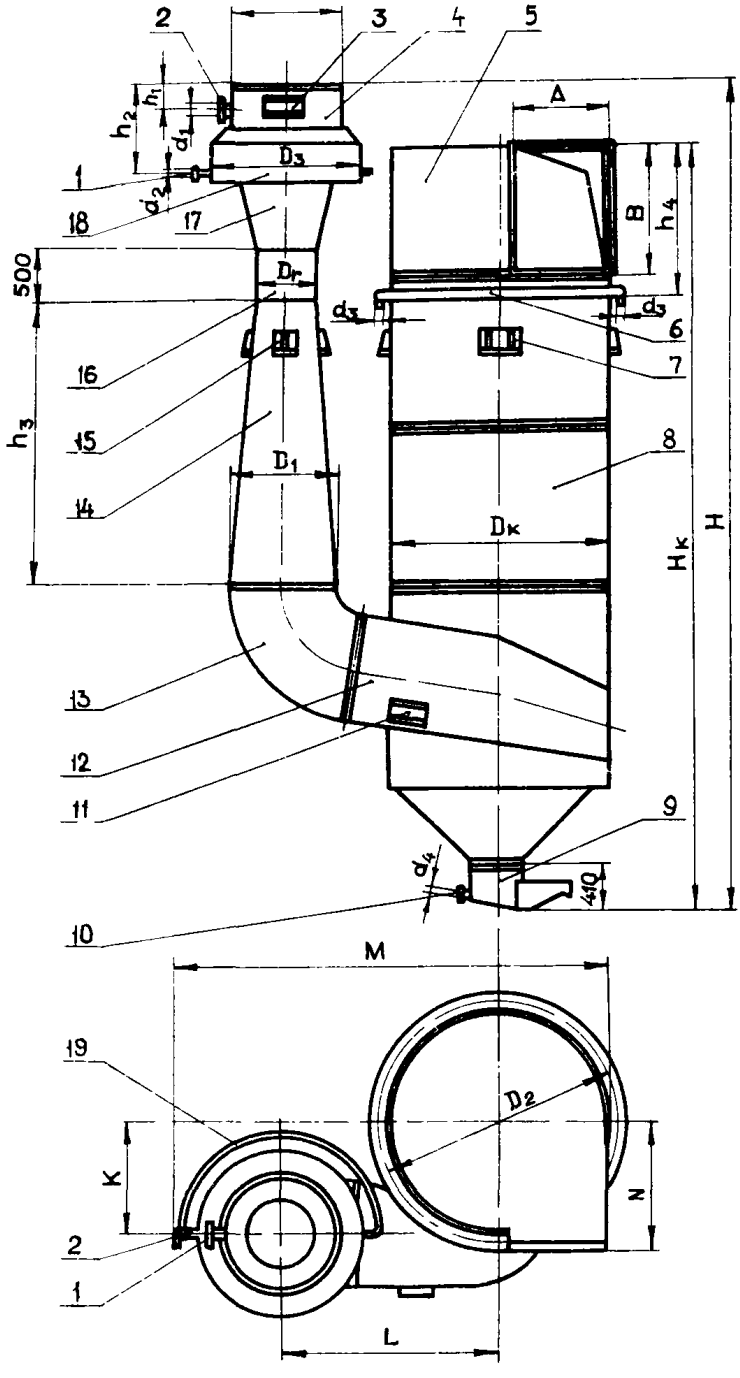


Рис. 50 Коагуляционный пылеуловитель КМП

Таблица 4I

Основные технические характеристики коагуляционных мокрых пылеуловителей КМП

Показатели	КМП-2,5	КМП-3,2	КМП-4,0	КМП-5,0	КМП-6,3	КМП-7,I	КМП-8,0	КМП-I0,0
Производительность, $м^3/ч$	7I00-I2400	I6300-28600	I8I00-3I700	28300-49500	44900-78500	57000-99700	72300-I26600	II3000-I97800
Диаметр горловины трубы Вентури, мм	250	320	400	500	630	7I0	800	I000
Диаметр пылеуловителя, мм	I200	I440	1800	2I20	2520	2920	3220	-
Удельный расход воды, $л/м^3$				0,2-0,6				
Скорость воздуха в горловине трубы коагулятора, м/с				40-70				
Запыленность поступающего воздуха, не более, $г/м^3$				30				
Содержание твердых примесей при рециркуляции отработанной воды не более, г/л				0,5				
Высота, мм	3350	4990	5630	7866	8656	9496	I0086	-
Гидравлическое сопротивление, $кг/м^2$				I20-350				
Эффективность улавливания, %				95,3-99,2				

ше контактирование пылевых частиц с каплями воды и тем выше эффективность работы аппарата.

Пылеуловитель КМП крепится к основанию с помощью опор I5 и 7. Тип и конструкция основания определяются по условиям строительной части.

Основные технические характеристики и размеры пылеуловителей КМП приведены в табл. 4I и 42.

Таблица 42

Основные размеры пылеуловителя КМП (мм)

Обозначения	КМП-2,5	КМП-3,2	КМП-4,0	КМП-5,0	КМП-6,3	КМП-7,I	КМП-8,0	КМП-I0,0
$D_г$	250	320	400	500	630	7I0	800	I000
$D_к$	I000	I200	I500	I900	2300	2700	3000	-
D_1	450	500	700	900	II20	I250	I400	I800
D_2	I200	I440	I800	2I20	2520	2920	3220	-
D_3	740	980	I240	I450	I600	I850	2050	2500
d_1	50	70	70	80	I00	I25	I25	-
d_2	25	32	32	40	40	40	40	-
d_3	50	80	80	80	I00	I00	I00	-
d_4	20	20	20	25	25	25	25	-
H	3350	4990	5630	7866	8656	9496	I0086	-
$H_т$	2570	3020	3580	4450	5280	5790	6350	-
$H_к$	4000	4820	5630	6966	7876	9606	I0776	-
h_1	240	240	240	525	335	370	350	-
h_2	620	620	750	II40	II40	II40	II40	-
h_3	II20	I440	I800	2250	2030	3I00	3600	4500
h_4	780	I000	I030	I450	I700	I860	2I40	-
A	350	4I0	530	670	8I0	950	I250	-
B	620	750	930	II20	I430	I600	I260	-
M	2360	2800	3540	3960	4670	5220	58I0	-
K	445	590	720	900	I090	I270	I6I0	-
E	IIIO	I240	I650	I900	2300	2600	2250	-
N	600	765	900	I000	I300	I500	I650	-

Разработчик - Государственный проектный институт "Промстройпроект" (г.Ленинград).

РОТОКЛОН "УРАЛ"

Применяется для очистки газов плавильных печей и запыленного воздуха аспирационных систем [23-25] .

Ротоклон "Урал" (рис. 5I) состоит из корпуса I, имеющего патрубки 2 и 4 подвода и отвода газа, соответственно. Внутри корпуса установлены верхние 3 и нижние 8 перегородки.

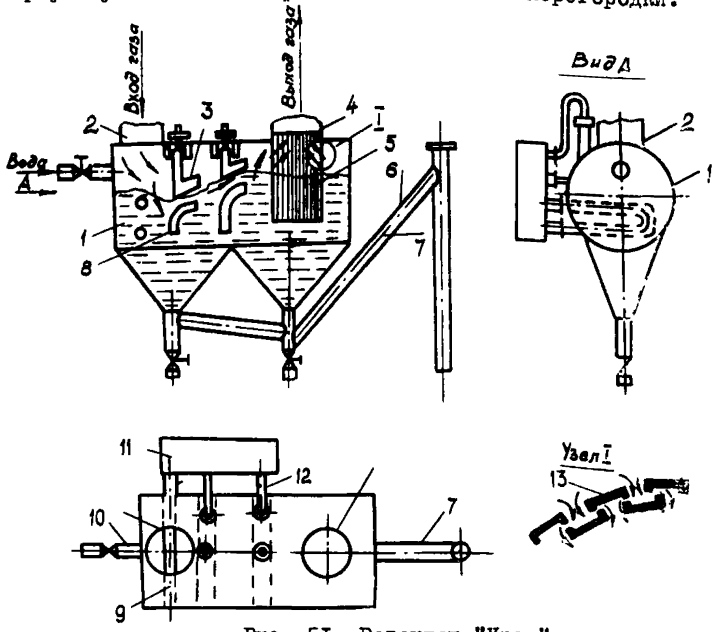


Рис. 5I. Ротоклон "Урал"

Верхние перегородки выполнены с возможностью перемещения по вертикали. Каплеуловитель 5 выполнен в виде жалюзийной концентрической решетки из швеллеров I3. Для слива отработанной жидкости предусмотрен гидрозатвор 6 и дроссельный клапан 7. Перегородки 3 и 8 выполнены полыми и снабжены трубопроводами 9 и I2 подачи теплоносителя, которые соединены с холодильником II. Для подвода жидкости предусмотрен патрубок I0.

Ротоклон "Урал" работает следующим образом.

Загрязненный газ с температурой до 500 ^{0}С и содержанием пыли $\leq$ I00 г/м^{3} при давлении не более 5 атм. поступает через патрубок 2 и промывается скоростным потоком мельчайших

капель воды и пены в рабочем канале между перегородками.

При работе аппарата непрерывно образуется пена и заполняет свободное пространство под крышкой ротоклона.

Скорость газа в каналах регулируется с помощью верхних перегородок. При этом гидравлическое сопротивление ротоклона изменяется от 100 кгс/м^2 до полного прекращения движения газа через ротоклон. С увеличением скорости газа и гидравлического сопротивления аппарата повышается интенсивность тепло-массообмена и степень очистки.

Газ и жидкость в ротоклоне охлаждаются через полые перегородки холодильником II.

Отработанная жидкость с содержанием шлама 5-70 г/л направляется в отстойники системы оборотного водоснабжения.

Очищенный газ с содержанием пыли 1-5 мг/м^3 и температурой 10-20 ^{0}С направляется через каплеуловитель 5 в патрубок отвода газа.

По сравнению с трубами Вентури ротоклоны "Урал" имеют следующие преимущества:

I. Низкие капитальные и эксплуатационные затраты на очистку газа. Сметная стоимость ротоклона производительностью 10-15 тыс.м^3/ч составляет 600 руб., себестоимость очистки 1000 м^3 газа от пыли размером +5 мкм и от аэрозолей кислот составляет 5 коп.

2. Благодаря естественной внутренней рециркуляции жидкости вокруг нижних перегородок ротоклоны могут работать на грязной воде с минимальными удельными расходами её на очистку газа. Внутренняя рециркуляция жидкости в ротоклонах позволяет в ряде случаев отказаться от сооружения и эксплуатации дорогостоящих оборотных циклов водоснабжения и водоочистки. Многократность промывки газа в одном компактном аппарате и одновременное действие на улавливаемую пыль инерционного, диффузионного и абсорбционного эффекта позволяют очищать газ при более низком гидравлическом сопротивлении, то есть с меньшими энергозатратами. Распыление очистной жидкости в мельчайшие капли и пену производится в аппарате за счет собственной энергии газового потока. Поэтому в ротоклоне нет форсунок, обслуживание его заключается лишь в непрерывной подаче воды взамен испаренной и в периодическом удалении уловленной пыли из бункера через конусные затворы или скребковым транспортером. Производительность ротоклонов "Урал" и

режимы их работы легко регулируются изменением положения верхних перегородок и подвижного регулятора уровня жидкости. Аэрогидродинамика аппарата устойчива в широком диапазоне скоростей газа (10-500 м/с) и удельных расходов жидкости на очистку газа (0,01-30 кг/м^3 газа).

Основная техническая характеристика ротоклонов "Урал" приведена в табл. 43.

Таблица 43

Основные технические характеристики ротоклонов "Урал"

Показатели	I	2	3
Производительность, м^3/ч	10000-15000	30000-40000	60000-80000
Температура поступающих газов не более, °С	500	500	500
Запыленность поступающих газог не более, г/м^3	100	100	100
Расход воды, м^3/ч	0,6-6	0,6-6	0,6-6
Гидравлическое сопротивление не более, кГс/м^2	1000	1000	1000
Размеры, мм			
длина	2800	4350	5800
ширина	1200	1550	-
высота	3160	3150	5700
Эффективность очистки, %	99-99,9		
Масса, кг	-	1873	9986
Цена, руб.	600	-	-

Разработчик - институт "Уралэнергочермет" (г.Свердловск).

ЦИКЛОНЫ С ВОДЯНОЙ ПЛЕНКОЙ ТИПА ЦВП

Аппараты предназначены для очистки запыленного воздуха, удаляемого вентиляционными установками, перед выбросом в атмосферу. Циклоны рекомендуются для любых видов нецементирующейся пыли, в том числе образующейся при обработке и

транспортировании песка, глины, угля, известняка, абразивов и различных руд, а также влажной, липкой и содержащей волокнистые включения [21, 22] .

Циклон ЦВП (рис. 52) состоит из цилиндрического корпуса I с воздухоподводящим патрубком 2 и воздухоотводящей улитки 3, присоединенной к верхнему фланцу корпуса. К нижней части корпуса прикреплен шламоотводящий конус 6, который при заполнении шламом образует гидравлический затвор.

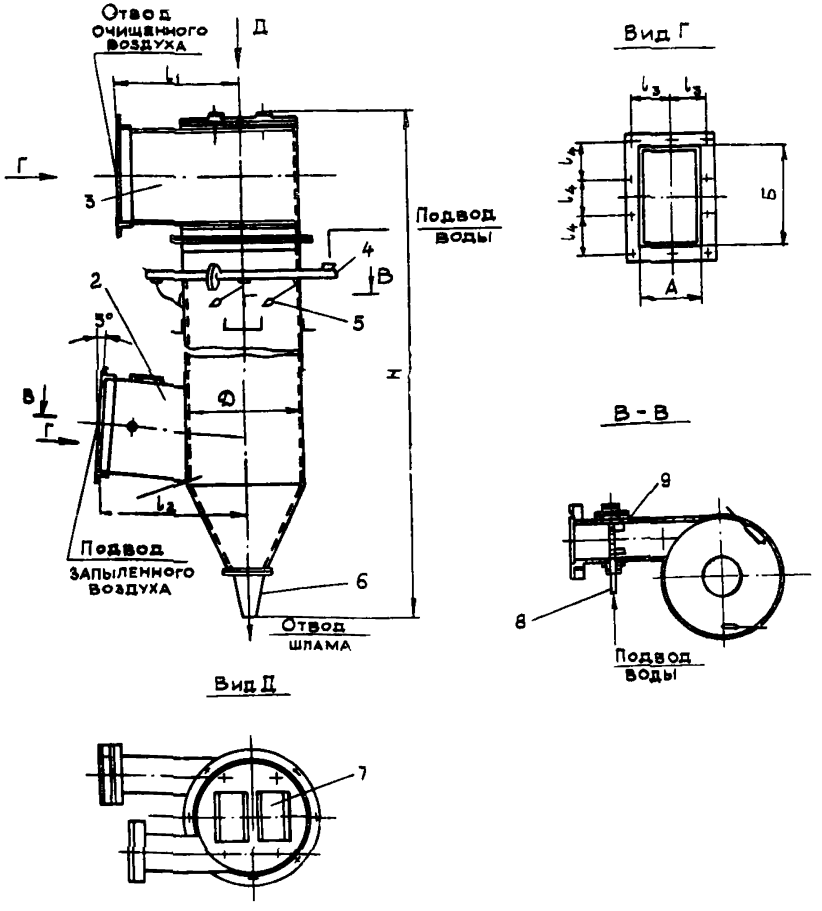


Рис. 52. Циклон с водяной пленкой типа ЦВП

Вода для орошения внутренней поверхности корпуса под давлением 0,2-0,25 атм подается по трубе диаметром 3/4" из уравнительного бачка шаровым клапаном к соплам 5 по резиновым трубкам, присоединенным к кольцевому коллектору 4. Для наблюдения за работой сопел в верхнем днище улитки имеются два люка, закрытые застекленными крышками 7.

В воздухоподводящем патрубке (рис. 52, вид в-в) предусмотрено смывное устройство для удаления отложений шлама в месте входа воздуха в корпус циклона. Устройство состоит из поворотной трубы 8 с соплами 9. Вода к смывному устройству подводится по резиновому шлангу.

Циклоны ЦВП могут применяться в качестве одной ступени очистки поступающего воздуха при пылесодержании 10 г/м^3. При больших значения пылесодержания эти циклоны рекомендуются в качестве второй ступени очистки.

Циклоны устанавливаются в помещениях с температурой не ниже 2^{0}С. При использовании циклонов для очистки нагретого воздуха и установки их вне помещения необходимо принять меры, предупреждающие замерзание воды в уравнительном бачке, водоподводящей системе, коллекторе, смывном устройстве и шламоотводящем конусе.

Циклоны бывают следующих исполнений: по направлению вращения воздуха в корпусе - правого и левого, по скорости входа воздуха в корпус - основного и с повышенной скоростью.

Основные технические данные пылеуловителей ЦВП приведены в табл. 44.

Разработчик - государственный проектный институт "Проектпромвентиляция" (г.Москва).

ПРЯМОТОЧНЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ ПМ-35А

Прямоточный мокрый пылеуловитель ПМ-35А предназначен для санитарной очистки запыленного воздуха системы промышленной вентиляции [17, 19, 26] .

Пылеуловитель (рис. 53) состоит из вентилятора 1 с водяной турбиной 8 и мокрого сепаратора - каплеуловителя 3.

Таблица 44

Основные технические характеристики циклонов с водяной пленкой типа ЦВП

Показатели	ЦВП-3		ЦВП-4		ЦВП-5		ЦВП-6		ЦВП-8		ЦВП-10	
	Основное исполнение	С повышенной скоростью	Основное исполнение	С повышенной скоростью	Основное исполнение	С повышенной скоростью	Основное исполнение	С повышенной скоростью	Основное исполнение	С повышенной скоростью	Основное исполнение	С повышенной скоростью
Производительность, $м^3/ч$	1300--2000	1300--1700	2000--3200	2000--2700	3200--5000	3200--4200	5000--8000	5000--6700	8100--12800	8100--10900	12700--20000	12700--17000
Диаметр циклона, мм	315		400		500		630		800		1000	
Расход воды, л/с	1,24	0,67	1,37	0,69	1,61	0,81	1,87	0,94	2,35	1,68	2,73	2,02
Гидравлическое сопротивление, $кгс/м^2$	36-91,5	94-178	36-91,5	94-178	36-91,5	94-178	36-91,5	94-178	36-91,5	94-178	36-91,5	94-178
Допустимая начальная запыленность, $г/м^3$	10		10		10		10		10		10	
Эффективность очистки, %	98-99											
Габариты, мм												
длина	603		560		890		1080		1425		1835	
ширина	315		400		500		630		800		1000	
высота	2434		3014		3684		4554		5699		7044	
Масса, кг	64		107		161		237		370		570	

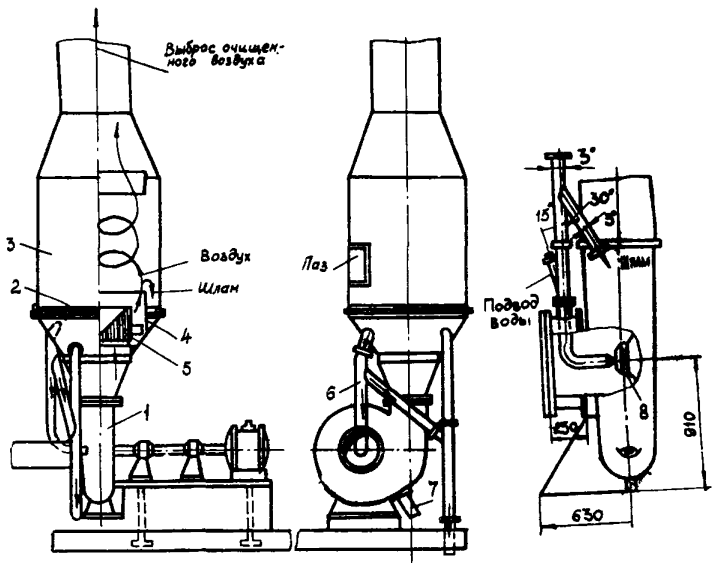


Рис. 53. Пылеуловитель ПМ-35А

Принцип действия пылеуловителя следующий. На турбину, вмонтированную в рабочее колесо вентилятора, подается вода, которая при вращении турбины мелко разбрызгивается, создавая завесу. Запыленный газ, засасываемый вентилятором, проходит через водяную завесу и очищается от пыли с образованием шлама. Шламо-газовая смесь выбрасывается ротором вентилятора в сепаратор. При этом часть шлама удаляется через выводную трубу 7, а остальной шламо-газовый поток ударяется о конус 2 решетки 5, получает вращательное движение и отбрасывается к стенкам направляющего цилиндра 4. Достигнув направляющего цилиндра, шлам теряет скорость, выпадает из газового потока и через шламоотводящую трубу 6 удаляется из сепаратора.

Для лучшей смачиваемости пыли часть шлама непрерывно отводится в водяную турбину.

Очищенный воздух, сохраняя вращательное движение, перемещается вверх и выходит из сепаратора.

Основные технические характеристики пылеуловителя ПМ-35А приведены в табл. 45.

Таблица 45

Основные технические характеристики прямоточного пылеуловителя ПМ-35А

Производительность, $м^3/ч$	≤35000
Запыленность поступающего газа, $г/м^3$	2-4
Развиваемый напор, $кг/м^2$	450
Электродвигатель:	
тип	ВАО-101-4
мощность, кВт	125
Расход воды, $м^3/ч$	2,5
Габариты, мм:	
длина	2945
ширина	2500
высота	6984
Гидравлическое сопротивление, $кг/м^2$	70-80
Эффективность пылеуловителя, %	98-99
Масса, кг	5830
Стоимость, руб	4500

Таблица 46

Зависимость эффективности очистки мокрого пылеуловителя ПМ-35А от фракционного состава

Размер фракций, мкм	Эффективность, %
0-5	82,3
5-10	95,6
10-20	98,3
20-30	99,4
30-40	99,6
40-60	99,8
> 60	100

В табл. 46 приведена фракционная эффективность очистки мокрого пылеуловителя ПМ-35А при расходе воды 100 $г/м^3$ очищаемого газа и скорости газа перед решёткой сепаратора 22 м/с.

Разработчик - институт Укрнииуглеобогащение.

Изготовитель - Артемовский машиностроительный завод (г.Артемовск, Свердловской области).

ТКАНЕВЫЕ ФИЛЬТРЫ

МНОГОСЕКЦИОННЫЙ РУКАВНЫЙ ФИЛЬТР РФГ

Предназначен для сухой очистки запыленных газов в технологических и аспирационных системах промышленной вентиляции [I7, 2I, 27] .

Фильтр РФГ (рис. 54) состоит из корпуса I, бункера 5 с приемной и распределительной коробками 4, фильтрующих рукавов, крышки с механизмом управления 2, встряхивающего устройства 3, диффузора входа запыленного газа 7, коллектора выхода очищенного газа 6 и устройства для выгрузки уловленной пыли 8.

Подлежащий очистке газ через входной диффузор направляется в газораспределительный короб. Из пирамидальной части газы поднимаются вверх и, пройдя решётку, попадают во внутреннюю полость рукавов. При прохождении газа через фильтрующую ткань пыль оседает на внутренней поверхности. Очищенный газ межтрубного пространства секций направляется в коллектор выхода газа и выбрасывается из аппарата.

Регенерация ткани осуществляется путем продувки и механического встряхивания. Для этого фильтр снабжается механизмом встряхивания и переключения.

При регенерации секция отключается от сборного коллектора чистого воздуха.

Продолжительность встряхивания одной секции составляет около I мин., а цикл регенерации может устанавливаться раз 4 мин. или 8,5 мин.

Отделившаяся от ткани пыль поступает в коническую часть бункера, а загрязненный продувочный воздух направляется в коллектор бункера, где смешивается с запыленным газом.

Продувка секции осуществляется специальным вентилятором.

Основные технические данные рукавных фильтров РФГ приведены в табл. 47.

Изготовитель - Куйбышевский завод "Строммашина" (г.Куйбышев). С 1979 года выпуск фильтров РФГ прекращен.

РУКАВНЫЕ ФИЛЬТРЫ ФРКИ

Рукавные фильтры с импульсной продувкой НИИОГАЗа типа ФРКИ предназначены для улавливания пыли из технологических выбросов и систем промышленной вентиляции [I7] .

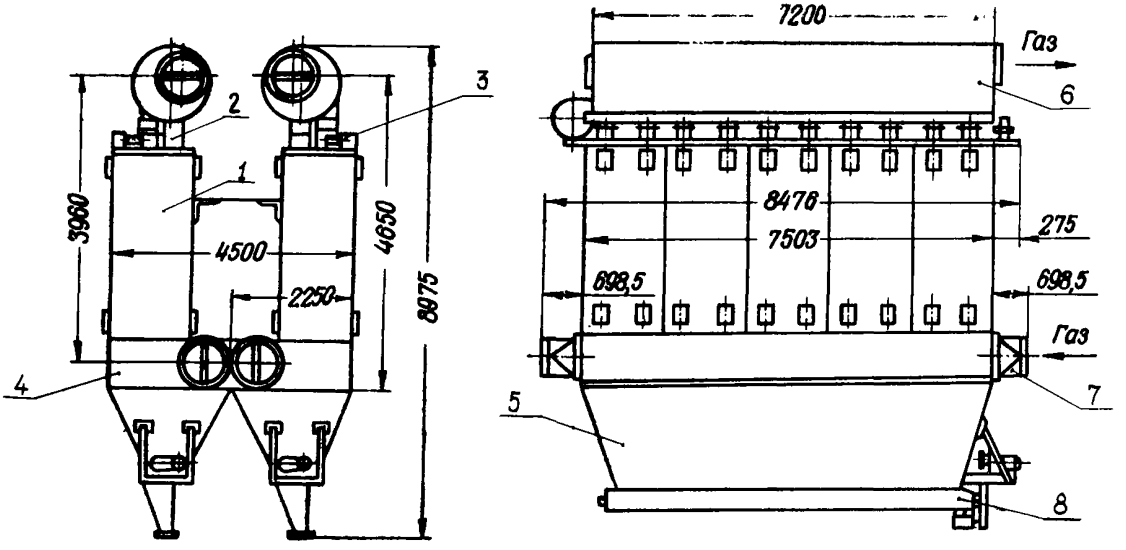


Рис. 54 Рукавный фильтр РФГ десятисекционный сдвоенный.

Таблица 47

Основные технические характеристики рукавных фильтров РФГ

Показатели	Одинарный фильтр				Сдвоенный фильтр			
Производительность, $м^3/ч$	II20	I8900	22300	28000	22300	33500	44700	56000
Поверхность фильтрации, $м^2$	II2	I63	224	280	224	336	448	560
Число секций, шт.	4	6	8	I0	8	I2	I6	20
Количество рукавов, шт.	56	84	II2	I40	II2	I68	224	280
Общая установочная мощность электродвигателей, квт	II,5	II,5	II,5	II,5	23	23	23	23
Материал рукава	Нитрон марки НЦМ или сукно фильтровальное № 2 (ГОСТ 6986-69)							
Размеры рукавного фильтра, мм								
диаметр	220				220			
длина	3I00				3I00			
Размеры фильтра, мм								
длина	3003	4503	6003	7503	3003	4503	6003	7503
ширина	2250				4500			
высота	8975				8975			
Гидравлическое сопротивление, $кг/м^2$	80-90				80-90			
Эффективность очистки, %	99				99			
Масса аппарата, кг	6920	9600	I2300	I5400	I42I2	I9792	25344	3I575
Стоимость, руб.	5000	6900	8700	I0500	9800	I3600	I7200	20600

Фильтр (рис. 55) состоит из бункера I, входного патрубка 2, раздающей камеры 3, выхлопного патрубка 4, камеры очищенного газа 5, воздухораспределительной трубы 6 с соплами 7, каркасных рукавов 8, шлюзового затвора 9.

При работе фильтра запыленный газ через входной патрубок подается в камеру, в которой находятся фильтрующие рукава.

При прохождении газа через фильтрующую ткань пыль оседает на внешней поверхности рукавов, с которых периодически стряхивается в пылевой бункер. Очищенный газ через выхлопной патрубок выводится из аппарата.

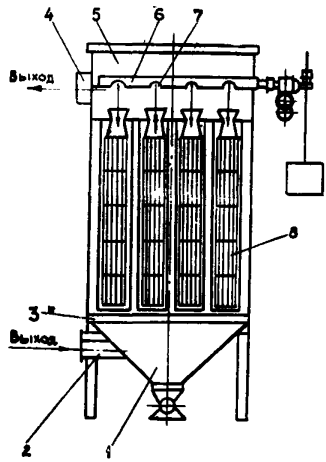


Рис. 55. Рукавный фильтр с импульсной продувкой ФРКИ

Регенерация рукавов осуществляется стряхиванием и обратной продувкой очищенного газа. Расход воздуха на регенерацию составляет 0,I-0,2% количества очищаемого газа.

Благодаря непрерывности процесса фильтрации и интенсивной регенерации рукавов достигается высокая пропускная способность фильтра.

Удельная нагрузка на фильтровальную ткань составляет I,5-2,5 $м^3/м^2 \cdot мин$., а при повышенном расходе сжатого воздуха 4 $м^3/м^2 \cdot мин$.

Степень очистки газа в фильтрах с импульсной продувкой достигает 99,9%.

Техническая характеристика фильтров ФРКИ приведена в табл. 48.

Таблица 48

Технические характеристики фильтров ФРКИ

Показатели	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-I80	ФРКИ-360
Производительность, $м^3/ч$	I700--3500	3500--7I00	5300--I0600	I0600--2I300	2I300--42700
Поверхность фильтрации, $м^2$	30	60	90	I80	360
Максимальное давление (разрежение) в фильтре, $кг/м^2$			500		
Давление воздуха для регенерации рукавов, мПа			0,6		
Максимальная температура очищаемых газов, °С			I30		
Температура газа на выходе, °С	Выше точки росы очищаемого газа на I0-20 °С				
Скорость фильтрования, м/с			0,0I65-0,033		
Запыленность газа на входе, $г/м^3$, не более			50		
Длина рукава, мм	2000	2000	2000	3000	3000
Диаметр рукава, мм			I35		
Материал рукава			Лавсан		
Габариты, мм:					
длина	I460	28.0	4I40	5480	5850
ширина	2060	2060	2060	2060	4370
высота	3620	3620	3620	4620	4880
Эффективность очистки, %			99,9		
Масса фильтра, кг, не более	I440	2560	3680	5680	III30
Стоимость фильтра без рукавов, руб.	I545	244I	33I8	4892	92I6

Разработчик - Семибратовский филиал института НИИОГАЗ (Семибратово Ярославской области).

Изготовитель - Семибратовский завод газоочистительной аппаратуры (по индивидуальным заказам).

ФИЛЬТРЫ ВСАСЫВАЮЩИЕ РУКАВНЫЕ ФВК

Фильтры предназначены для очистки запыленного воздуха от сухой пыли, не содержащей агрессивных и взрывоопасных компонентов I7, 2I, 27..

Фильтры предназначены для работы во взрывобезопасных помещениях, температура в которых исключает конденсацию паров, содержащихся в помещении и в очищаемом воздухе.

Фильтр рукавный всасывающий ФВК (рис. 56) состоит из корпуса I, выходного коллектора 2 с механизмом встряхивания и продувки 3, входного коллектора 5, матерчатых рукавов 4, бункера пыли 6 и шнека 7 с выпускным клапаном 8.

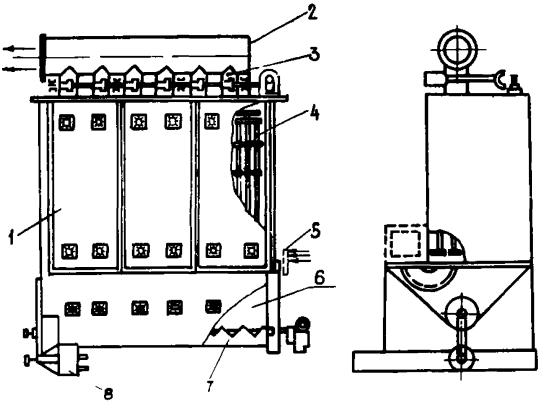


Рис. 56. Фильтры всасывающие рукавные ФВК

Корпус фильтра разделен вертикальными перегородками на отдельные секции, в каждой из которых помещается восемнадцать рукавов. Рукава изготовляют из фильтровального сукна № 2. При работе фильтра запыленный газ через всасывающий коллектор поступает в конусный бункер и направляется в фильтрующие рукава.

При прохождении запыленного газа через фильтр пыль оседает на внутренней поверхности рукавов. Очищенный газ через выходной коллектор выбрасывается из аппарата. Осевшая на внутренней поверхности рукавов пыль удаляется периодически встряхиванием и собирается в бункере, из которого выгружается шнеком. Рукава в каждой секции встряхиваются поочередно. В момент встряхивания секция автоматически отключается от всасывающего воздуховода перекидными клапанами. При этом открываются клапаны, соединяющие секции с атмосферой и происходит продувка встряхиваемых рукавов в обратном направлении.

Основные технические данные рукавных всасывающих фильтров ФВК приведены в табл. 49.

Таблица 49

Основные технические характеристики рукавных всасывающих фильтров ФВК

Показатели	ФВК-30	ФВК-60	ФВК-90
Производительность, $м^3/ч$	I500	3000	4500
Фильтрующая поверхность, $м^2$	30	60	90
Количество секций, шт.	2	4	6
Количество рукавов, шт.	36	72	I08
Диаметр рукавов, мм	I35	I35	I35
Разрежение воздуха внутри фильтра, $кг/м^2$, не более	250	250	250
Сопротивление фильтра перед регенерацией ткани, $кг/м^2$, не более	I90	I90	I90
Температура очищаемого воздуха, ^0C, не более	80	80	80
Запыленность очищаемого воздуха, $г/м^3$, не более	30	30	30
Установленная мощность, кВт			
привода механизма встряхивания		0,55	
привода конуса		0,55	
Материал рукавов	Сукно фильтровальное № 2, ГОСТ 6986-69		

Продолжение таблицы 49

Показатели	ФВК-30	ФВК-60	ФВК-90
Продолжительность цикла работы каждой секции, мин.	108	708	
Количество встряхиваний при регенерации тканей	7	8	
Габаритные размеры фильтра, мм			
длина	I700	2800	3900
ширина	I690	I690	I690
высота	3910	3910	3910
Эффективность очистки, %		99	
Масса, кг	I050	I690	2300
Стоимость, руб.	820	I330	I830

Изготовитель - Киевский завод цементного машиностроения им.Калинина. С I978 года выпуск этих аппаратов прекращён.

ФИЛЬТР РУКАВНЫЙ ВЫСОКОВАКУУМНЫЙ ФВС-45

Предназначен для очистки воздуха от пыли [27].

Фильтр (рис. 57) состоит из станины I, на которой смонтированы циклоны 2 с приемными патрубками 3, трехсекционного металлического шкафа 4, каждая секция которого устанавливается на один из циклонов, крышки 5 с встряхивающим механизмом и электроприводом и шлюзовых затворов 6 с электроприводами.

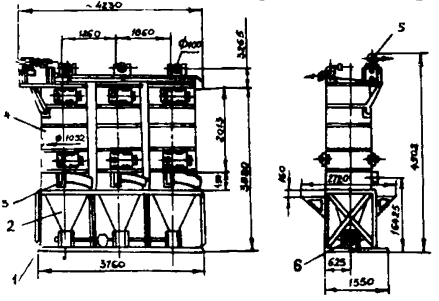


Рис. 57. Фильтр рукавный высоковакуумный ФВС-45

Для обслуживания механизма встряхивания к секциям шкафа крепятся трапы (площадки).

Загрязненный воздух по воздухоотводу подается в приемные патрубки циклонов. Крупные частицы пыли оседают в конусе, а мельчайшая пыль вместе с воздухом поступает в нижнюю часть матерчатых фильтров. При этом пыль осаждается на поверхности рукавов, а очищенный воздух через клапанную коробку удаляется вентилятором в атмосферу.

Рукава периодически очищаются от осевшей на них пыли встряхиванием при помощи специального механизма и обратной продувкой очищенного газа.

В момент встряхивания очередная секция отключается от всасывающего воздуховода клапанами, расположенными в клапанной коробке и во входном патрубке циклона. В момент обратной продувки воздух через специальное отверстие в клапанной коробке поступает во встряхиваемую секцию фильтра и способствует лучшей очистке ткани от пыли.

Пыль из фильтра выводится шлюзовым затвором на транспортер или в специальный пылесборник.

Величина подсоса газа (воздуха) через неплотности фильтра составляет 20%.

Максимальное разрежение, на которое рассчитана конструкция фильтра - 6000 кгс/м^2.

Технические характеристики фильтра приведены в табл. 50.

Таблица 50

Технические характеристики высокоэффективного фильтра

Показатели	ФБ[illegible]45
Производительность по воздуху (номинальная), м^3/ч	3000
Поверхность фильтрации, м^2	45
Количество рукавов, шт.	
в секции	I6
в фильтре	48
Размеры рукава, мм	
длина	I850
диаметр	I72

Продолжение таблицы 50

Показатели	ФВС-45
Материал рукава	кирза № I арт. 26 (ГОСТ 6986-69)
Номинальное количество ударов при встряхивании рукавов секции, шт.	8
Период между встряхиваниями секций, расположенных рядом, мин.	3,5
Количество шлюзовых затворов, шт.	3
Сопротивление фильтра, кг/м^2	I20÷I50
Эффективность очистки, %	99
Масса, кг	4778

Изготовитель - Кемеровский завод "Химмаш", выпуск серийный.

П Р И Л О Ж Е Н И Я

Приложение I

РАСЧЕТ ПЫЛЕВЫХ КАМЕР

Приближенный расчет пылевых камер сводится к определению площади осаждения, то есть площади дна камеры или полок, по заданному размеру частиц пыли, подлежащей выделению из газового потока [28].

При этом принимают ряд допущений:

- пыль равномерно распределена по сечению камеры как по концентрации, так и по дисперсности;
- она состоит из шаровых частиц и полностью подчиняется закону Стокса,
- скорости газа по сечению камеры принимаются равномерными;
- результат действия конвекционных токов и турбулентности газового потока на частицы пыли равен нулю;
- осевшая пыль не уносится из камеры.

Постоянная скорость (скорость витания), с которой движется вниз частица в газовой среде или скорость газа в вертикальном направлении, при которой создается сопротивление, удерживающее частицу и не дающее ей падать, определяется по формуле

$$W_n = \frac{d^2 \cdot g}{18\mu}(\rho_т - \rho), \text{ м/с}, \qquad (I)$$

где d - диаметр твердого тела (предполагается тело шаровидной формы), м;

g - ускорение силы тяжести, м/с^2;

$\rho_т$ - плотность материала частицы, кг/м^3;

ρ - плотность среды, кг/м^3;

μ - динамическая вязкость газа, н·с/м^2.

Так как в случае газов $\rho_т$ в сотни раз больше ρ, то последней можно пренебречь,

$$W_п = \frac{d^2 \cdot g}{18\mu} \rho_т, \ м/с . \qquad (2)$$

Площадь камеры определяется по формуле

$$S = \frac{V}{3600 \cdot W_п}, \ м^2, \qquad (3)$$

где V – объем газа, проходящего через камеру за I час;

W – скорость витания, м/с.

Пример расчета:

Требуется определить размер пылевой камеры для осаждения частиц пыли крупнее 40 мкм. Количество очищаемых газов составляет 20000 $м^3$н/ч. Температура газов 600 °С. Плотность пыли 2500 кг/$м^3$. Давление газов в камере близко к атмосферному (при расчете не учитывается изменение температуры и количества газов в результате подсосов). Газы по своему составу близки к атмосферному воздуху.

По формуле

$$W_п = \frac{d^2 \cdot g}{18\mu} \rho_т, \ м/с,$$

находится скорость осаждения (скорость витания) частиц размером 40 мкм, плотностью 2500 кг/$м^3$ при $t = 600$ °С. Вязкость газов при этой температуре (табл. 5I) равна

$$\mu = 39{,}2 \cdot 10^{-6}, \ н \cdot с/м^2$$

Таблица 5I

Динамическая вязкость воздуха, мкН·с/$м^2$ [x]

Температура, °С	Вязкость, μ	Температура, °С	Вязкость, μ	Температура, °С	Вязкость, μ
0	I7,I	I00	2I,7	600	39,2
I0	I7,7	I40	23,5	800	44,4
20	I8,2	I80	24,9	I000	49,5
40	I9,2	250	27,8	I200	53,9
60	20,I	300	29,7	I400	57,5
80	20,9	400	32,8	I800	65,5

[x] 1 Н·с/$м^2$ = I0П

Отсюда

$$W_n = \frac{d^2 \cdot g}{18} \rho_т = \frac{(40 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 2500 \cdot 9,81}{18 \cdot (39,2 \cdot 10^{-6})} = 0,056 \text{ м/с}$$

$$S = \frac{V}{3600 \cdot W_n} = \frac{20000 \cdot (273 + 600)}{3600 \cdot 273 \cdot 0,056} = 317 \text{ м}^2,$$

принимая скорость газа в камере по горизонтальному направлению равной I м/с, находим площадь вертикального сечения камеры:

$$S = \frac{20000\ (273 + 600)}{3600 \cdot 273}; \quad S = 18 \text{ м}^2$$

Выбираем высоту камеры, равную 4,0 м; при этом её ширина составит $\frac{18,0}{4,0} = 4,5$ м и длина $\frac{317}{4,5} \approx 70$ м.

Уменьшить длину камеры можно двумя способами:

- увеличить ширину камеры (при неизменной её высоте) или уменьшить скорость газов по горизонтальному направлению (например, до 0,5-0,7 м/с) и тем самым, не меняя высоты камеры, также увеличить ширину камеры. Это, однако, повлечет за собой увеличение общего объема камеры и её удорожание;

- установить в камере полки. Так, например, при установке 20 полок на расстоянии 200 мм одна от другой общая высота камеры составит

$$H = \frac{20 \cdot 200}{1000} = 4 \text{ м}.$$

При скорости газов, равной I м/с, ширина камеры составит, как и ранее, $\frac{18}{4} = 4,5$ м. В то же время площадь одной полки $\frac{317}{20} = 16$ м^2, а длина полки $\frac{16}{4,5} = 3,6$ м. В полочных камерах можно принять скорость газов 2-3 м/с.

Таким образом, устройство полок является наиболее рациональным методом снижения длины пылевой камеры.

Приложение 2

РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ НИИОГАЗ .

I. Исходные данные

Для вычисления эффективности очистки газов в циклонах НИИОГАЗ, их гидравлического сопротивления и размеров необходимо располагать следующими исходными данными [I5, 29] :

объемный расход очищаемых газов, Q_p , м³/с;

температура газов на входе в аппарат, t , °С;

содержание водяных паров в газах, m , кг/м³ (н.у.);

содержание в газах паров агрессивных жидкостей, кг/м³(н.у.);

запыленность поступающих газов, z , 10^{-3} кг/м³;

дисперсный состав пыли (или других взвешенных в газах частиц) по фракциям, вес. %;

сведения о слипаемости пылей;

плотность пыли, ρ_n , кг/м³;

плотность газов, ρ_t , кг/м³;

вязкость газов, μ , $\frac{н.с.}{м^2}$;

допустимое гидравлическое сопротивление циклонного аппарата, ΔP , н/м²;

давление газов на входе в аппарат, В, н/м²;

требуемая степень очистки газов, η , %;

периодичность выгрузки пыли;

допускаемые габариты циклонного аппарата, мм.

2. Расчет степени очистки газов

Степенью очистки газов η называется отношение количества пыли, уловленной в циклоне $G_{ул.}$, к количеству пыли, поступающей в циклон $G_{вх.}$,

$$\eta = \frac{G_{ул.}}{G_{вх}} \cdot 100 = \frac{G_{вх.} - G_{вых.}}{G_{вх.}} \cdot 100 = \frac{G_{ул.}}{G_{ул} + G_{вых.}} \cdot 100, \%(4)$$

Коэффициентом уноса ε называется отношение количества пыли, уносимой газами из циклона, к количеству пыли, поступающей в циклон:

$$\varepsilon = \frac{G_{вых.}}{G_{вх.}} \cdot 100 = \frac{G_{вх.} - G_{ул.}}{G_{вх.}} \cdot 100, \qquad (5)$$

$$\varepsilon = 100 - \eta.$$

Совершенство газоочистительных аппаратов характеризуется фракционной степенью очистки, то есть отношением массы уловленных частиц пыли данной фракции к массе частиц той же фракции, внесенных газами в циклон:

$$\eta_{фр.i} = \frac{G_{фр.ул.}}{G_{фр.вх.}} \cdot 100 = \frac{G_{фр.вх.} - G_{фр.вых}}{G_{фр.вх}} \cdot 100. \qquad (6)$$

Фракционная степень очистки может быть также определена по выражению

$$\eta_{фр.i} = \frac{\Phi_{ул.i}}{\Phi_{вх.i}} \cdot \eta, \qquad (7)$$

где $\Phi_{ул.i}$ и $\Phi_{вх.i}$ - содержание одной и той же фракции в уловленной и поступающей пылях, выраженное в процентах.

Общая степень очистки газов во многих случаях может быть подсчитана с достаточной для практических целей точностью по фракционной степени очистки и фракционному составу пыли в газах.

$$\eta = \frac{1}{100} \sum_{1}^{n} (\eta_{фр.i} \cdot \Phi_i) = \frac{\eta_{фр.1} \cdot \Phi_1}{100} + \frac{\eta_{фр.2} \cdot \Phi_2}{100} + \ldots + \frac{\eta_{фр.n} \cdot \Phi_n}{100} \qquad (8)$$

где $\eta_{фр.1}, \eta_{фр.2}, \ldots \eta_{фр.n}$ - фракционные степени очистки газов в данном циклоне, %;

$\Phi_1, \Phi_2 \ldots \Phi_n$ - весовое количество частиц данной фракции (вес. %);

i - порядковый номер фракции, изменяющийся от I до n.

Оценка фракционной эффективности очистки газов в значительной степени зависит от метода дисперсного анализа пылей. Для неслипающихся пылей дисперсный анализ, проведенный в лабораторных условиях, позволяет достаточно точно оценить фракционный состав. Для такого анализа рекомендуется метод жидкостной седиментации с автоматической фиксацией накопления осадка (методика НИИОГАЗ) и метод жидкостной седиментации с отбором проб

подъемной пипеткой (методика ЛИОТ), которые дают совпадающие результаты.

Для слипающихся пылей, а также для пылей, содержащих 60% и более частиц от 0 до I0 мкм рекомендуется применение методов дисперсного анализа непосредственно в газовом потоке.

Для этой цели может быть использован трехциклонный сепаратор НИИОГАЗ или струйные осадители с кассетами, заполненными смазкой. На рис. 58 представлены результаты дисперсного анализа кварцевой пыли, полученные путем жидкостной седиментации с автоматической фиксацией процесса накопления осадка потенциометром.

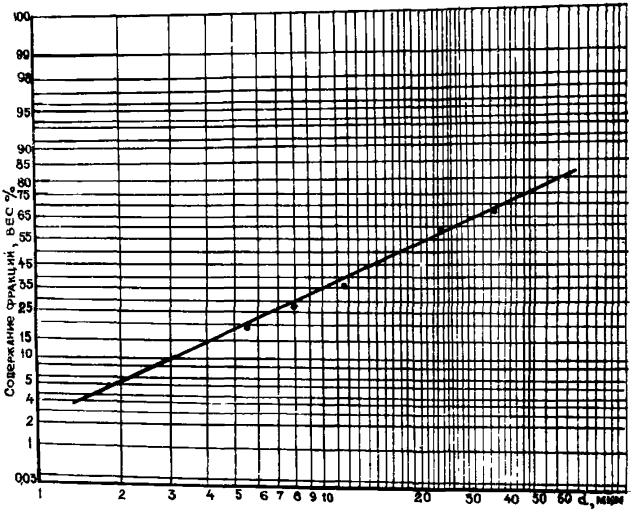


Рис. 58. Фракционный состав кварцевой пыли, определенный методом жидкостной седиментации с автоматической фиксацией накопления осадка

Кривые дисперсного состава пыли представлены в вероятностно-логарифмической сетке, по оси абсцисс которой откладываются логарифмы диаметров частиц, а по оси ординат - нормированная функция вероятного распределения частиц.

Исследования показывают, что точки, определяющие фракционный состав частиц в вероятностно-логарифмической сетке, ложатся близко к прямой линии. Дисперсный состав пыли характеризуется медианой распределения частиц d_{50} и дисперсией σ^2. Медианой распределения, или медианным диаметром, принято на-

зывать диаметр частицы, при котором суммарный вес всех частиц, имеющих размер меньше, составляет 50% от общего веса всех частиц. Дисперсия характеризуется углом наклона линий распределения пыли в вероятностно-логарифмических координатах и выражается зависимостью

$$\sigma^2 = \lg^2 \frac{d_{84}}{d_{50}} \simeq \frac{d_{50}}{d_{16}} ,$$

где d_{84}, d_{16} - диаметр частиц, для которых суммарный вес всех частиц, имеющих размер меньше d_{84} и d_{16} составляет соответственно 84 и 16% от общего веса пыли.

Общая и фракционная степени очистки газов зависят от диаметра улавливаемых частиц, скорости потока на входе в циклон, типа и диаметра циклона, плотности частиц и газовой среды, вязкости газов. Эффективность очистки может меняться также от давления газов и концентрации пыли. Фракционная степень очистки циклонных аппаратов достаточно точно описывается выражением, выведенным путем математической обработки уравнения для вероятностных функций:

$$\eta_{фр} = 50 \left[1 + \Phi(x) \right] \quad \% \qquad (9)$$

Функция $\Phi(x)$ определяется из табл. 52 в зависимости от x.

Применительно к циклонам значение x наиболее удобно определять пользуясь выражением, предложенным В.Ю.Падва:

$$x = \frac{\lg \dfrac{d'}{d_{50ц} \cdot K \cdot 10^3 \cdot \sqrt{D \cdot м / \rho_n \cdot W_ц}}}{\sigma_ц} \qquad (10)$$

где $d_{50ц}$ - диаметр частиц (мкм), улавливаемых в условном циклоне с эффективностью 50% (определяется из табл 53);

$\sigma_ц$ - величина, характеризующая дисперсию частиц, улавливаемых циклоном (определяется из табл. 53);

$W_ц$ - условная скорость в плане корпуса циклона, м/с.

Условная скорость определяется из отношения объемного расхода газов $Q_р$ к полному поперечному сечению корпуса циклона:

$$W_ц = \frac{Q_р}{\frac{\pi D^2}{4}} , \quad м/с \qquad (11)$$

Таблица 53

Расчетные параметры циклонов НИИОГАЗ

Параметры	ЦН-II	ЦН-I5	ЦН-I5У	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН34
K	4I,4	4I,4	4I,4	46,9	34,97	34,97
$d_{50ц}$	2,47	3,06	3,48	4,7I	I,428	I,297
$б_ц$	0,3979	0,3979	0,3979	0,3979	0,428I	0,4I555
$б_ц^2$	0,I58	0,I58	0,I58	0,I58	0,I83	0,I732
$W_{расч}$	3,5	3,5	3,5	4,5	2,5	2,5

В связи с тем, что в вероятностно-логарифмических координатах кривая фракционной эффективности выпрямляется, для определения фракционной степени очистки достаточно вычислить только два-три значения и отложить их в вероятностно-логарифмической сетке. Прямая, проходящая через эти точки, будет определять фракционную эффективность очистки. Влияние типа циклона на фракционную степень очистки иллюстрируется графиком на рис. 59. Графические зависимости были получены для цилиндри-

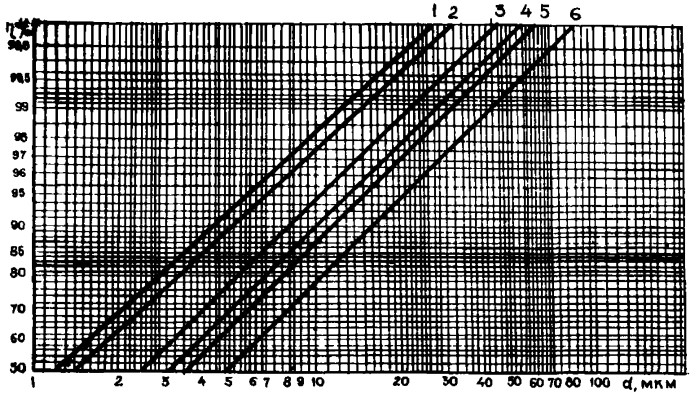


Рис. 59. Фракционная эффективность циклонов НИИОГАЗ ($Ø_ц$ = 300 мм, пыль - кварц, ρ = 2670 кг/м^2, d_{50} = I3 мкм)
I - СК-ЦН-34, 2 - СДК-ЦН-33, 3 - ЦН-II, 4 - ЦН-I5, 5 - ЦН-I5У, 6 - ЦН-24

ческих циклонов при $W_ц$ = 3,5 м/с, для СДК-ЦН при $W_ц$ = 2 м/с и СК-ЦН-34 при $W_ц$ = I,75 м/с. Полная эффективность очистки

Таблица 52

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
0,00	0,0000	36	0,28I2	72	0,5285
0I	0,0080	37	0,2886	73	0,5346
02	0,0I60	38	0,296I	74	0,5407
03	0,0239	39	0,3035	0,75	0,5467
04	0,03I9	0,40	0,3I08	76	0,5527
0,05	0,0399	4I	0,3I82	77	0,5587
06	0,0478	42	0,3255	78	0,5646
07	0,0558	43	0,3328	79	0,5705
08	0,0638	44	0,340I	0,80	0,5763
09	0,07I7	0,45	0,3473	8I	0,582I
0,I0	0,0797	46	0,3545	82	0,5878
II	0,0876	47	0,36I6	83	0,5935
I2	0,0955	48	0,3688	84	0,599I
I3	0,I034	49	0,3759	0,85	0,6047
I4	0,III3	0,50	0,3829	86	0,6I02
0,I5	0,II92	5I	0,3899	87	0,6I57
I6	0,I27I	52	0,3969	88	0,62II
I7	0,I350	53	0,4039	89	0,6265
I8	0,I428	54	0,4I08	0,90	0,63I9
I9	0,I507	0,55	0,4I77	9I	0,6372
0,20	0,I585	56	0,4245	92	0,6424
2I	0,I663	57	0,43I3	93	0,6475
22	0,I74I	58	0,438I	94	0,6528
23	0,I8I9	59	0,4448	0,95	0,6579
24	0,I897	0,60	0,45I5	96	0,6629
0,25	0,I974	6I	0,458I	97	0,6680
26	0,205I	62	0,4647	98	0,6729
27	0,2I28	63	0,47I3	99	0,6778
28	0,2205	64	0,4778	I,00	0,6827
29	0,2282	0,65	0,4843	0I	0,6875
0,30	0,2358	66	0,4907	02	0,6923
3I	0,2434	67	0,497I	03	0,6970
32	0,25I0	68	0,5035	04	0,70I7
33	0,2586	69	0,5098	I,05	0,7063
34	0,266I	0,70	0,5I6I	06	0,7I09
0,35	0,2737	7I	0,5223	07	0,7I54

Продолжение таблицы 52

x	Φ(x)	x	Φ(x)	x	Φ(x)
08	0,7I99	44	0,850I	I,80	0,928I
09	0,7243	I,45	0,8529	8I	0,9297
I,I0	0,7287	46	0,8557	82	0,93I2
II	0,7330	47	0,8584	83	0,9328
I2	0,7373	48	0,86II	84	0,9342
I3	0,74I5	49	0,8638	I,85	0,9357
I4	0,7457	I,50	0,8664	86	0,937I
I,I5	0,7499	5I	0,8690	87	0,9385
I6	0,7540	52	0,87I5	88	0,9399
I7	0,7580	53	0,8740	89	0,94I2
I8	0,7620	54	0,8764	I,90	0,9426
I9	0,7660	I,55	0,8789	9I	0,9439
I,20	0,7699	56	0,88I2	92	0,945I
2I	0,7737	57	0,8836	93	0,9464
22	0,7775	58	0,8859	94	0,9476
23	0,78I3	59	0,8882	I,95	0,9488
24	0,7850	I,60	0,8904	96	0,9500
I,25	0,7887	6I	0,8926	97	0,95I2
26	0,7923	62	0,8948	98	0,9523
27	0,7959	63	0,8969	99	0,9534
28	0,7995	64	0,8990	2,00	0,9545
29	0,8029	I,65	0,90II	05	0,9596
I,30	0,8064	66	0,903I	I0	0,9643
3I	0,8098	67	0,905I	I5	0,9684
32	0,8I32	68	0,9070	20	0,9722
33	0,8I63	69	0,9090	2,25	0,9756
34	0,8I98	I,70	0,9I09	30	0,9786
I.35	0,8230	7I	0,9I27	35	0,98I2
36	0,8262	72	0,9I46	40	0,9836
37	0,8293	73	0,9I64	45	0,9857
38	0,8324	74	0,9I8I	2,50	0,9876
39	0,8355	I,75	0,9I99	55	0,9892
I,40	0,8385	76	0,92I6	60	0,9907
4I	0,84I5	77	0,9233	65	0,9920
42	0,8444	78	0,9249	70	0,993I
43	0,8475	79	0,9263		

газов в одиночном циклоне может определяться по выражению

$$\eta_o = 50[1 + \Phi(x')], \ \%, \qquad (12)$$

где

$$x' = \frac{\ell g \dfrac{d_{50ц} \cdot K \cdot 10^3 \sqrt{D \cdot \mu / \rho_п \cdot W_ц}}{d_{50}}}{\sqrt{\sigma_ц^2 + \ell g^2 (d_{50} / d_{16})}}, \qquad (13)$$

d_{50} – медиана распределения частиц пыли при входе в циклон, мкм;

d_{16} – диаметр частиц пыли на входе в циклон, при котором суммарный вес всех частиц, имеющих размер $< d_{16}$, составляет 16% от общего веса пыли.

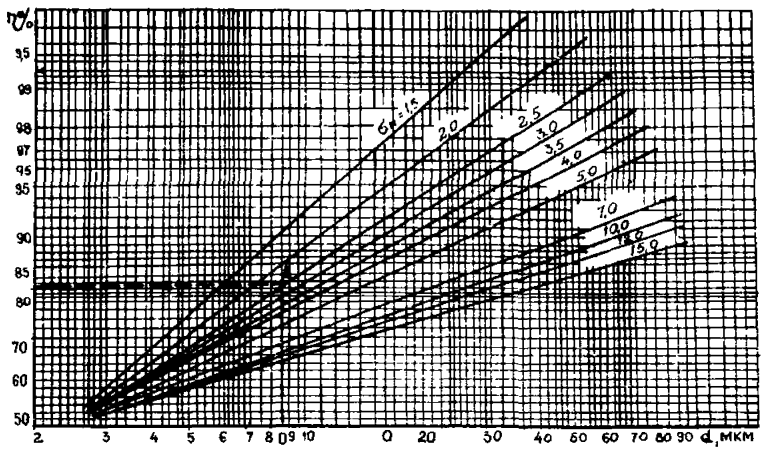
Для предварительных расчетов общая степень очистки может быть определена с достаточной точностью путем использования графиков, предложенных П.А.Коузовым (рис. 60 а-с). Для каждого типа циклона приводится отдельный график, представляющий собой семейство прямых линий, изображенных в вероятностно-логарифмической координатной сетке. По оси абсцисс отложены медианы распределения частиц d_{50}, а по оси ординат – общая степень очистки газов. Каждой линии соответствует постоянная величина, характеризующая распределение частиц пыли по дисперсному составу $\sigma_п' = d_{50} / d_{16}$. Графические зависимости составлены для циклонов диаметром 300 мм, улавливающих кварцевую пыль плотностью 2650 кг/м^3. Условная скорость потока $W_ц$ для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У принята 3,5 м/с; для ЦН-24 – 4,5 м/с; СДК-ЦН-33 и СК-ЦН-34 – 2,5 м/с. Газовая среда – воздух, при температуре 20 °С вязкость

$$\mu = 18{,}1 \cdot 10^{-6} \ \frac{Н \cdot с}{м^2}$$

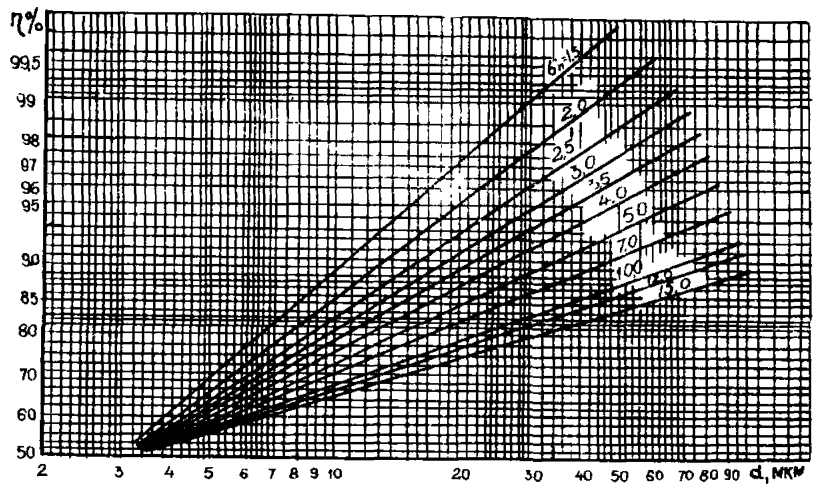
Для оценки степени очистки газов в циклоне, работающем в условиях, отличающихся от указанных выше, необходимо сделать пересчет медианы распределения частиц пыли, подлежащей охлаждению, пользуясь выражением

$$d_{50}' = \frac{d_{50}}{K \cdot 10^3 \sqrt{D \cdot \mu / \rho_п \cdot W_ц}}, \qquad (14)$$

а



б



в

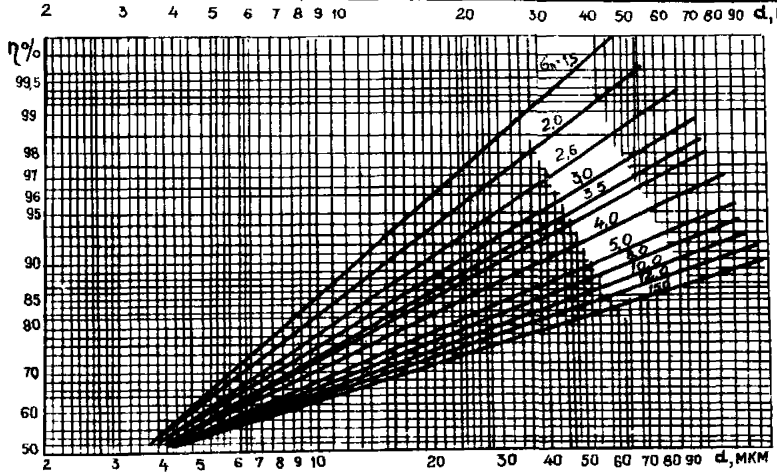
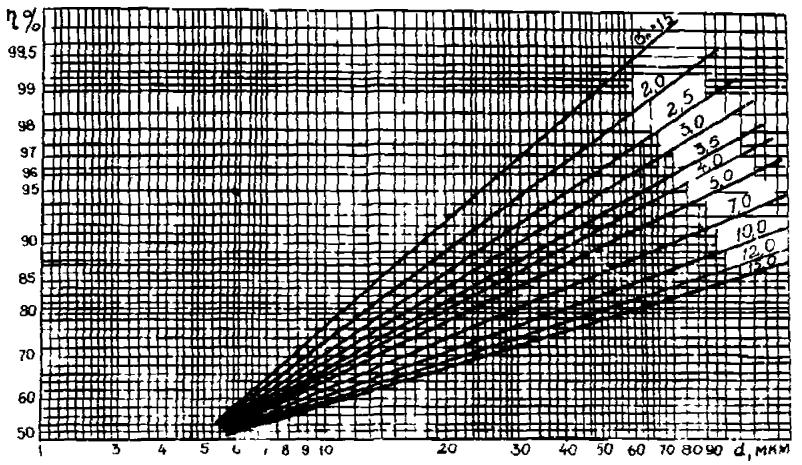
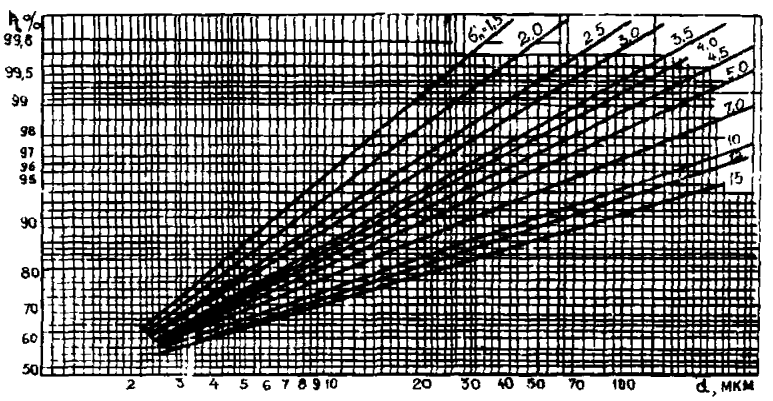


Рис. 60. Графическая зависимость общей распределения частиц (d_{50})
а - ЦН-II ($W_п$ = 3,5 м/с),
б - ЦН-I5 ($W_п$ = 3,5 м/с),
в - ЦН-I5У ($W_п$ = 3,5 м/с),
$D_ц$ = 300 мм,

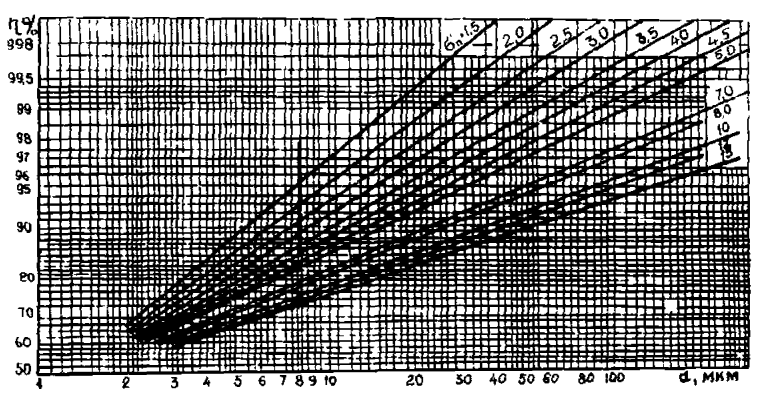
г



д



е



эффективности очистки (η) от медианы и дисперсии (σ_n) для циклонов:
г – ЦН-24 (W_n = 4,5 м/с),
д – СДК-ЦН-33 (W_n = 2,5 м/с),
е – СК-ЦН-34 (W_n = 2,5 м/с);
ρ_n = 2650 кг/м³, $\mu_2 = 18{,}1 \cdot 10^{-6} \frac{Н \cdot с}{м^2}$

где К - коэффициент (принимается из табл. 53).

Степень очистки газов в циклоне определяют следующим образом (рис. 60а). На оси абсцисс откладывают точку С, соответствующую пересчитанному значению медианы распределения частиц пыли. Затем из точки О восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией, характеризующей заданную дисперсию пыли. Пересечение отмечают точкой А. Из точки А до оси ординат проводят линию, параллельную оси абсцисс. Полученная на оси ординат точка будет характеризовать общую степень очистки газов в циклоне.

При групповой компоновке циклонов степень очистки газов по сравнению с её расчетным значением для одиночных циклонов несколько снижается. При очистке газов с высокой концентрацией пыли эффективность очистки увеличивается. Степень очистки газов от неслипающихся пылей при концентрации пыли более $20 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3 подсчитывается по следующей зависимости:

$$\eta_к = \eta + \left(\frac{100 - \eta}{100}\right) \cdot 0{,}12 z_{вх} \lg 0{,}1 z_{вх}, \qquad (15)$$

где η - эффективность очистки при запыленности $10 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3 определяется по формуле 9 и графически;

$z_{вх}$ - концентрация пыли на входе, кг/м^3.

Формулой можно пользоваться при концентрации пыли до $150 \cdot 10^{-3}$ кг/м^3.

Для повышения общей эффективности очистки газов циклоны могут быть установлены последовательно. При этом степень очистки определяется из выражения

$$\eta_{об} = (1 - \eta_1)(1 - \eta_2) \ldots (1 - \eta_n), \ \% , \qquad (16)$$

где $\eta_1, \ldots, \eta_n$ - коэффициенты очистки газов в первом, втором и последующих циклонах определяются с учетом изменения дисперсного состава пыли.

Если дисперсный состав пыли неизвестен, то его можно оценить приблизительно, пользуясь таблицами 54, 55. Приведенные в таблицах данные соответствуют результатам анализа пыли, выполненного методом жидкостной седиментации с автоматической фиксацией процесса накопления осадка.

Расчеты эффективности очистки газов в циклонах НИИОГАЗ по формулам 9, 10, 12, 13 и графическим зависимостям могут да-

Таблица 54

Характеристика летучей золы

Способ сжигания топлива	Топливо	Содержание золы в газах 10^{-3} кг/м^3	d_{50}	$G' = \frac{d_{50}}{d_{16}}$	Плотность пыли, кг/м^3
Шахтно-мельничная топка	Фрезерный торф	10,0	35	2,38	2800
Пневматическая топка ЦКТИ системы Шершнева	Фрезерный торф	9,85-11,0	25	2,0	3000
Камерная топка	Подмосковный уголь марки БР	15-16	12,25	2,1	2200
Камерная топка	Экибастузский уголь	45-50	14,5	2,1	
Шахтно-мельничная топка	Гдовский сланец	61,7	12,9	3,1	2600
Слоевая топка	Уголь бурый Райчихинского месторождения марки Б	9-5	29	4,5	2550
Слоевая топка	Уголь Кузнецкого бассейна	5	35	3,0	2840
Циклонная топка с жидким шлакоудалением	Канско-Ачинское месторождение	3-6	17	3,5	3000
Камерная топка	Донецкий АШ	11-20	18	3	2270

Таблица 55

Характеристика пылей, образующихся при некоторых технологических процессах

Наименование оборудования	Материал пыли	Запыленность газов 10^{-3} кг/нм^3	d_{50}	$6' = \frac{d_{50}}{d_{16}}$	Плотность пыли, кг/м^3
Вращающаяся клинкерно-обжиговая печь (мокрый способ производства):					
Липецкий завод	Клинкер	25-30	23	3,I7	2720
Вольский завод	-"-	9-9,6	9,5	4,0	2700
Ульяновский завод	-"-	28,5	I4	3,43	2760
Себряковский завод	-"-	I8,5	8	3,I2	2900
Шахтная мельница	Гипсовая	I049	56	9,35	2840
Крекинг-установка А-I/М (после циклонов регенератора)	Алюмосиликатный катализатор	I5	I7	2,0	2250
Крекинг-установка ГК-3 (после циклонов регенератора)	-"-	I0-20	I6	I,78	2250
Углесушильный барабан	Каменноугольная	-	I5	2,I6	I600
Шаровая мельница	Цементная	-	20	2,94	2900
Вращающаяся цементная печь (сухой способ производства)	Клинкер	40	II	0,345	2800
	Смесь шлака и трепела	20	20	0,652	2500
Электролизер алюминия (боковой токоподвод)	Окислы алюминия	I	20	0,352	2920
Вращающаяся печь обжига	Магнезит	I00-I20	43	0,6I5	2700
Вращающаяся печь обжига	Доломит	35-45	28	0,506	2000
Распылительная сушилка	Двойной суперфосфат	3-5	80	0,2I0	I000
Барабанная	-"-	I2-I6	35	0,360	I000

вать удовлетворительные результаты при улавливании неслипающихся частиц с медианой распределения более 5 мкм для цилиндрических циклонов при условной скорости 2,2-5 м/с, для конических - 1,5-3,5 м/с. Для циклонов диаметром $\geq$ 800 мм расчетная степень очистки получается несколько меньше практически получаемой.

Пример.

Определить фракционную степень очистки воздуха от пыли для частиц 5, 10, 15, 20 и 25 мкм и общую эффективность циклона ЦН-11, пользуясь аналитическим и графическим методами расчета. Диаметр циклона 500 мм. Расход воздуха 2100 м^3/ч. Температура 80 ^{0}С, плотность пыли $\rho_п$ = 1800 кг/м^3.

Состав пыли:

от 0 до 5 мкм - 10%
от 5 до 10 мкм - 22,3%
от 10 до 15 мкм - 16,7%
от 15 до 20 мкм - 10%
от 20 до 30 мкм - 17%
> 30 мкм - 24%

Решение. Определяем весовое распределение пыли, то есть суммарный процент всех частиц, имеющих размер меньше верхних границ фракций.

Размер частиц	Процент по весу
< 5	10
<10	32,3
<15	49
<20	59
<30	76

Интерполируя полученные значения, находим величину, характеризующую дисперсию пыли:

$$\sigma'_п = \frac{d_{50}}{d_{16}} = \frac{15,5}{6,3} = 2,46$$

Фракционную степень очистки воздуха определяем по формуле (9)

$$\eta_{фр} = 50\left[1 + \Phi(x)\right], \ \%,$$

где

$$x = \frac{\lg \dfrac{d'}{d_{50ц} \cdot K \cdot 10^3 \sqrt{D \cdot \mu / \rho_п \cdot W_ц}}}{\sigma_ц}$$

Условную скорость потока в циклоне - $W_ц$ определяем по выражению

$$W_ц = \frac{Q_р}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{2I00 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot 0,5^2} = 2,98 \text{ м/с}$$

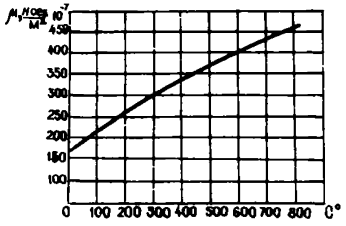


Рис. 6I. Изменение вязкости воздуха в зависимости от температуры

Вязкость воздуха при температуре 80°С находим по графику (рис. 6I).

$$\mu = 20,39 \cdot I0^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

Подставляя найденные значения и коэффициент К из таблицы 53 в расчетные формулы, получим следующие результаты:

d, мкм	x	Φ(x)	$\eta_{фр}$
5	0,I339	0,II0	55
I0	0,89I	0,6265	8I,3
I5	I,329	0,8I6	90,75
20	I,64	0,899	95,0
25	I,89	0,94I	97,0

Общую степень очистки подсчитываем по формуле

$$\eta_o = 50 \quad I + \Phi(x) \quad , \%,$$

где

$$x' = \frac{lg \frac{d_{50}}{d_{50ц} \cdot K \cdot I0^3 \sqrt{\Phi \cdot \mu / \rho_п \cdot W_ц}}}{\sqrt{\sigma_ц^2 + lg (d_{50} / d_{I6})}} .$$

Подставляя полученные значения в расчетные формулы, получаем:

$$lg \frac{I5,5}{2,47 \cdot 4I,4 \cdot I0^3 \sqrt{\frac{0,5 \cdot 20,39 \cdot I0^{-6}}{I800 \cdot 2,98}}}$$

$$x' = \frac{}{0,I58 + lg^2 2,46} = 0,975 .$$

По таблице 52 находим, что $x' = 0{,}975$ соответствует $\Phi(x'_1) = 0{,}67$, тогда

$$\eta_0 = 50(1+0{,}67) = 83{,}5\%$$

Полученное значение общей степени очистки проверяем, пользуясь графиком на рис. 60. Для этого производим пересчет среднего геометрического диаметра частиц пыли, пользуясь выражением

$$d'_{50} = \frac{d_{50}}{K \cdot 10^3 \sqrt{D \cdot \mu / \rho_n \cdot W_ц}} = \frac{15{,}5}{41{,}4 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0{,}5 \cdot 20{,}39 \cdot 10^{-6}}{1800 \cdot 2{,}98}}} = 8{,}5 \text{мкм}$$

По графику (рис. 60, а) находим, что $d'_{50} = 8{,}5$ и $\sigma'_n = 2{,}46$ соответствует общая степень очистки $\eta = 83{,}7\%$.

Полученное значение близко к результатам аналитического расчета по формуле (12).

3. Гидравлическое сопротивление циклонов

Различаются два основных случая работы одиночных циклонов:

- выход потока газов из циклона осуществляется в газовый тракт через сравнительно длинный прямой выходной участок ℓ с диаметром, равным диаметру выхлопного патрубка циклона - d, - "работа циклона в сети" ($\ell/d > 10$);

- выход потока из циклона осуществляется непосредственно в большой объем или атмосферу - "работа циклона на выхлоп".

В случае работы циклона в сети к потерям давления, имеющим место непосредственно в циклоне, прибавляются невосполнимые потери, связанные с раскручиванием и выравниванием потока за циклоном. Эти потери являются неотъемлемой частью "местных" потерь в циклоне.

В случае работы циклона на выхлоп потерянной является и вся кинетическая энергия вращающегося потока, выходящего из циклона в большой объем. Эта энергия больше энергии, теряемой в прямом выходном участке при раскручивании потока, примерно на величину скоростного давления, взятого по средней скорости в сечении выхлопного патрубка:

$$\frac{\rho_t \cdot W^2_{вых.}}{2} = \frac{\rho_t \cdot W_ц^2}{2} \left(\frac{F_ц}{F_{вых.}}\right)^2 = \frac{\rho_t \cdot W_ц}{2} \left(\frac{D}{d}\right)^4 . \qquad (17)$$

Поэтому существует приближенная связь:

$$\Delta P_п = \Delta P_c + \frac{\rho_t \cdot W_ц^2}{2}\left(\frac{D}{d}\right)^4. \qquad (I8)$$

Коэффициент сопротивления циклона, приведенный к скорости, равен соответственно:

$$\xi_ц^c = \frac{\Delta P_c}{\rho_t \cdot W_ц^2/2}, \qquad (I9)$$

$$\xi_ц^п = \frac{\Delta P_п^2}{\rho_t \cdot W_ц^2/2} = \xi_ц^c + \left(\frac{D}{d}\right)^4 \qquad (20)$$

Значение коэффициентов сопротивления различных типов циклонов диаметром 500 мм, выполненных из листовой стали, при скорости потока $W_ц \geq 3$ м/с приведены в табл. 56. Коэффициент сопротивления циклона зависит от его диаметра, состояния внутренней поверхности стенок, скорости, вязкости и запыленности потоков (концентрации и крупности взвешенных частиц). В пределах изменения диаметра от I50 до 500 мм коэффициент сопротивления заметно увеличивается; при дальнейшем увеличении диаметра он практически остается постоянным.

Таблица 56

Значения коэффициентов сопротивления циклонов
(D = 500 мм, $W_ц$ = 3 м/с)

Тип циклона	$\frac{d}{D}$	Без дополнительных устройств		С раскручивателем		С кольцевым диффузором		С выходной улиткой 500	С отводом 90° R/d = I,5	
		500	500	500	500	500	500		0-I2	500
ЦН-II	0,59	245	250	-	-	207	215	235	245	250
ЦН-I5	-	I55	I63	II5	I2I	I32	I40	I50	I55	I60
ЦН-I5У	-	I65	I70	I48	I52	I40	I48	I58	I65	I70
СК-ЦН-34	0,34	I050	II50	-	-	-	-	-	-	-
ЦН-24	-	75	80	6I	66	64	70	73	75	80
СДК-ЦН-33	0,33	520	600	-	-	-	-	500	-	560

Повышение концентрации пыли в потоке газов, поступающих в циклон, несколько снижает сопротивление.

Зависимость коэффициента сопротивления циклона от его диаметра и концентрации пыли выражается формулами:

$$\zeta_{ц}^{c} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{ц}^{c} 500, \qquad (21)$$

$$\zeta_{ц}^{n} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{ц}^{n} 500, \qquad (22)$$

где $\zeta_{ц}^{n}500$, $\zeta_{ц}^{c}500$ – коэффициенты полного сопротивления циклона и для сети при $Д$ = 500 мм (приведены в табл. 56);

K_1 – поправочный коэффициент на влияние диаметра циклона – $Д$ (приведен в табл. 57);

K_2 – поправочный коэффициент на влияние запыленности, приведенный в табл. 58.

Таблица 57

Поправочный коэффициент на влияние диаметра циклона (K_1)

$Д$ мм	ЦН-11	ЦН-15 ЦН-15У ЦН-24	СК-ЦН-34 СДК-ЦН-33
150	0,94	0,85	1,0
200	0,95	0,90	1,0
300	0,96	0,93	1,0
450	0,99	1,0	1,0
500	1,0	1,0	1,0

Сопротивление циклона существенно снижается при уменьшении крутки в выхлопном патрубке. Последнее достигается или путем установки перед выхлопным патрубком специального раскручивателя или путем установки на выходе из выхлопного патрубка кольцевого диффузора. Совместное применение обоих этих устройств нецелесообразно.

Таблица 58

Поправочный коэффициент на влияние запыленности (K_2)

Тип циклона	Запыленность 10^{-3} кг/м^3						
	0	10	20	40	80	120	150
ЦН-11	1	0,96	0,94	0,92	0,90	0,87	0,85
ЦН-15	1	0,93	0,92	0,91	0,90	0,87	0,86
ЦН-15У	1	0,93	0,92	0,91	0,89	0,88	0,87
ЦН-24	1	0,95	0,93	0,92	0,90	0,87	0,86
СК-ЦН-34	1	0,98	0,947	0,93	0,915	0,91	0,90

Раскручивающая улитка, хотя и является менее эффективной с точки зрения понижения сопротивления, но часто оказывается более удобной в конструктивном отношении, позволяя осуществлять одновременно изменение направления потока на 90^0.

Для изменения направления потока может быть использован и обычный отвод. Как видно из таблицы 56, при $R/d = 1,5$ (где R - радиус закругления) отвод 90^0, установленный непосредственно за циклоном, не повышает его сопротивления. Только при расположении отвода далеко за циклоном его дополнительное сопротивление следует учитывать. Коэффициент сопротивления группового циклона может быть определен по формуле

$$\zeta_{ц}^{гр} = \zeta_{ц}^{с} + K_3 , \qquad (23)$$

или

$$\zeta_{ц}^{гр} = K_1 \cdot K_2 \zeta_{ц}^{с} 500 + K_3 , \qquad (24)$$

где $\zeta_{ц}^{с}$ вычисляется по формуле 21 с учетом влияния запыленности; K_3 берется по табл. 59 в зависимости от варианта компоновки группового циклона.

Таблица 59

Коэффициент к сопротивлению циклона, учитывающий групповую компоновку

Вариант компоновки	Схема группового циклона	Характеристика группового циклона	$K_з$
I		Круговая компоновка, нижний организованный подвод	60
II	Рис. 30, 31, 32, 33	Прямоугольная компоновка; организованный подвод, циклонные элементы расположены в одной плоскости. Отвод из общей камеры чистого газа	35
III		То же, что вариант II, но улиточный отвод из циклонных элементов	28
IУ		Прямоугольная компоновка, свободный подвод потока в общую камеру	60

На основании приведенных выше значений коэффициентов сопротивления циклонов можно вычислить и сами потери в них по формуле

$$\Delta P = \xi_ц \frac{\rho_з \cdot W_ц^2}{2} \qquad (25)$$

или

$$\Delta P = 0{,}81 \frac{\xi_ц \cdot \rho_у \cdot q_р^2}{D^4} \qquad (26)$$

где $q_р$ – секундный расход газа через один циклон, м³/с.

Для обеспечения эффективной очистки условную скорость для цилиндрических циклонов обычно принимают 2,5-4 м/с. При малой плотности газов скорость $W_ц$ может иметь и более высокое значение.

Опыт показывает, что для каждого типа циклонов выражение имеет оптимальное значение. Выбрав это значение и зная коэффициент сопротивления $\zeta_ц$, определяют и значение условной скорости $W_ц$. Для циклонов ЦН-11 отношение $\Delta P/\rho_t$ принимают 800-1400, для ЦН-15, ЦН-15У - 500-1000, для ЦН-24 - 300-600 м^2/с^2. Для конических циклонов СК-ЦН-34 и СДК-ЦН-33, отличающихся высокой эффективностью и низкой пропускной способностью, отношение $\Delta P/\rho_t$ принимают 1200-2400 м^2/с^2.

Верхним пределом рекомендованных соотношений следует пользоваться в тех случаях, когда предъявляются особые требования к сокращению габаритов установки и эффективности. В остальных случаях следует принимать скорость $W_ц$ и сопротивление ближе к нижнему пределу. При аэродинамических расчетах плотность и расход газов необходимо приводить к нормальным условиям. При этом можно пользоваться следующими зависимостями

$$\rho_t = \rho_0 \frac{B_p}{(1 + \quad/273)101{,}3\cdot10^3} = 2{,}69\cdot10^{-3}\rho_0\frac{B_p}{273+}, \text{ кг/м}^3, (27)$$

где ρ_0 - плотность газов при 0 °С и давлении $101{,}3\cdot10^3$ н/м^2 (приближенное значение плотности дымовых газов представлено на графике рис. 62);

ρ_t - плотность газов при рабочих условиях, кг/м^3;

B_p - абсолютное давление рабочих газов на входе в циклон, н/м^2.

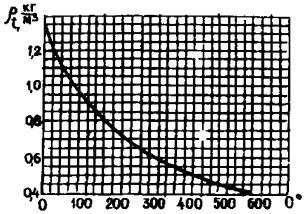


Рис. 62. Плотность дымовых газов (ρ_t) в зависимости от температуры (ρ_0 = 1,32 кг/м^3

Если плотность дана для сухих газов при нормальных условиях, то

$$\rho_0 = \frac{(\rho_{с.г.} + m)\cdot 0{,}804}{0{,}804 + m}, \text{ кг/м}^3\text{(н.у.)}, (28)$$

где $\rho_{с.г.}$ - плотность сухих газов при 0 °С и давлении $101{,}3\cdot10^3$ н/м^2;

m - содержание водяных паров в газах при нормальных условиях, $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3\text{с.г}}$ (н.у).

Секундный расход газа определяется из выражения

$$Q_p = \frac{Q_o\,(1 + t/273)\cdot 101{,}3\cdot 10^3}{B_p} = 371\,Q_o\,\frac{273+t}{B_p},\ м^3/с, \quad (29)$$

где Q_p – общий секундный расход газов при температуре t,

Q_o – секундный расход при 0^0С и давлении $101{,}3\cdot 10^3$ Н/м^2.

Если секундный расход дан для сухих газов, то

$$Q_o = Q_{с.г.}\,(1 + m/0{,}804),\ м^3/с,\ (н.у), \quad (30)$$

где $Q_{с.г.}$ – секундный расход сухих газов при 0^0С и давлении $101{,}3\cdot 10^3$ Н/м^2.

Секундный расход газов, проходящих через один циклон, определяется по формуле

$$q_p = \frac{\pi D^2}{4} W_ц = 1{,}107 D^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_t \cdot \zeta_ц}} = 21{,}6 D^2 \sqrt{\frac{\Delta P (273+t)}{\rho_o \cdot \zeta_ц \cdot B_ц}},\ м^3/с \quad (31)$$

Диаметр циклонных элементов при заданной величине q_p, ρ_t, ΔP, $\zeta_ц$ вычисляется по формуле

$$D = 0{,}94\sqrt{\frac{q_p^2 \cdot \rho_t \cdot \zeta_ц}{\Delta P}} = 0{,}214\sqrt{\frac{q_p^2 \cdot \rho_t \cdot \zeta_ц \cdot B_ц}{\Delta P (273+t)}} \quad (32)$$

Размеры циклонов в зависимости от расхода и плотности газов и перепада давлений могут также определяться по номограмме (рис.63).

П р и м е р.

Расход рабочих газов q_p = 3600 м^3/ч при температуре t = 250^{0}С и плотности газов ρ_o = 1,32 кг/м^3 (н.у), давлении B_p = $120\cdot 10^3$ н/м^2.

Требуется определить диаметр циклона ЦН-15 при сопротивлении ΔP = 800 н/м^2.

Определяем секундный расход газа:

$$q_p = \frac{3600}{3600} = 1\ м^3/с$$

По формуле (32) определяем диаметр циклона, принимая коэффициент гидравлического сопротивления $\zeta_ц$ = 160.

$$D = 0{,}214 \sqrt[4]{\frac{Q_p \cdot \rho_t \cdot \xi_ц \cdot B_p}{\Delta P(273 + t)}} = 0{,}214 \sqrt[4]{\frac{I^2 \cdot I{,}32 \cdot I60 \cdot I20 \cdot I0^3}{800\ (273 + 250)}} =$$

$$= 0{,}586$$

Принимаем $D = 0{,}600$ м.

Для определения диаметра циклона по графику (рис. 63) определяем отношение $\Delta P/\rho_t$, пользуясь выражением (25):

$$\frac{\Delta P}{\rho_t} = \frac{\Delta P(273 +)}{2{,}69 \cdot I0^{-3} \rho_o B_p} = \frac{I0^{-3} \cdot 800(273+250)}{2{,}69 \cdot I{,}32 \cdot I20 \cdot I0^{-3}} = 985\ м^2/с^2.$$

Из точки на оси абсцисс, соответствующей заданному расходу газов 3600 м^3/ч, восстанавливаем перпендикуляр до пересечения в точке А с кривой циклона ЦН-I5. Из точки А проводим горизонтальную прямую до её пересечения в правой половине номограммы с радиальной прямой $\Delta P/\rho_t$, соответствующей 985, и по дуговой линии определяем диаметр: $D = 0{,}600$ м. Таким образом, оба способа дают практически одинаковые результаты. При окончательных расчетах размеров циклона следует отдавать предпочтение аналитическому способу, обеспечивающему большую точность.

Технологический расчет циклонов НИИОГАЗ

И с х о д н ы е д а н н ы е. Рассчитать группу циклонов для котла КРШ I3/I0 паропроизводительностью I0 т/ч, имеющего шахто-мельничную топку и сжигающего фрезерный торф. Котел снабжен экономайзером. Температура дымовых газов на выходе из котла I60 °С. Расход торфа составляет I900 кг/ч. Объем топочных газов, приведенный к нормальным условиям на I кг топлива, составляет I2,5 м^3/кг. Плотность дымовых газов, приведенная к нормальным условиям ρ_o = I,32 кг/м^3 (н.у), объем водяных паров на I кг топлива составляет 0,3 м^3/кг. Давление газов на входе в циклон составляет $98 \cdot I0^3$ н/м^2 (736 мм.рт.ст.). Допустимое гидравлическое сопротивление не более 900 н/м^2 (92 мм.вод.ст.). Запыленность газов на входе $5 \cdot I0^{-3}$ кг/м^3.

Требуется обеспечить очистку газов от золы с остаточной запыленностью на выходе не выше $0{,}4 \cdot I0^{-3}$ кг/м^3.

Р а с ч е т.

I. Определим объемный расход влажных газов при нормальных условиях:

$$Q_o = (12{,}5 + 0{,}3)1900 = 24380 \text{ м}^3/\text{ч (н.у)}$$

2. Определяем секундный объем газов, проходящих через циклоны, в рабочих условиях, пользуясь формулой:

$$Q_p = 371 \cdot Q_o \cdot \frac{273+t}{B_p} = 371 \cdot \frac{24380}{3600} \cdot \frac{273 + 160}{98000} = 11{,}08 \text{ м}^3/\text{с}$$

3. Принимая прямоугольную компоновку циклонных элементов типа ЦН-11 с организованным подводом потока, определяем коэффициент гидравлического сопротивления группового циклона по формуле:

$$\xi_ц^{гр} = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_ц^{с} 500 + K_3 ,$$

подставляя значения коэффициентов из таблиц 56, 57, 58, 59 получаем

$$\xi_ц^{гр.} = 1 \cdot 1 \cdot 207 + 35 = 242$$

4. Определяем количество циклонных элементов в групповом циклоне, при диаметре элемента 800 мм. Пользуясь выражением (31), получим расход газов для одного элемента:

$$q_p = 21{,}6 D^2 \sqrt{\frac{\Delta P (273 + t)}{\rho_o \cdot \xi_ц \cdot B_p}} = 21{,}6 \cdot 0{,}8^2 \cdot$$

$$\sqrt{\frac{900 (273 + 160)}{98000 \cdot 242 \cdot 1{,}325}} = 1{,}54 \text{ м}^3/\text{с}$$

Количество элементов определяем по формуле

$$z = \frac{Q_p}{q_p} = \frac{11{,}08}{1{,}54} = 7{,}2$$

Принимаем для проектирования групповой циклон из 8 элементов диаметром 800 мм.

5. Определяем скорость газов в элементах группового циклона:

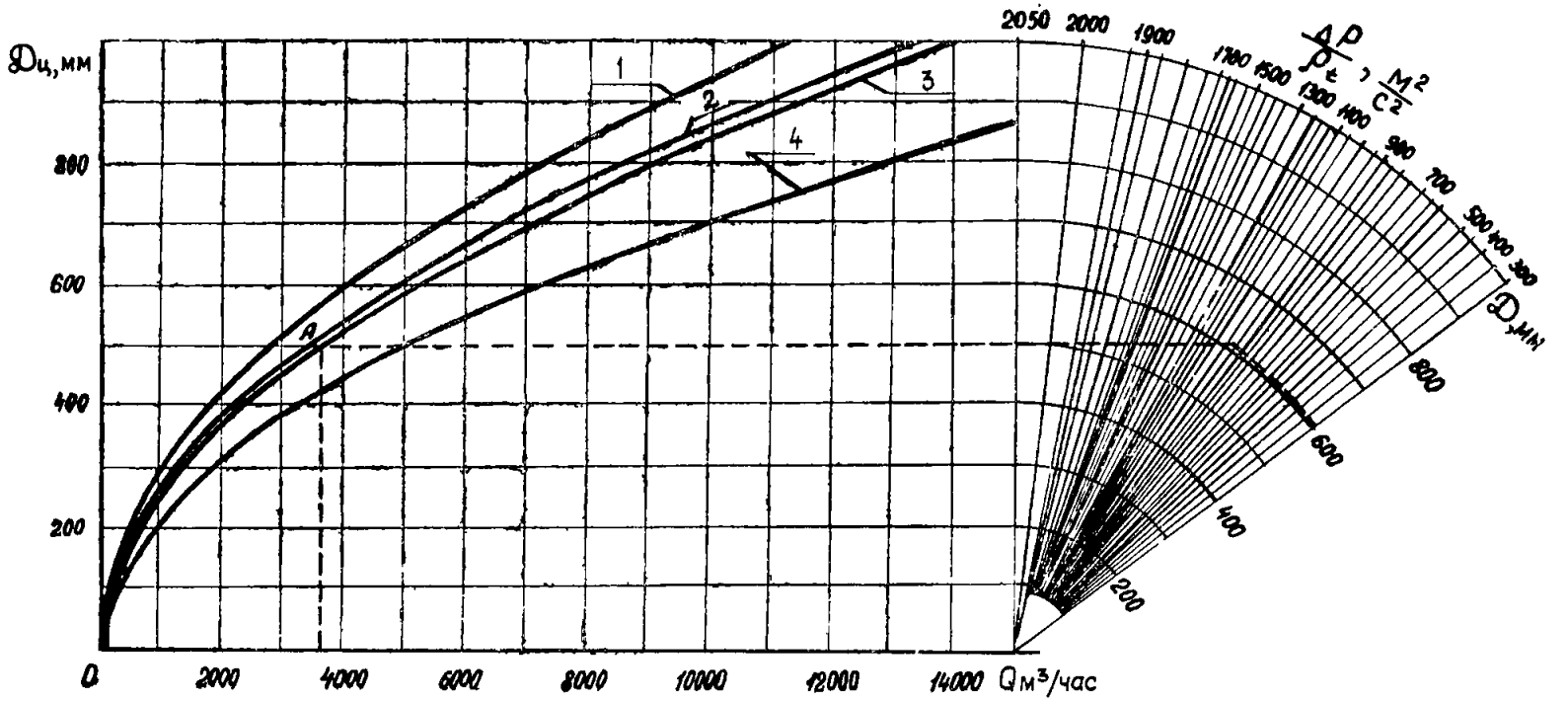


Рис 63 Номограмма для расчета производительности и гидравлического сопротивления циклонов НИИОГАЗ
1 - ЦН - 11, $\varphi_y^n = 250$; 2 - ЦН - 15У, $\varphi_y^n = 170$; 3 - ЦН - 15, $\varphi_y^n = 160$;
4 - ЦН - 24, $\varphi_y^n = 60$

$$W_ц = \frac{4q_г}{N \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 11{,}08}{8 \cdot \pi \cdot 0{,}8^2} = 2{,}756 \text{ м/с}$$

6. Пользуясь табл. 54, принимаем медиану распределения частиц $d_{50} = 35$ мкм, $d_{16} = 16$ мкм.

7. Определяем общую эффективность очистки в циклонных элементах, пользуясь формулами 12, 13 и табл. 53.

$$x' = \frac{\lg \frac{d_{50}}{d_{50ц} \cdot K \cdot 10^3 \sqrt{D \cdot \mu / \rho_п \cdot W_ц}}}{\sqrt{G_ц^2 + \lg^2 (d_{50}/d_{16})}} = \frac{\lg \frac{}{2{,}47 \cdot 41{,}4 \cdot 10^3 \sqrt{0{,}8 \cdot 24 \cdot 10^{-6} / 2800 \cdot 2{,}76}}}{\sqrt{0{,}158 + \lg^2 (35/16)}} = 1{,}6$$

При расчетах вязкость газа μ принята с некоторым приближением по графику для воздуха (рис. 61).

$$\mu = 24 \cdot 10^{-6} \text{ н} \cdot \text{с/м}^2$$

По табл. 52 находим, что $x' = 1{,}6$ соответствует $\Phi(x') = 0{,}8882$, тогда $\eta = 50\ (1 + 0{,}8882) = 94{,}41\%$.

8. Определяем запыленность газов на выходе из группового циклона, пользуясь выражением

$$z_{вых.} = z_{вх.} - \eta \cdot z'_{вх.} = 5 \cdot 10^{-3} - 0{,}944 \cdot 5 \cdot 10^{-3} = 0{,}3 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$$

Концентрация золы на выходе из циклона удовлетворяет поставленным условиям, и принятые размеры, тип и компоновка группового циклона могут быть заложены в проект.

Приложение 3

РАСЧЕТ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ

А. Расчет элементов установки

I. Общий объем газов $V_г$, выделяющихся из печи, определяется по формуле [13]:

$$V_г = V_{г/т} \cdot V, \quad нм^3/ч \qquad (33)$$

где $V_{г/т}$ – максимальное количество газов, выделяющихся в печи при плавке I т стали, $нм^3$;
V – емкость печи, т.

2. Теоретическое количество воздуха L_o, необходимое для дожигания CO и H_2, определяется по формуле

$$L_o = 0{,}0476(0{,}5CO + 0{,}5\,H_2 - O_2) \quad нм^3/нм^3 \qquad (34)$$

где CO – содержание окиси углерода в отходящих газах, %;
H_2 – содержание водорода, %;
O_2 – то же, кислорода в %.

3. Общее количество воздуха $L_в$, необходимое для дожигания CO и H_2, определяется по формуле

$$L_в = V_г \cdot L_o \cdot \alpha, \quad нм^3/ч \qquad (35)$$

где $V_г$ – общий объем газов, $нм^3/ч$;
L_o – теоретическое количество воздуха, $нм^3/нм^3$;
α – коэффициент избытка воздуха.

4. Объем сухих трехатомных газов

$$V_{RO_2} = 0{,}01(CO_2 + CO + H_2S + \Sigma m\ Cm\,Hn), \quad нм^3/нм^3 \qquad (36)$$

где CO_2 – содержание углекислоты в газах, выделяющихся из печи, %;

CO – то же, окиси углерода, %;

H_2S – то же, сероводорода, %;

$\Sigma_m C_m H_n$ – то же углеводорода, %.

5. Объем водяных паров

$$V_{H_2O} = (H_2S + H_2 + \Sigma \frac{n}{2} C_m H_n + 0{,}124 d_2) \cdot 0{,}01 + 0{,}0161 L_o \cdot d \quad , нм^3/нм^3 \qquad (37)$$

где H_2S – содержание сероводорода в газах, выделяющихся из печи, %;

H_2 – то же, водорода, %;

$C_m H_n$ – то же, углеводорода, %;

d_2 – влагосодержание газов, $г/нм^3$;

L_o – теоретический объем воздуха, необходимого для дожигания CO, $нм^3/нм^3$.

6. Теоретический объем двухатомных газов определяется по формуле

$$V_{N_2} = 0{,}79 L_o + N_2 / 100, \quad нм^3/нм^3 \qquad (38)$$

где L_o – теоретический объем воздуха, $нм^3/нм^3$;

N_2 – содержание азота в газах, выделяющихся из печи, %.

7. Объем продуктов сгорания на единицу сжигаемого газа определяется по формуле

$$V_{пг} = V_{RO_2} + V^{\circ}_{N_2} + V_{H_2O} + (\alpha + 1) L_o \quad , \qquad нм^3/нм^3 \qquad (39)$$

8. Полный объем газов после зоны дожигания будет равен

$$V^{\alpha}_{г} = V_{г} + V_{пг} \quad , \qquad (40)$$

где $V_{г}$ – общий объем газов, выделяющихся из печи, $нм^3/ч$;

$V_{пг}$ – объем продуктов сгорания, $нм^3/нм^3$.

9. Действительная температура горения определяется из уравнения теплового баланса:

$$Q^{р}_{н} + J_{г} + J_{в} = V_{пг} \cdot c \cdot t_{g} + q_{g} + q_{п} \quad , \qquad (41)$$

где $Q_н^р$ - низшая теплотворная способность топлива, ккал/нм³;
$J_г$ - теплосодержание газа, ккал/нм³;
$J_в$ - теплосодержание воздуха, приходящегося на единицу сжигаемого газа, ккал/нм³;
$V_{пг}$ - объем продуктов горения на единицу сжигаемого газа, нм³/нм³;
C - средняя удельная теплоемкость продуктов горения, ккал/нм³ град.;
$t_д$ - действительная температура горения, °С;
$q_д$ - количество тепла, затраченного на частичную диссоциацию продуктов горения, %;
$q_п$ - количество тепла, рассеиваемого в окружающую среду, %.

10. Общий объем газов при температуре $t = t_д$

$$V_{г.t_д} = V_г^{об} \cdot \frac{t_д + 273}{273}, \quad нм^3/ч, \qquad (42)$$

11. Диаметр газохода определяется по формуле

$$d = \sqrt{\frac{4F}{\pi}}, \quad м, \qquad (43)$$

где F - площадь газохода, равная $F = V_г \cdot t_д / 3600 \cdot W$, м²;
W - скорость газа в газоходе, м/с.

Б. Тепловой расчет водоохлаждаемого патрубка

1. Количество тепла, переданного через водоохлаждаемый патрубок, определяется по формуле:

$$Q = F_о \cdot K \cdot (t_г - t_в), \quad ккал/ч, \qquad (44)$$

где $F_о$ - площадь охлаждения, м²;
K - коэффициент теплопередачи, ккал/м²·град·ч;
$t_г$ - средняя температура газов, °С;
$t_в$ - средняя температура охлаждающей воды, °С.

2. Площадь охлаждения

$$F_о = \pi \cdot D \cdot \ell, \quad м^2, \qquad (45)$$

где D - диаметр газохода, м;
ℓ - длина газохода, м.

3. Средняя температура газов

$$t_г = 0,5\ (\ t_г + t_х\ )\quad {}^0C \tag{46}$$

где $t_г$ - средняя температура газов на входе в водоохлаждаемый патрубок, ^0C;

$t_х$ - температура газов на выходе из водоохлаждаемого патрубка, ^0C.

4. Средняя температура охлаждающей воды

$$t_в = 0,5\ (\ t_н + t_к\ ),\ {}^0C \tag{47}$$

где $t_н$ - начальная температура воды, ^0C;

$t_к$ - конечная температура воды, ^0C.

5. Коэффициент теплопередачи от газов к охлаждающей воде определяется по формуле

$$K = \frac{\alpha_o}{I + \varepsilon\alpha_o}\ ,\quad \text{ккал/м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{град}, \tag{48}$$

где ε - коэффициент загрязненности поверхности;

α_o - суммарный коэффициент теплоотдачи ккал/м^2·ч·град.

6. Суммарный коэффициент теплоотдачи равен

$$\alpha_o = \alpha_к + \alpha_л\ ,\quad \text{ккал/м}^2\cdot\text{ч}\cdot\text{град}, \tag{49}$$

где $\alpha_к$ - конвективный коэффициент теплоотдачи в ккал/м^2·ч·град;

$\alpha_л$ - коэффициент теплоотдачи излучением в ккал/м^2·ч·град.

7. Конвективный коэффициент теплоотдачи от газов к стенке определяется по формуле

$$\alpha_к = 0,023\,\frac{\lambda}{d_э}\left(\frac{W\cdot d_э}{\delta}\right)^{0,8}\cdot P_r^{0,4}\cdot C_t\cdot C_e\ , \tag{50}$$

где λ - коэффициент теплопроводности среды в ккал/м·ч·град;

δ - коэффициент кинеметической вязкости при средней температуре потока,

$$\delta = \mu\cdot q\ ,\quad \text{м}^2/\text{с}\ ; \tag{51}$$

W - скорость газа, определяемая по формуле

$$W = V/F\ ,\quad \text{м/с}\ ; \tag{52}$$

$d_э$ - эквивалентный диаметр,

$$d_э = 4F/U_m \text{ , м}, \qquad (53)$$

F - площадь живого сечения газохода, $м^2$;

U_m - часть периметра сечения, через который происходит теплообмен, м;

C_t - поправка, зависящая от температуры потока и степени;

C_e - поправка на относительную длину - вводится только при значениях $\ell/d_э < 50$ и определяется по номограмме;

P_r - критерий Прандтля - определяется по формуле

$$P_r = \frac{3600 \cdot м \cdot g \cdot C_p}{\lambda} \text{ , } \qquad (54)$$

λ - коэффициент теплопроводности газов, ккал/м·ч·град;

C_p - средняя теплоемкость газов, ккал/$ним^3$·град.;

$м$ - коэффициент динамической вязкости, кг·с/$м^2$;

g - ускорение силы тяжести, м/$с^2$.

8. Коэффициент теплоотдачи излучением

$$V_л = 4{,}9 \cdot 10^{-8} \frac{d_{см} + 1}{2} \cdot d \cdot T_м \cdot \frac{1 - (T_{см}/T_г)^4}{1 - (T_{см}/T_г)} \text{ , } \qquad (55)$$

где $d_{см}$ - степень черноты стенок лучевоспринимающих поверхностей;

d - степень черноты газа определяется по $d = 1 - e^{-кpS}$;

e - основание натуральных логарифмов;

$кpS$ - суммарная сила поглощения продуктов сгорания, определяется графически;

$T_м$ - абсолютная температура потока продуктов сгорания, ^oC;

$T_{см}$ - то же, стенки, ^oC.

9. Длина водоохлаждаемого патрубка, необходимая для дожигания CO, определяется по формуле

$$\ell = 0{,}2 \cdot \delta \cdot W \text{ , } \qquad (56)$$

где δ - диаметр патрубка, м;

W - скорость газа в трубе, м/с.

В. Расчет охлаждения газов в скруббере

Скруббер является теплообменной камерой, расчет которой сводится к определению её основных размеров - диаметра и высоты. Размеры аппарата диктуются условиями теплопередачи. Значение объемного коэффициента теплообмена принимается по данным экспериментальных исследований, проведенных Академией коммунального хозяйства им.К.Д.Памфилова в 1957-1959 гг. и опубликованных в отчете по теме "Газовые контактные водонагреватели форсуночного типа различной производительности". На основании этого отчета выпущено информационное письмо, основные положения которого и положены в расчет скруббера.

1. Полезный рабочий объем теплообменной камеры-скруббера определяется из основного уравнения теплопередачи,

$$Q = K_v \cdot V \cdot \Delta t \ , \quad \text{ккал/ч},$$

откуда

$$V = \frac{Q}{K_v \cdot \Delta t} \ , \quad м^3 \qquad (57)$$

Неизвестным в формуле 57 является K_v - объемный коэффициент теплопередачи, ккал/м^3·ч·град.

По опытам, проведенным Академией, K_v изменяется в пределах 1200-1300 ккал/ч·м^3·град. в зависимости от тонкости распыла воды форсунками.

В формуле 57 принято:

Q - производительность скруббера по теплу, ккал/ч;

Δt - среднелогарифмическая разность температур, ^{0}С, определяемая по формуле

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_{г.в.}) - (t_2 - t_{хв})}{\ell_n (t_1 - t_{г.в.})(t_2 - t_{хв})} \ , \qquad (58)$$

где t_1 - температура газов на входе, ^{0}С;

t_2 - то же, на выходе, ^{0}С;

$t_{гв}, t_{хв}$ - температура горячей и холодной воды, ^{0}С.

Величины t_2 и $t_{хв}$ задаются; $t_{гв}$ - принимается в зависимости от схемы отвода шлама, принятой в проекте.

2. Сечение теплообменной камеры $F_{тк}$ определяется по формуле

$$F_{mк} = \frac{W_в}{A}, \quad м^2, \tag{59}$$

где $W_в$ – расход воды через теплообменную камеру-скруббер, $м^3/ч$;

A – плотность орошения, $м^3/м^2 \cdot ч$, по опытным данным рекомендуется принимать 14 $м^3/м^2 \cdot ч$

3. Расход воды определяется по формуле

$$W_в = \frac{Q \cdot \eta_к}{C(в)(t_{гв} - t_{хв})}, \quad л/ч, \tag{60}$$

где $C(в)$ – теплоемкость воды, ккал/кг·град;

$\eta_к$ – КПД камеры по опытам $\eta_к \geq 0{,}61$.

4. Диаметр теплообменной камеры

$$D_{mк} = \sqrt{\frac{F_{mк}}{0{,}785}}. \tag{61}$$

5. Полезную высоту теплообменной камеры-скруббера находят из выражения:

$$H_{mк} = \frac{V_{m.к.}}{0{,}785 \cdot D_{m.к.}}, \quad м, \tag{62}$$

где $V_{m\,к.}$ – объем скруббера, $м^3$;

$D_{m.к.}$ – диаметр теплообменной камеры, м.

6. Если полученные расчетные данные не удовлетворяют конструктивным требованиям, то следует ввести соответствующие поправки в расчет.

Г. Расчет трубы Вентури и каплеотделителя

Труба Вентури рассчитывается согласно руководящим указаниям по проектированию, монтажу и эксплуатации турбулентных промывателей, разработанным институтами Гипрогазоочистка и НИИОГАЗ.

1. Диаметр d_1 входного сечения трубы-распылителя принимается равным диаметру подводящего газохода, либо рассчитывается по уравнению

$$d_1 = \sqrt{\frac{Q}{3600 \cdot 0{,}785 \cdot W}} = 1{,}88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{Q}{W}} \text{ , м,} \qquad (63)$$

где Q – производительность установки по газу при условиях, соответствующих входу его в трубу-распылитель, м³/ч;

W – скорость газового потока во входном сечении трубы-распылителя, м/с.

2. Диаметр горловины d_2 трубы-распылителя определяется по формуле

$$d_2 = 1{,}88 \cdot 10^{-2} \sqrt{\frac{Q_2}{W_2}} \text{ , м,} \qquad (64)$$

где Q_2 – объем газа во входном сечении горловины трубы-распылителя, м³/ч;

W_2 – скорость газового потока в сечении горловины трубы-распылителя, м/с.

3. Длина конфузора трубы-распылителя определяется по формуле

$$\ell_1 = \frac{d_1 - d_2}{2 \operatorname{tg} \alpha_1 / 2} \text{ , м ,} \qquad (65)$$

где d_1 – начальный диаметр конфузора, м;

d_2 – диаметр горловины трубы, м;

α_1 – угол сужения конфузора, град.

4. Длина горловины трубы

$$\ell_2 = 0{,}15\, d_г \text{ , м,} \qquad (66)$$

где $d_г$ – диаметр горловины трубы-распылителя, м.

5. Длина диффузорной части трубы-распылителя

$$\ell_3 = \frac{d_3 - d_2}{2 \operatorname{tg} \alpha_2 / 2} \text{ , м,} \qquad (67)$$

где d_3 – конечный диаметр диффузора, м;

d_2 – диаметр горловины трубы, м;

α_2 – угол раскрытия диффузора, град.

6. Секундный расход орошаемой жидкости

$$Q_ж = \frac{m_1 \cdot Q}{3600} \text{ , м}^3/\text{с} \qquad (68)$$

где Q - общее количество газов, $нм^3$;

m_1 - удельный расход воды, $л/м^3$, определяемый из уравнения

$$\xi_ж m_1 = \frac{\gamma_1}{\gamma_ж}\left[\frac{(\Delta P_{тр})_{ор}\cdot 2g}{\gamma_1 \cdot W_1} - 0{,}2\right], \qquad (69)$$

где $\xi_ж$ - гидравлическое сопротивление трубы-распылителя;

γ_1 - удельный вес газа при условиях на входе в трубу-распылитель, $кг/нм^3$;

$\gamma_ж$ - удельный вес жидкости, кг/л;

$(\Delta P_{тр})_{ор}$ - ориентировочное значение гидравлического сопротивления трубы-распылителя, $кг/м^2$;

g - ускорение силы тяжести, $м/с^2$;

$W_г$ - скорость газов в горловине трубы-распылителя, м/с;

m_1 - удельный расход воды, $л/м^3$;

0,2 - коэффициент, учитывающий качество изготовления трубы-распылителя.

7. Диаметр выходного сечения форсунки определяется по формуле

$$d_e = \sqrt{\frac{4Q_ж}{M\pi\sqrt{2g\,P/\gamma}}}, \ м \qquad (70)$$

где M - коэффициент динамической вязкости жидкости, $кГс/м^2$.

8. Для обеспечения равномерного перекрытия сечения трубы-распылителя орошающей жидкостью форсунку ВТИ следует располагать в газоходе перед конфузором на расстоянии $I-I{,}5\ d_1$, здесь d_1 - входной диаметр конфузора, м.

9. Диаметр каплеуловителя определяется по формуле

$$d_ц = 0{,}0188\sqrt{Q/W_ц}, \qquad (71)$$

где Q - количество газов на входе в аппарат, $нм^3$;

$W_ц$ - скорость газов в цилиндрической части аппарата, м/с.

П р и м е р.

Рассчитать газоотсасывающую установку от 5-тонной электродуговой печи ДС-5 мт. Рассчитываются и определяются следующие основные данные установки:

- объем газов, вырывающихся через четвертое отверстие;
- объем продуктов сгорания;

- диаметр четвертого сводного отверстия;
- диаметр газоотводящего патрубка;
- геометрические размеры и диаметр трубы Вентури;
- геометрические размеры и диаметр каплеуловителя.

Исходные данные

I. Печь электродуговая марка ДС-5 мт; емкость печи - 7,5 т.

2. Состав шихты - отходы металлолома, стружка.

3. Длительность плавки - 2,5 ч.

4. Температура газов в период максимального газовыделения - I400 °С.

5. Технический состав газа, %.

CO	H_2	O_2	CO_2	N_2
I6	2	4,8	I2	65,2

6. Химический состав пыли, %.

SiO_2	Al_2O_3	FeO	Fe_2O_3	CaO	MgO	MnO	прочие
2-I4	I-I3	2-3	I9-65	I-22	2-38	4-I2	Mn_2O_3; MnO_2; P_2O_5; NO_2; NO; CuO.

7. Гранулометрический состав пыли, %.

Размер частиц пыли в мкм				
0-5	5-I0	I0-20	20-44	Более 40
66-75	6-I2	3-I0	I-9	I-7

Расчет элементов установки

А. Определение объема газов и диаметров газоотводящего патрубка и четвертого отверстия в своде

I. Максимальный объем газов, выделяющихся в печи при плавке I т стали - I50 $нм^3/ч$.

2. Емкость печи - 7,5 т.

3. Общий объем газов, выделяющихся в печи

$$V_г = 150 \times 7,5 = 1123 \; нм^3/ч$$

4. Максимальная температура вырывающихся из печи газов - I400 °С.

5. Минимальная температура вырывающихся газов - II00 °С.

6. Средняя температура - I200 °С.

7. Состав газов принят: CO - I6%; H_2 - 2%; O_2 - 4,8%; CO_2 - I2%; N_2 - 65,2%.

8. Теоретическое количество воздуха, необходимого для дожигания CO и H_2 определяется по формуле (2):

$$L_0 = 0,0476(0,5 \times 16 + 0,5 \times 2,0 - 4,8) = 0,2 \; нм^3/нм^3$$

9. Для снижения температуры горения и лучшего дожигания CO и H_2 коэффициент избытка воздуха принимаем равным 2,3 (средняя величина из отчета ГПИ Сантехпроект по испытанию и наладке 6-й электропечи на ЧТЗ).

Общее количество воздуха для дожигания CO будет равно

$$L_в = 1123 \times 2,3 \times 0,2 = 520 \; нм^3/ч$$

I0. Объем сухих трехатомных газов определяется по формуле (36):

$$V_{RO_2} = 0,01 \; (16 + 12) = 0,28 \; нм^3/нм^3$$

II. Объем водяных паров при влагосодержании газов, равном I0 $г/нм^3$, определяется по формуле (37):

$$V_{H_2O} = 0,01(2 + 0,124 \times 10) + 0,0161 \times 2,3 \times 0,2 = 0,0393 \; нм^3/нм^3$$

I2. Теоретический объем двухатомных газов определяется по формуле (38):

$$V^{\circ}_{N_2} = 0,79 \times 0,2 + 0,01 \times 65,2 = 0,81 \; нм^3/нм^3.$$

I3. Объем продуктов сгорания на единицу сжигаемого газа по формуле (39):

$$V_{пг} = 0,28 + 0,8I + 0,040 + (2,3-I)\,0,2 = I,39 \text{ нм}^3/\text{нм}^3$$

I4. Полный объем газов после зоны дожигания при $\alpha = 2,3$ равен по формуле (40):

$$V_г^{об} = II23 \times I,390 = I560 \text{ нм}^3/\text{ч}$$

I5. Суммарная теплоемкость продуктов сгорания определяется по формуле $\Sigma C_v = V_{CO_2} \cdot C_{CO_2} + V_{H_2O} \cdot C_{H_2O} + V_{O_2+N_2} \cdot C_{O_2+N_2}$

при $t = I400^0C$

$\Sigma C_v = 0,28x0,553 + 0,040x0,44 + I,07x0,36 = 0,58$ ккал/нм^3

при $t = II00^0C$

$\Sigma C_v = 0,28x0,534 + 0,040x0,42 + I,07x0,355 = 0,55$ ккал/нм^3

$t = I300^0C$

$\Sigma C_v = 0,28x0,547 + 0,040x0,43I + I,07x0,35I = 0,56$ ккал/нм^3

I6. Действительная температура горения определяется из уравнения (4I):

$$t_g = \frac{Q_г + J_г + J_в - q_q - q_n}{V_{пг}} = \frac{536,5 + 520 + 6,2}{I,442 \cdot 0,56} = I3I0^0C$$

при этом $J_в = t \cdot C_в$ $J_в = 20x0,3Ix0,2 = 6,2$;

q_q - не учитывается, так как оно оказывает существенное влияние при $t = I600^0$ и более;

q_n - не определялось для данного примера, принято равным 0.

I7. Объем газов при температуре $I3I0^0C$ по формуле (42):

$$V_{I3I0^0} = V_г^{об} \cdot \frac{I3I0 + 273}{273} = I560 \cdot \frac{I3I0 + 273}{273} = 9050 \text{ м}^3/\text{ч}$$

I8. Площадь сечения газохода при скорости газов в трубе 30 м/с будет равна:

$$F = \frac{9050}{3600 \times 30} = 0,0840 \text{ м}^2$$

откуда диаметр газохода

$$Д = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0{,}084}{3{,}I4}} = 0{,}33 \text{ м}$$

По ГОСТ 8732-70 принимаем Д = 325х8 мм. Тогда действительная скорость газа

$$W_г = \frac{9050}{3600 \cdot \frac{3{,}I4 \cdot 0{,}3I \cdot 0{,}3I}{4}} = 33 \text{ м/с}$$

Диаметр второй трубы определяется конструктивно и принят по ГОСТ 8732-70

426 х 9 мм

I9. Отверстие в своде принято конструктивно d = 390 мм, количество газов, вырывающихся через сводовое отверстие при t = I400 °С

$$V_г = II23 \times \frac{I400 + 273}{273} = 6400 \text{ м}^3/\text{ч}$$

20. Скорость газов в сводовом отверстии будет равна:

$$W_г = \frac{6400}{3600 \cdot \frac{3{,}I4 \cdot 0{,}39 \cdot 0{,}39}{4}} = I4{,}9 \text{ м/с}$$

Б. Тепловой расчет водоохлаждаемого патрубка

I. Средняя температура газов на входе в водоохлаждаемый патрубок I300 °С.

2. Температура газов на выходе из водоохлаждаемого патрубка I020 °С.

3. Средняя температура подаваемой воды 20 °С.

4. Скорость воды в водоохлаждаемой рубашке 0,8÷I м/с.

5. Внутренний диаметр газоотводящего патрубка 309 мм.

6. Длина водоохлаждаемого патрубка 2,2 м.

7. Площадь охлаждения

$$F = \pi d \ell = 3{,}I4 \cdot 0{,}33 \cdot 2{,}2 = 2{,}28 \text{ м}^2$$

8. Количество тепла, отдаваемого газами воде при средней

теплоемкости газов C_y = 0,41 ккал/нм^3·град. составит

$$Q = 1560 \cdot 0,41(1300 - 1020) = 179000 \text{ ккал/ч.}$$

9. Средняя температура охлаждающей воды

$$t^в_{ср} = 0,5\ (t_н + t_к) = 0,5\ (20 + 50) = 35^0C$$

10. Средняя температура газов

$$t^г_{ср} = 0,5\ (t_г + t_х) = 0,5\ (1300 + 1020) = 1160^0C.$$

11. Для средней температуры газов 1160^{0}С определяем среднюю динамическую вязкость в зависимости от химического состава газов. Состав газов и динамическая вязкость их при 0^{0}С:

CO_2 = 12%, вязкость - $1,402 \times 10^{-6}$ кГ·с/м^2,

O_2 = 4,8%, вязкость - $1,98 \times 10^{-6}$ кГ·с/м^2,

CO = 16%, вязкость - $1,68 \times 10^{-6}$ кГ·с/м^2,

H_2 = 2%, вязкость - $0,866 \times 10^{-6}$ кГ·с/м^2.

Средняя вязкость при 0^{0}С будет $1,5 \times 10^{-6}$ кГ·с/м^2.

12. Динамическая вязкость μ_t для газов при t = 1160^{0}С определяется по формуле:

$$\mu_{1160} = \mu_0 \cdot \frac{1 + \frac{c}{273}}{1 + \frac{c}{273}} \times \sqrt{\frac{t + 273}{273}} =$$

$$= 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{1 + \frac{120}{273}}{1 + \frac{120}{273} + 1160} \times \sqrt{\frac{1160 + 273}{273}} =$$

$$= 4,57 \times 10^{-6} \text{ кГ·с/м}^2$$

13. Объем газов при t = 1160^{0}С

$$V_г = 1560 \cdot \frac{1160 + 273}{273} = 1560 \cdot 5,2 = 8200 \text{ м}^3/\text{ч}$$

14. Скорость газов в патрубке при t = 1160^{0}С

$$W_г = \frac{8200}{3600 \times 0,076} = 30 \text{ м/с}$$

15. Критерий Рейнольдса для охлаждаемых газов подсчитывается по формуле

$$Re = \frac{W \cdot d \cdot \gamma}{\mu \cdot g} = \frac{30 \cdot 0,31 \cdot 0,25}{4,57 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81} = 51000$$

где γ - удельный вес газов при $t = 1160^{\circ}C$, равный 0,25 кг/нм^3;

W - скорость газов, м/с;

d - диаметр патрубка, м;

μ - динамическая вязкость, кГ·с/м^2;

g - ускорение силы тяжести, м/с^2.

16. Критерий Прандтля определяется по формуле (54):

$$P_r = \frac{3600 \cdot 4,57 \cdot 10^{-6} \cdot 9,81 \cdot 0,56}{0,097} = 0,935$$

17. Конвективный коэффициент теплоотдачи от газов к стенке определяется по формуле (60):

$$\alpha_к = 0,023 \cdot \frac{0,097}{0,309} \cdot (51000)^{0,8} \cdot (0,935)^{0,4} \cdot 1,06 = 35 \text{ ккал/м}^2\text{·ч·град}$$

18. Коэффициент теплоотдачи излучением подсчитывается по формуле (55). Определяем составляющие величины, входящие в эту формулу.

Эффективная толщина излучающего слоя при излучении ограниченного со всех сторон газового объема определяется по формуле

$$S = 3,6 \cdot V/F_{cm} = 3,6 \frac{0,076}{2,23} = 0,12 \text{ м.}$$

где V - объем излучающего слоя, м^3;

F_{cm} - площадь ограждающих поверхностей, м^2.

Коэффициент ослабления луча трехатомными газами, содержащимися в продуктах сгорания, определяется по формуле

$$K_2 = \frac{0,8 + 1,6 \cdot r_{H_2O}}{\sqrt{P_n \cdot S}} \cdot \left(1 - 0,38 \frac{T}{1000}\right),$$

где r_{H_2O} - объемная доля водяных паров, %;

$P_n = P r_{H_2O}$ - суммарное парциальное давление трехатомных газов, ата;

T – абсолютная температура потока продуктов сгорания, ^{0}C.

Объемная доля водяных паров

$$r_{H_2O} = \frac{V_{H_2O}}{V_r} = \frac{0,04}{1,39} = 0,0288$$

$$P_n = P r_n = 1 \left(r_{H_2O} + r_{CO_2} \right) = 0,029 + \frac{0,28}{1,39} = 0,231 \text{ ата}$$

$$K_2 = \frac{0,8 + 1,6 \cdot 0,0288}{0,231 \cdot 0,12} \left(1 - 0,38 \cdot \frac{1433}{1000}\right) = 3$$

Коэффициент ослабления луча в объеме, заполненном золовой пылью, определяется по формуле:

$$K_n = S \sqrt[3]{\frac{1}{T^2 d_n^2}}$$

Здесь d_n – эффективный диаметр частиц золы принят 5 мкм

$$K_n = S \sqrt[3]{\frac{1}{1433^2 \cdot 25}} = 2 \cdot 10^{-8}$$

Общий коэффициент ослабления луча равен

$$K = K_2 + K_n = 3$$

Степень черноты газа при $P = 1$ будет равна

$$a = 1 - e^{-kpS} = 1 - 2,72^{-3 \cdot 0,12} = 0,29$$

Тогда $\alpha_л = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,82 + 1}{2} \cdot 0,29 \cdot 1433^3 \times$

$$\times \frac{1 - \frac{373}{1433}}{1 - \frac{373}{1433}} = 47,2 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к стенке

$$\alpha_0 = \alpha_к + \alpha_л = 35 + 47,2 = 82,2 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

19. Коэффициент теплопередачи от газов к охлаждающей воде определяется по формуле (48):

$$K = \frac{82,2}{1 + 0,0022 \cdot 82,2} = 70 \text{ ккал/м}^2\text{.ч·град}$$

20. Количество тепла, переданного через водоохлаждаемый патрубок при площади охлаждения 2,28 м^2, коэффициент теплопередачи 70 ккал/м^2.ч·град, средней температуре газов $\frac{1300+1020}{2}$ = 1160 °С и средней температуре воды $\frac{50+20}{2}$ = 35 °С составит

$$Q = 2,28 \cdot 70 \cdot 1125 = 179000 \text{ ккал/ч}$$

21. Расход воды

$$G = \frac{179000}{30} = 5,96 \text{ м}^3/\text{ч}$$

В. Определение длины водоохлаждаемого патрубка для дожигания CO

При дожигании горячих компонентов, входящих в состав газа, из атмосферы цеха подмешивается воздух.

Поскольку процесс горения ещё недостаточно изучен, определить длину патрубка дожигания с достаточной уверенностью возможно лишь при испытаниях установки. В настоящее время считается установленным, что основным фактором, определяющим скорость, полноту сгорания газа и длину факела является интенсивность и полнота перемешивания газа с воздухом. Для реакции горения требуется время несоизмеримо малое по сравнению со временем, необходимым для перемешивания. Поэтому горение практически не оказывает влияния на полноту сгорания и на длину факела.

Поскольку надежных формул для определения длины факела горения в трубе не имеется, можно найти длину факела горения по формуле для сжигания газа с предварительным подогревом в каналах тоннельного типа.

$$e = 0,2 \cdot d \cdot W \; ; \qquad d \cdot W = 0,2 \cdot 0,309 \cdot 30 = 1,85 \text{ м}$$

d - диаметр патрубка; W - скорость газа в трубе, м/с.

Г. Расчет охлаждения газов в скруббере

I. Определяем полезный объем скруббера по формуле (57):

$$V = \frac{Q}{K_V \cdot \Delta t} = \frac{480000}{1800 \cdot 525} = 0,5 \text{ м}^3$$

где Q – производительность скруббера по теплу в ккал/ч при условии охлаждения газов от $t = 1020^\circ C$ до $t = 250^\circ C$.

$$Q = z \cdot c \cdot \Delta t_z = 1560 \cdot 0,40 \cdot 770 = 480000 \text{ ккал/ч},$$

где z – количество газа, $нм^3/ч$;

c – теплоемкость газа в интервале температур 1020–250 °С, равная 0,40 ккал/$нм^3$·град;

Δt_z температурный перепад, равный 400 °С;

K_V – объемный коэффициент теплопередачи, равный 1800 ккал/ч·$м^3$·град;

Δt – среднелогарифмическая разность температур, °С, определяемая по формуле (26):

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_{гв}) - (t_2 - t_{хв})}{\ln \frac{t_1 - t_{гв}}{t_2 - t_{хв}}}$$

$$\Delta t = \frac{(1020 - 50) - (250 - 20)}{\frac{1020 - 50}{250 \cdot 20}} = 525^\circ C$$

2. Находим сечение теплообменной камеры по формуле (59):

$$F_{т.к.} = \frac{W_{воз}}{A} = \frac{9,5}{14} = 0,68 \text{ м}^2$$

3. Определяем расход воды по формуле (60):

$$W_в = \frac{Q}{C(в)(t_{гв} - t_{хв})} = \frac{480000 \cdot 0,6}{1000 \cdot 30} = 9,5 \text{ м}^3/ч$$

4. Диаметр теплообменной камеры скруббера находим по формуле (61):

$$Д_{т.к.} = \sqrt{\frac{0,68}{0,785}} = 910 \approx 900 \text{ мм}$$

5. Полезная высота скруббера по формуле (62):

$$H_{т.к.} = \frac{V_{т.к.}}{0,785 \cdot Д^2_{т.к.}} = \frac{0,5}{0,785 \cdot 0,9^2} = 1,0 \text{ м}$$

6. Общий расход газа составит при $t = 250^0C$

$$V_{г250^0} = \frac{1560\ (250 + 273)}{273} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для дальнейших расчетов объем газов принимаем равным 3000 $м^3$.

При условии качественного изготовления скруббера можно пренебречь подсосом воздуха через его неплотности.

Диаметр газохода после скруббера принимаем

219х6 (по ГОСТ 8732-58)

Скорость газов будет равна:

$$V_г = \frac{3000}{3600 \cdot 0,030} = 27,7 \text{ м/с}$$

Д. Расчет трубы Вентури.

1. Выбор конструкции турбулентного промывателя.

Принимаем вертикальную установку трубы-распылителя с форсункой ВТИ для орошения.

2. Выбор режима трубы-распылителя.

а) Принимаем для расчета скорость в сечении горловины трубы-распылителя $W = 125$ м/с.

б) Путем подбора находим такое значение удельного расхода воды m_1, при котором гидравлическое сопротивление трубы-распылителя равно 300 $кг/м^2$.

Произведение $\zeta_{эк} \cdot m_1$ будет равно

$$\zeta_{эк} m_1 = 0,85 \cdot \left(\frac{300 \times 19,6}{0,825 \times 125^2} - 0,2\right) = 0,85(0,456 - 0,2) =$$

$$= 0,85 \times 0,256 = 0,218.$$

Откуда $m_1 = 0,3$ и $\zeta = 0,63$

3. Определение диаметра входного сечения трубы-распылителя.

а) Количество газов при входе в трубу-распылитель равно 3000 $м^3/ч$.

б) Диаметр входного сечения трубы-распылителя принимаем равным диаметру подводящего патрубка Д = 202 мм.

в) Скорость в начальном сечении трубы

$$W = \frac{3000}{3600 \times 0,0300} = 27,7 \text{ м/с}$$

4. Определение диаметра выходного сечения трубы-распылителя.

В соответствии с указаниями НИИОГАЗа скорость в выходном патрубке трубы Вентури принимаем равной скорости во входном сечении. Диаметр выходного сечения Д = 202 мм.

5. Определение диаметра горловины трубы Вентури.

а) При скорости $W_г$ = 125 м/с в сечении горловины площадь сечения составит

$$V_г = 1560 \cdot \frac{60 + 273}{273} = 1900 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$F = \frac{1900}{3600 \times 125} = 0,0042 \text{ м}^2$$

Откуда $d = \sqrt{\frac{4 \times 0,0042}{3,14}} = 75$ мм.

б) По данным НИИОГАЗа принимаем угол сужения конфузора трубы-распылителя $\alpha = 25^0$, определяем длину конфузора

$$\ell_1 = 2,25 \ (202 - 75) = 2,25 \times 127 = 286 \text{ мм.}$$

в) Длина горловины трубы составит

$$\ell_2 = 0,15 \times 75 = 14 \text{ мм.}$$

г) Оптимальный угол раскрытия диффузора принимаем по данным НИИОГАЗ 7^0.

д) Длина диффузорной части трубы-распылителя составит

$$\ell_3 = \frac{202 - 75}{2 \times 0,064} = \frac{127}{0,128} = 0,95 \text{ мм.}$$

6. Определение d_e форсунки ВТИ.

а) По рекомендациям НИИОГАЗа в проекте применена форсунка

конструкции ВТИ. Подача жидкости в такую форсунку осуществляется по осевому и тангенциальному отверстиям, а разбрызгивание её - через одно осевое отверстие. Причем, размер выходного отверстия форсунки является определяющим. В зависимости от него берутся размеры входных отверстий и габариты самой форсунки.

б) Секундный расход орошаемой жидкости

$$Q_ж = \frac{3000 \times 0,3}{3600} = 0,25 \text{ кг/с}$$

в) Диаметр выходного сечения форсунки

$$d_e = \sqrt{\frac{4 Q_ж \cdot}{\mu \cdot \pi \cdot \sqrt{2g P/\gamma}}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,25}{0,73 \cdot 3,14 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 20000}}} = 3,0 \text{мм}$$

г) Для обеспечения равномерного перекрытия сечения трубы-распылителя орошающей жидкостью форсунки ВТИ следует располагать в газоходе перед конфузором на расстоянии $1 \div 1,5\ d_1$, где: d_1 - входной диаметр конфузора.

Е. Расчет каплеуловителя.

Диаметр циклона-каплеуловителя принят $d_ц = 500$ мм.
Площадь сечения равна

$$F = \frac{\pi \cdot D^2}{4} = \frac{3,14 \times 0,5^2}{4} = 0,19 \text{ м}^2$$

Количество газов на входе в аппарат составит

$$L = 1560 \left(\frac{60 + 273}{273}\right) = 1900 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость газов в аппарате

$$W_г = \frac{1900}{3600 \times 0,19} = 2,78 \text{ м/с}$$

По табл. 1 "Руководящих указаний по проектированию, монтажу и эксплуатации турбулентных промывателей" определяется высота цилиндрической части циклонно-пенного аппарата:

$$H_ц = 2,5 \cdot d_ц \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 1,25 \text{ м.}$$

Приложение 4

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ И ПЕРИОДИЧНОСТИ РЕГЕНЕРАЦИИ РУКАВНОГО ФИЛЬТРА

Величина гидравлического сопротивления запыленной ткани в рукавном фильтре (Н/м^2) [28] определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{817 \cdot \mu \cdot \omega (1-m)}{d^2 \cdot m^3}\left[0{,}82 \cdot 10^{-6} \cdot d^{0{,}25} \cdot m_т^3 (1-m) \cdot h^{2/3} + \frac{\omega \cdot t \cdot z}{\rho}\right], \quad (72)$$

где μ – вязкость газа, Н·с/м^2;
ω – скорость газа, рассчитанная на всю площадь ткани (годовая нагрузка), м/с;
d – средний размер частиц пыли (определенный методом воздухопроницаемости), м;
m – пористость слоя пыли, доли;
$m_т$ – пористость ткани, доли;
ρ – плотность пыли, кг/м^3;
z – запыленность газа, кг/м^3;
t – время между регенерациями (период регенерации), с;
h_o – удельное гидравлическое сопротивление ткани в чистом виде, отнесенное к толщине, равной I м, при скорости воздуха I м/с, Н/м^2.

Значения величин $m_т$, h_o, h'_o для некоторых тканей

Ткань	$m_т$	Гидравлическое сопротивление, Н/м^2 x
Шерсть Ч.Ш. арт. 21	0,91-0,86	0,84/0,14
Рукавная ЦМ арт. 83	0,89	1,8/0,3
Нитрон НЦМ	0,83	1,8/0,3

x Числитель – $h_o \cdot 10^5$, знаменатель – h'_o (мм.вод.ст).

I	2	3
Нитрон 5303	0,77	4,7/0,8
Нитрон термофиксированный	0,72	7,2/I,2
Полифен	0,66	8,8/I,5
Ткань из стекловолокна сатин C_2-5/3	0,55	27/4,5
Четырехремизный сатин из стекла № 7	0,49	88/I4,8

Примеры:

I. С какой газовой нагрузкой можно работать при фильтрации газа запыленностью $z = I,4 \cdot I0^{-3}$ кг/м^3, если известно, что плотность пыли $\rho = 6400$ кг/м^3, а дисперсность $d_0 = 0,35 \cdot I0^{-6}$м; пористость слоя пыли $m = 0,94$; температура газа $T = 90^0$С; время между регенерациями $t = I5$ мин.; в фильтре применяют рукава НЦМ. Пористость ткани $m_т = 0,83$; $h_0 = I,8 \cdot I0^5$. Желательно, чтобы сопротивление ткани фильтра составляло около 90 мм.вод.ст. (900 н/м^2).

При 90^0С $\mu = 22 \cdot I0^{-6}$ н·с/м^2.

Подставляем эти данные в формулу (72).

$$900 = \frac{8I7 \cdot 22 \cdot I0^{-6} \cdot \omega \cdot 0,06}{(0,35 \cdot I0^{-6})\ 0,94^3} \left[0,82 \cdot I0^{-6} (0,35 \cdot I0^{-6})^{0,25} \times \right.$$

$$\left. \times (I - 0,94) \cdot 0,83^3 (I,8 \cdot I0^5)^{\frac{2}{3}} + \frac{\omega \cdot I5 \cdot 60 \cdot I,4 \cdot I0^{-3}}{6400} \right] =$$

$$= I0600 \cdot \omega \quad (2,I8 + I97\omega).$$

Отсюда находим, что $\omega = 0,0I6$ м/с $\approx 0,96$ м/мин.

2. Требуется рассчитать, через какие промежутки времени следует осуществлять регенерацию рукавного фильтра, если применяют фильтровальные рукава ЦМ. Запыленность газов составляет $z = I4 \cdot I0^{-3}$ кг/м^3. Скорость фильтрации $\omega = 0,9/60$ м/с; плотность вельцокиси $\rho = 5400$ кг/м^3; средний размер частиц $d_0 = I,3 \cdot I0^{-6}$ м; температура газа около 90^0С; пористость осевшей пыли $m = 0,85$. Сопротивление ткани желательно иметь порядка $\Delta P = 40$ мм.вод.ст. (400 Н/м^2).

При температуре 90^0С вязкость газа $\mu \approx 22 \cdot I0^{-6}$ Н·с/м^2.

Подставляем все известные величины в формулу (72):

$$400 = \frac{817 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot 0,9(1 - 0,85)}{1,3 \cdot 10^{-12} \cdot 0,85^3}\left[0,82 \cdot 10^{-6}(1,3 \cdot 10^{-6})^{0,25} \times \right.$$

$$\left. \times 0,89^3(1 - 0,85) \times (1,3 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} \cdot \frac{0,9 \cdot 14 \cdot 10^{-3}}{60 \cdot 5400} t\right]$$

Отсюда находим, что время $t = 300$ с.

Приложение 5

РАСЧЕТ ФРАКЦИОННОЙ СТЕПЕНИ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ ПЫЛИ В ТУРБУЛЕНТНОМ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЕ (ТРУБА ВЕНТУРИ)

Средний диаметр капли при распылении воды газовым потоком определяется по эмпирической формуле

$$d_к = \frac{4870}{\omega} + 28{,}18\, q^{1{,}5} \qquad (73)$$

где ω - скорость газов в горловине, м/с;

q - расход воды на 1 м^3 газа, м^3.

Фракционная степень улавливания пыли $\eta_{фр}$ зависит от удельного расхода жидкости q и от критерия Стокса. Эта зависимость показана на рис. 64. Критерий Стокса можно определить по формуле

$$St = \frac{d^2 \cdot \omega \cdot \rho_п}{18 \mu \cdot D}, \qquad (74)$$

где d - диаметр частицы, м;

ω - скорость частицы относительно тела осаждения, м/с;

$\rho_п$ - плотность вещества частицы, кг/м^3;

μ - динамическая вязкость газа, н·с/м^2;

D - диаметр тела осаждения, м.

Пример.

Требуется определить эффективность улавливания частиц пыли размером 1, 2, 3 мкм при следующих условиях: скорость газа в горловине составляет ω = 60 м/с; плотность пылевых частиц $\rho_п$ = 3500 кг/м^3; плотность газа $\rho_г$ = 1 кг/м^3; кинематическая вязкость газа $\mu = 20 \cdot 10^{-6}$ м^2/с; удельный расход воды на орошение распылителя:

L = 0,0006 м^3/м^3 газа

Средний размер капель равен:

$$d_к = \frac{4870}{} + 28,18\ q^{\ 1,5}$$

$$d_к = \frac{4870}{60} + 28,18 \cdot 0,0006^{1,5} = 94 \cdot 10^{-6}\ м$$

Критерий St равен:

$$St = \frac{d^2 \cdot \omega \cdot \rho}{18\ \mu \cdot D}$$

Для частиц диаметром I мкм ($1 \cdot 10^{-6}$ м) St равен:

$$St = \frac{60 \cdot 3500 \cdot 10^{-12}}{18 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 94 \cdot 10^{-6}} = 6,2$$

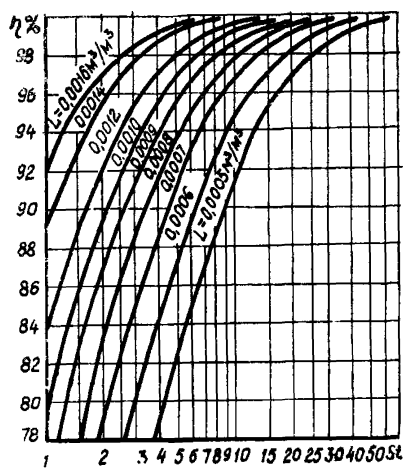


Рис. 64. Зависимость фракционной степени улавливания пыли (η) от критерия Стокса (St) и удельного расхода жидкости (L)

Для частиц 2 и 3 мкм критерий St будет соответственно равен 25 и 56.

По кривой (рис.64) находим, что степень улавливания пылевых частиц диаметром
I мкм будет 93,1%;
2 мкм - 99,6%;
3 мкм - 99,9%.

Приложение 6

Таблица 60

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ [30]

Наименование вещества	В атмосферном воздухе населенных мест, мг/м³	
	максимально разовая	среднесуточная
Пыль не токсичная	0,5	0,15
Сернистый ангидрид	0,5	0,05
Окись углерода	3	1
Окислы азота в пересчете на двуокись азота	0,085	0,085

Приложение 7

Таблица 6I

Перечень и основные характеристики пылеулавливающего оборудования

№ п/п	Наименование показателей / Наименование устройства	Производительность, $м^3/ч$	Сопротивление, $кг/м^2$	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава фильтра, мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты: длина, мм	Габариты: ширина, мм	Габариты: высота, мм	Масса, кг	Вспомогательное оборудование: вентилятор	Вспомогательное оборудование: электродвигатель	Ориентировочная оптовая цена пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
	Циклоны, Батарейные циклоны																
I.	Циклоны НИИОГАЗ																
	ЦН-I5	ОСТ 26-I4-I385 и ОСТ 26-I4-I268-75					300	I	692	692	2493	208			80	Для улавливания взвешенных твердых частиц из газов. Рекомендуется для улавливания: золы из дымовых газов котельных установок; пыли из различного типа сулилок; зернистого катализатора в процессах каталитического крекинга; пыли, удаляемой после помола; зернистых и пылевидных продуктов, перемещающихся пневмотранспортом; пыли, уносимой из аппаратов со взвешенным слоем; пыли,	Харьковский завод "Ремстроймаш"
	ЦН-I5-300П	630-I000					400	I	692	692	3000	275			I00		
	ЦН-I5-400П	I100-I800	Для одиночных - 95, для групповых с "улиткой" - II0, для групповых со сборником - II5	От пыли диаметром I0 мкм плотностью 2,7г/см^3 80%	Для слабослипающихся пылей не более I000, для среднеслипающихся пылей - 250		500	I	790	790	3666	385			II0		
	ЦН-I5-500П^X	I800-2800					600	I	930	930	4382	520			I42		
	ЦН-I5-600П^X	2500-4I00					700	I	I032	I032	5088	660			I67		
	ЦН-I5-700П	3500-5500					800	I	III5	III5	5704	825			I90		
	ЦН-I5-800П^X	4500-7200					900	I	I230	I230	6510	I0I0			240		
	ЦН-I5-900П	5700-9200					I000	I	I330	I330	6926	II95			385		
	ЦН-I5-I000П	7I00-II300					I200	I	I530	I530	8248	I630			-		
	ЦН-I5-I200П	I0200-I6200					I400	I	I720	I720	9470	2I80			720		
	ЦН-I5-I400П	I3900-22200					300	2	795	638	2643	277			I22		
	ЦН-I5-300х2УП	I270-2000					400	2	890	724	3350	456			I63		
	ЦН-I5-400х2УП	2300-3600					500	I	I225	880	4066	680			I94		
	ЦН-I5-500х2УП^X	3500-5600					600	2	I336	988	4682	890			245		
	ЦН-I5-600х2УП^X	5I00-8I00					700	2	I555	I020	5488	II40			297		
	ЦН-I5-700х2УП	6900-III00					800	2	I750	III8	6204	I475			367		
	ЦН-I5-800х2УП^X	9000-I4400					900	2	I920	II80	69I0	I830			-		
	ЦН-I5-900х2УП	II400-I8300					400	4	I006	II70	3450	850			305		
	ЦН-I5-400х4УП	4500-7200															

№ п/п	Наименование показателей / Наименование устройства	Производительность, $м^3/ч$	Сопротивление, $кг/м^2$	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава фильтра, мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты: длина, мм	Габариты: ширина, мм	Габариты: высота, мм	Масса, кг	Вспомогательное оборудование: вентилятор	Вспомогательное оборудование: электродвигатель	Ориентировочная оптовая цена пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
	ЦН-15-500х4УП[X]	7000-11300					500	4	1100	1330	4166	1225			370	выбрасываемой вентиляционными установками.	
	ЦН-15-600х4УП[X]	10200-16300					600	4	1335	1605	4882	1700			450		
	ЦН-15-700х4УП	13800-22000					700	4	1490	1855	5588	2210			572		
	ЦН-15-800х4УП[X]	18100-28900					800	4	1705	2070	6304	2870			710		
	ЦН-15-900х4УП	22800-36600					900	4	1904	2324	7010	3610			-		
	ЦН-15-500х6УП	10600-16900					500	6	1765	1765	4216	1960			565		
	ЦН-15-600х6УП	15300-24400					600	6	2075	2075	5032	2720			672		
	ЦН-15-700х6УП	20800-33100					700	6	2350	2350	5688	3550			860		
	ЦП-15-800х6УП	27100-43300					800	6	2555	2650	6504	4640			1052		
	ЦН-15-900х6УП	34300-54900					900	6	2860	2950	7360	5810			1245		
	ЦН-15-1000х6УП	42600-67800					1000	6	3180	3275	8226	7100			-		
	ЦН-15-500х8УП	14100-22600					500	8	2300	2024	4366	2720			760		
	ЦН-15-800х8УП	36000-57500					800	8	3468	3092	7204	6650			1472		
	Циклоны типа СК-ЦН-34	ОСТ 26-02-759-73		От пыли d_m = 10мкм плотностью 2,7г/см³ до 95	1000												
	СКЦН-34БП-600	2540	350--450				600	I	900	895	2405	205			660	Для очистки газовоздушной смеси систем пневмотранспорта, аспирации и пневмоуборки	Кузнецкий завод полимерного машиностроения
	СКЦН-34БП-700	3460					700	I	990	915	2620	230			-		
	СКЦН-34БП-800	4520					800	I	1100	976	2950	270			-		
	СКЦН-34БП-900	5730					900	I	1245	1142	3590	446			1270		
	СКЦН-34БП-1000	7100					1000	I	1355	1222	3915	505			-		
	СКЦН-34БП-1200	10200					1200	I	1560	1465	4575	620			-		
	СКЦН-34БП-1400	13800					1400	I	1840	1705	5710	1218			2600		
	СКЦН-34БП-1600	18100					1600	I	2055	1947	6215	1420			-		
	СКЦН-34БП-1800	23000					1800	I	2280	2190	6720	1700			-		
	СКЦН-34БП-2000	28300					2000	I	2565	2435	7595	2550			-		
	СКЦН-34БП-2200	34200					2200	I	2778	2717	8095	3130			-		

Продолжение таблицы 61

СКЦН-34БП-2400	40700	2400	I	3039	2964	8610	4289	-
СКЦН-34БП-2800	55400	2800	I	3524	3346	10485	7363	-
СКЦН-34БП-3200	72000	3200	I	4009	3929	11500	8854	-
СКЦН-34БП-3600	92000	3600	I	4494	4414	12905	10300	14300
СКЦН-34Б-600	2540	600	I	900	895	1975	175	540
СКЦН-34Б-700	3460	700	I	990	915	2190	205	-
СКЦН-34Б-800	4520	800	I	1100	976	2520	239	700
СКЦН-34Б-900	5730	900	I	1245	1142	2890	412	1100
СКЦН-34Б-1000	7100	1000	I	1355	1222	3215	470	-
СКЦН-34Б-1200	10200	1200	1	1560	1465	3875	615	-
СКЦН-34Б-1400	13800	1400	I	1840	1705	4690	1117	2300
СКЦН-34Б-1600	18100	1600	I	2055	1947	5195	1325	-
СКЦН-34Б-1800	2300	1800	I	2280	2190	5700	1605	-
СКЦН-34Б-2000	28300	2000	I	2565	2435	6315	2430	-
СКЦН-34Б-2200	34200	2200	I	2778	2717	6815	2992	-
СКЦН-34Б-2400	40700	2400	I	3039	2964	7330	4155	-
СКЦН-34Б-2800	55400	2800	I	3524	3346	8655	7181	-
СКЦН-34Б-3200	72000	3200	I	4009	3929	9670	8700	-
СКЦН-34Б-3600	92000	3600	I	4494	4414	10785	10098	-
СКЦН-34-600	2540	600	I	900	895	1580	106	-
СКЦН-34-700	3460	700	I	990	915	1810	131	-
СКЦН-34-800	4520	800	I	110	976	2140	169	-
СКЦН-34-900	5730	900	I	1245	1142	2365	284	820
СКЦН-34-1000	7100	1000	I	1355	1222	2690	343	900
СКЦН-34-1200	10200	1200	I	1560	1465	3345	476	1200
СКЦН-34-1400	13800	1400	I	1840	1705	3880	776	-
СКЦН-34-1600	18100	1600	I	2055	1947	4405	975	-
СКЦН-34-1800	23000	1800	I	2280	2190	4930	1256	-
СКЦН-34-2000	28300	2000	I	2565	2435	5460	1816	3700
СКЦН-34-2200	34200	2200	I	2778	2717	5980	2507	-
СКЦН-34-2400	40700	2400	I	3039	2964	6515	3673	-
СКЦН-34-2800	55400	2800	I	3524	3346	7560	6190	-
СКЦН-34-3200	72000	3200	I	4009	3929	8610	7730	-
СКЦН-34-3600	92000	3600	I	4494	4414	9665	8913	-

Продолжение таблицы 61

№ п/п	Наименование показателей / Наименование устройства	Производительность, $м^3/ч$	Сопротивление, $кг/м^2$	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава фильтра, мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты: длина, мм	Габариты: ширина, мм	Габариты: высота, мм	Масса, кг	Вспомогательное оборудование: вентилятор	Вспомогательное оборудование: электродвигатель	Ориентировочная оптовая цена пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
	ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении	ОСТ 24.838.13-73															
	ЦН-15-1120	11000-13000		от пыли d_m = 10 мм плотностью 2,7г/см³			1120		1430		7058	1548				Для очистки запыленных газов на сушильных установках обогатительных фабрик	Сызранский завод тяжелого машиностроения
	ЦН-15-1250	13000-17000					1250		1555		7802	1913					
	ЦН-15-1400	17000-20000					1400		1705		8753	2418					
	ЦН-15-1600	20000-24000					1600		1905		9973	3119					
	ЦН-15-1800	24000-28000	105	80			1800		2105		11095	3949					
	ЦН-15-2000	28000-32000					2000		2305		12020	5163					
	ЦН-15-2240	38000-51000					2240		2545		13475	6371					
	ЦН-15-2360	51000-61000					2360		2665		14151	7032					
	ЦН-15-2650	61000-70000					2650		2955		15890	9727					
	ЦН-15-2800	70000-82000					2800		3105		16807	10820					
	ЦН-15-3000	82000-90000					3000		3305		17925	12310					
	ЦН-15-3150	90000-100000					3150		3450		18843	15303					
	ЦН-15-3350	100000-120000					3350		3830		20082	19486					
	ЦН-15-3750	120000-140000					3750		4230		22397	26067					
	ЦН-15-4250	140000-180000					4250		4730		25213	33920					
	ЦН-15-4500	180000-200000					4500		4980		26660	38033					
	ЦН-15-5000	200000-230000					5000		5480		29455	46586					
2.	Циклон ИОТТ со скошенной крышкой	ТУ 12-44-1-77														Для очистки запыленных газов на сушильных установках обогатительных фабрик	Кызыл-Кия ЦЭММ ПО "Средазуголь"
		9000	80	98,5	до 95	-	2360	-	2360	2360	9000	5544			1040		
		7500	80	98,5	до 95	-	2700	-	2700	2700	12000	5600					

Продолжение таблицы 6I

3.	Батарейный циклон БЦ													
	БЦ-2-4х(3+2)	I5000-I7400	45-60	85-90		254	20	2120	I8I0	4020	35I0		790	Для сухого улавливания золы, уносимой дымовыми газами из топок паровых стационарных котлов при сжигании твердых топлив	Кусинский машиностроительный завод
	БЦ-2-5х(3+2)	I8900-2I900					25	2400	I8I0	4I20	4I40		990		
	БЦ-2-5х(4+2)	22600-26I00					30	2600	2090	4I20	4830		II90		
	БЦ-2-6х(4+2)	27200-3I400					36	2880	2090	4220	5600		I430		
	БЦ-2-6х(4+3)	3I600-36500					42	2880	2370	4220	6360		I660		
	БЦ-2-6х(5+3)	36200-4I900					48	3I80	2650	4420	7050		I900		
	БЦ-2-7х(5+3)	42200-48900					56	3460	2650	4520	7950		2230		
4.	Батарейный циклонный пылеуловитель типа БЦУ-М													
	БЦУ-I2М	6000-8500					I2	I3I0	I600	3500	I800		I400	Для улавливания золы в промышленных котельных и на тепловых электростанциях, для очистки запыленных газов на сушильных установках обогатительных фабрик	Ангренские мастерские управления "Средазэнергоуголь"
	БЦУ-I6М	8500-II000					I6	I660	I600	4000	2000		I800		
	БЦУ-20М	II000-I4000					20	I660	I930	4200	2200		2200		
	БЦУ-25М	I4000-I8000					25	20I0	I930	4600	2700		2800		
	БЦУ-30М	I8000-23000					30	20I0	2260	5000	3200		3300		
	БЦУ-42М	23000-30000					42	2360	2590	5500	4200		4650		
	БЦУ-49М	30000-38000					49	27I0	2590	5500	7000		5400		
	БЦУ-64М	38000-47000	I00-I25	95,5-99,8			64	3060	2920	6300	8000		7I00		
	БЦУ-8IМ	47000-60000					8I	34I0	3250	7000	9000		9000		
	БЦУ-I00М	60000-75000					I00	3760	3580	8000	I0500		II000		
	БЦУ-I30М	75000-95000					I30	48I0	3580	9000	I6000		I4300		
	БЦУ-I56М	95000-I20000					I56	48I0	4240	I0000	I8500		I7200		
	БЦУ-2I0М	I2000-I50000					2I0	55I0	4900	II000	22000		23I00		
5.	Пылеуловитель батарейный типа БПР	ТУ I2-44-556-77		ОСТ 24.070.0I											
	БПР-50А	50000	до I00		-	800	8	48I0	I740	I0420	8245		-	Для сухой технологической очистки газов сушильных установок углеобогатительных фабрик	Карагандинский машзавод им.Пархоменко, Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь"
	БПР-75А	60000-75000	90-II0	9С-95	-	800	I2	5060	4250	8280	I3I00	ВАО 22-6	6670		
	БПР-I00А	I00000	до II0		-	800	I6	6000	3640	I0420	I7II5		9400		

№ п/п	Наименование показателей / Наименование устройства	Производительность, $м^3/ч$	Сопротивление, $кг/м^2$	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава фильтра; мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты: длина, мм	Габариты: ширина, мм	Габариты: высота, мм	Масса, кг	Вспомогательное оборудование: вентилятор	Вспомогательное оборудование: электродвигатель	Ориентировочная оптовая цена пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
6.	Пылеуловитель батарейный циклонный типа ПБЦ	ТУ 24-7-65I-73															
	ПБЦ-I5	I2000-I5000	I30-I50	95,5--99,8	75		230	2	3I30	2470	5270	4000			3500	Для очистки запыленных газов на сушильных установках обогатительных фабрик	Карагандинский машзавод им.Пархоменко, Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь"
	ПБЦ-25	25000-30000	I30-I50		75			3	3I30	2470	5760	5000			3800		
	ПБЦ-35	35000-40000	I30-I50		75			4	3I30	2470	6400	6I00			4850		
	ПБЦ-50	50000-60000	I30-I50		75			4	4630	3I30	6550	I2500			7600		
							Мокрые пылеуловители										
7.	Аппарат мокрого пылеулавливания МПР	ОСТ 24.070.0I															
	МПР-75	75000-85000	I50	99	I5	2,604-2,95I	2500		3000	3000	I0000	5000			I9700	Для окончательной очистки запыленных газов на сушильных установках углеобогатительных фабрик и на аспирационных системах	Карагандинский машзавод им.Пархоменко, Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь"
	МПР-I00	I00000-I25000	I50-I80	99		3,889-4,8I6	3000		3350	3300	I0500	6300			-		
8.	Скоростные промыватели СИОТ																
	СИОТ-5	I2500-I7500				0,556			2II0	2520	6I00	I680			-		

Продолжение таблицы 6I

	СИОТ-6	I7500-25000				0,778		2540	2800	6570	I980		
	СИОТ-7	25000-35000				I,084		2840	3080	7I45	2445		
	СИОТ-8	35000-50000	80-I50	98-99	5	I,529		3860	4I60	7840	3405		
	СИОТ-9	50000-70000				2,I4I		4480	4670	8680	5025		
	СИОТ-I0	70000-I00000				3,058		5I40	5I50	9660	6560		
	СИОТ-II	I00000-I40000				4,309		5850	5780	I0800	8500		
	СИОТ-I2	I40000-200000				6,II6		6800	6490	I2I70	II770		
	СИОТ-I3	200000-280000				8,6I8		8050	7430	I3850	I8620		

- Для очистки воздуха в вытяжных вентсистемах от различных видов смачиваемой пыли, за исключением цементирующейся и волокнистой, а также конденсационных аэрозолей

По индивидуальным заказам

9.	Пылеуловитель вентиляционный мокрый ПВМ												
	ПВМ-3С	3000				0,08-0,I4		I250	I000	2794	676	ЦI3-50 № 3,2	
	ПВМ-3К	3000				-		-	-	-	-	ЦI3-50 № 3, 2	
	ПВМ-5С	5000	88	99		0,I7-0,28		I650	III0	3085	8I5	ЦП7-40 № 5	
	ПВМ-5К	5000				-						ЦП7-40 № 5	
	ПВМ-I0С	I0000			I5	0,33-0,56		2500	I5I4	34I2	I395	ЦП7-40 № 6	
	ПВМ-I0К	I0000				0,0I-0,03		3683	I800	3585	I700	ЦП7-40 № 6	
	ПВМ-20С	20000				0,67-I,II		25I0	23I4	3680	I942	ЦП7-40 № 8	
	ПВМ-20К	20000				0,03-0,06		3683	2500	4060	2300	ЦП7-40 № 8	
	ПВМ-40С	40000				I,33-2,22х		4750	24I6	4II0	4737	Ц4-76 № I0	
	ПВМ-40К	40000				0,06-0,II		5900	2500	4200	-	Ц4-76 № I0	

Для очистки аспирационного воздуха и вентиляционных выбросов от неслипающихся и нецементирующихся пылей

Мингечаурский завод дорожных машин (г.Мингечаур, Азербайджанской ССР)

I0.	Пылеуловитель коагуляционный мокрый типа КМП												
	КМП-2,5	7I00-I2400				0,5I4	I000	23I4	I420	2250	I060		

- Для очистки воздуха от крупно- средне- и частично мелкодисперсной зернистой пыли.

По индивидуальным заказам

Продолжение таблицы 61

№ п/п	Наименование показателей / Наименование устройства	Производительность, $м^3/ч$	Сопротивление, $кг/м^2$	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава фильтра, мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты: длина, мм	Габариты: ширина, мм	Габариты: высота, мм	Масса, кг	Вспомогательное оборудование: вентилятор	Вспомогательное оборудование: электродвигатель	Ориентировочная оптовая цена пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
	КМП-3,2	I6300-28600				0,695	I200		2800	I845	4990	I260			-	Применяется на аспирационных установках рудоподготовительных предприятий и эстакад доменных цехов черной металлургии	
	КМП-4,0	I8I00-3I700				0,9I7	I500		3540	2240	5630	I777			-		
	КМП-5,0	28300-49500				I,III	I900		3980	2705	7866	3949			-		
	КМП-6,3	44900-78500	I20-350	99	30	I,583	2300		4620	3190	8656	5495			-		
	КМП-7,I	57000-99700				I,777	2700		5240	3695	9496	7353			-		
	КМП-8,0	72300-I26600				2,056	3000		5720	4I05	I0086	I0759			-		
II.	Ротоклон "Урал"	I0000-I5000							2800	I200	3I60	-			600	Для очистки газов доменных печей и аспирационных систем	По индивидуальным заказам
		30000-40000	до I000	99-99,9	I00	0,6--6,0 $м^3/ч$			4350	I550	3350	I872			-		
		60000-80000							5800	-	5700	9986			-		
I2.	Циклон с водяной пленкой типа ЦВП															Для очистки запыленного воздуха, удаляемого вентустановками перед выбросом его в атмосферу и для любых видов нецементирующейся пыли, в том числе образующейся при обработке и транспортировании песка, глины, угля, известняка, абразивов и различных руд	По индивидуальным заказам
	ЦВП-3	I300-2000	36-9I,5			I,24	3I5		603	3I5	2434	64			-		
	с повышенной скоростью	I300-I700	94-I76			0,67									-		
	ЦВП-4	2000-3200	36-9I,5			I,37	400		705	400	30I4	I07			-		
	с повышенной скоростью	2000-2700	94-I78			0,69									-		
	ЦВП-5	3200-5000	36-9I,5	98-99	I0	I,6I	500		809	500	3684	I6I			-		
	с повышенной скоростью	3200-4200	94-I78			0,8I									-		
	ЦВП-6	5000-8000	36-9I,5			I,87	630		I080	630	4554	237			-		
	с повышенной скоростью	5000-6700	94-I78			0,94									-		

	ЦВП-8	8100-12800	36-91,5			2,35	800		1425	800	5699	370	-	
	с повышенной скоростью	8100-10900	94-178			1,68								
	ЦВП-10	12700-20000	36-91,5			2,73	1000		1835	1000	7044	570	-	
	с повышенной скоростью	12700-17000	94-178			2,02								
13.	Прямоточный мокрый пылеуловитель ПМ-35А	35000	70-80	98-99	2-4	2,5 м³/т 0,06 л на 1 м³/ч очищаемого воздуха			2945	2500	6984	5830	ВАО-101-4 125 квт 4500	Для санитарной очистки запыленного воздуха систем промышленной вентиляции	Артемовский машиностроительный завод (г. Артемовск Свердловской области)
	Рукавные фильтры														
14.	Многосекционный рукавный фильтр РФГ														
	одинарный														
	РФГ-4	11200						56	3003	2250		6320	5000	Для сухой очистки запыленных газов в технологических и аспирационных системах промышленной вентиляции	Куйбышевский завод "Стромашина"
	РФГ-6	18900						84	4503	2250		9600	6900		
	РФГ-8	22300						112	6003	2250		12300	8700		
	РФГ-10	28000	80-90	99		-	220	140	7503	2250	8975	15400	10500		
	сдвоенный														
	РФГ-8	22300						112	3003	4500		14212	9800		
	РФГ-12	33500						168	4503	4500		19792	13600		
	РФГ-16	44700						224	6003	4500		25344	17200		
	РФГ-20	56000						280	7503	4500		31575	20600		
15.	Фильтры рукавные типа ФРКИ	ОСТ 26-14-2004-77												Для улавливания мелкодисперсных пылей, не являющихся токсичными, пожаро- и взрывоопасными	Семибратовский экспериментальный завод газоочис-
	ФРКИ-30	1700-3600							1460	2060	3620	1440	1545		
	ФРКИ-60	3500-7100							2820	2060	3620	2560	2441		
	ФРКИ-90	5300-10600		99	50		135		4140	2060	3620	3680	3318		

Продолжение таблицы 6I

№ п/п	Наименование показателей / Наименование устройства	Производительность, $м^3/ч$	Сопротивление, $кг/м^2$	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, $г/м^3$	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава фильтра, мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты: длина, мм	Габариты: ширина, мм	Габариты: высота, мм	Масса, кг	Вспомогательное оборудование: вентилятор	Вспомогательное оборудование: электродвигатель	Ориентировочная оптовая цена пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
	ФРКИ-I80	I0600-2I300							5480	2060	4620	5680			4892		титель-
	ФРКИ-360	2I300-42700							5850	4370	4880	III30			9216		ной аппа-
																	ратуры
I6.	Фильтр всасывающий рукавный ФВК															Для сухой очистки запыленных газов в технологических и аспирационных системах промышленной вентиляции	Киевский завод цементного машиностроения имени Калинина
	ФВК-30	I500						36	I700	I690	39I0	I0I50		АОЛ2--II-4	820		
	ФВК-60	3000	80-90	99	20	-	I35	72	2800	I690	39I0	I690			I830		
	ФВК-90	4500						I08	3900	I690	39I0	2300			I830		
I7.	Фильтр рукавный высоковакуумный ФВС-45	3000	I20-I50	99	-	-	I72	48	4230	2720	4502	4778		АОЛ2--22-6 АОЛ2--II-4		Для очистки воздуха от пыли	Дзержинский завод "Химмаш"

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

I. Отчет "Разработать каталог-справочник основных схем и оборудования для очистки от аэрозолей отходящих газов" (отчет I307 03.01.00). Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт обогащения твердых горючих ископаемых (ИОТТ), г.Люберцы, I977.

2. Временное руководство по применению средств борьбы с пылью на углеобогатительных фабриках и сортировках шахт. М., "Недра", I97I.

3. Временная методика по расчету количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании топлива, сушке угля и плавке металла на предприятиях угольной промышленности. Пермь, НИИОСуголь, I976.

4. Справочник по обогащению углей. Под редакцией к.т.н.Благова И.С., к.т.н. Коткина А.М., инж. Самылина Н.А. М., "Недра", I974.

5. Бобриков В.В., Филиппов В.А. Защита воздушного бассейна от загрязнения промышленными газами. М., I975.

6. Нормы технологического проектирования углеобогатительных фабрик и поверхности шахт. Раздел - комплекс обеспыливания. Минуглепром СССР, М., I976.

7. Отчет ИГИ по теме I20I, этап "Разработать методику оценки выбросов окислов азота при сжигании твердого топлива в теплоэнергетических установках, в том числе промышленного и коммунально-бытового назначения". Фонды ИГИ, М., I975.

8. Отчет "Разработка и обоснование оптимальной схемы (модели) развития угольной промышленности и определение её места в системе топливно-энергетических и топливно-перерабатывающих отраслей народного хозяйства". Этап: Охрана окружаю-

щей среды (сводный раздел и прогноз на 2000 г.). Институт горючих ископаемых. М., 1975.

9. Луговской С.И., Андрианов И.С. Очистка газов, отходящих от вагранок и электросталеплавильных печей. М., "Машиностроение", 1972.

10. Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. М., "Энергия", 1969.

11. Каталог-справочник основных схем и оборудования для очистки отходящих газов от аэрозолей. Пылеуловитель батарейный БЦУ-М (инв. № 64449). Министерство угольной промышленности СССР ВПО "Союзуглеавтоматика". Специализированное конструкторско-технологическое бюро шахтной автоматики, 1977.

12. Справочник по котельным установкам малой производительности. Под редакцией проф. Роддатиса К.Ф. М., "Энергия", 1975.

13. Методические материалы для проектирования. Отсос газов из внутреннего объема электродуговых сталеплавильных печей с дожиганием СО и водяным охлаждением. А6-48. Главпромстройпроект. Союзсантехпроект. М., 1970.

14. Установка по отсосу газов из внутреннего объема электродуговых сталеплавильных печей емкостью 6-12 т с дожиганием СО, воздушным охлаждением и мокрой очисткой (инв. № 13246). Государственный проектный институт Союзсантехпроект. М., 1972.

15. Циклоны НИИОГАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. Ярославль, 1971.

16. Газоочистное оборудование. Циклоны. Каталог, ЦИНТИХИМНЕФТЕМАШ. М., 1977.

17. Оборудование и приборы для комплексного обеспыливания угольных шахт, разрезов и обогатительных фабрик. Каталог-справочник. Центральный научно-исследовательский институт экономики и научно-технической информации угольной промышленности. М., 1975.

18. Перечень оборудования, рекомендуемого для применения в проектах новых и реконструируемых углеобогатительных фабрик Министерства угольной промышленности СССР на 1977 г. Центрогипрошахт. М., 1977.

19. Оборудование углеобогатительных фабрик. Раздел 5. Оборудование для пылеулавливания. Центрогипрошахт. М., 1975.

20. Обзоры по межотраслевой тематике. Очистка вентиляционного воздуха в мокрых пылеуловителях - промывателях с внут-

ренней циркуляцией воды (инв. № 5/32-71). М., 1971.

21. Внутренние санитарно-технические устройства. В 2-х частях. Под редакцией Староверова И.Г. Изд. 3-е, ч.2. Вентиляция и кондиционирование воздуха. М., Стройиздат, 1978. (Справочник проектировщика).

22. Методические рекомендации по расчету мокрых пылеуловителей. АЗ-679. М., 1976.

23. Авторское свидетельство № 575117 "Устройство для очистки газа".

24. Журнал "Цветные металлы", 1978, № 7.

25. Журнал "Изобретатель и рационализатор", 1975, март.

26. Руденко К.Г., Калмыков А.В. Обеспыливание и пылеулавливание при обработке полезных ископаемых. М., "Недра", 1971.

27. Справочник по пыле- и золоулавливанию. Под общ. редакцией Русанова А.А. М., "Энергия", 1975.

28. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии. М., "Металлургия", 1977.

29. Указания по расчету циклонов. А6-52. М., 1971.

30. Санитарные нормы проектирования промышленных предприятий (СН 245-71). М., 1972.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение . . . . . .

Ч а с т ь I.

Характеристика вредных выбросов и схемы очистки

Характеристика вредных выбросов в атмосферу углеобогатительными фабриками. 4

Характеристика вредных выбросов в атмосферу котельными установками 9

Характеристика вредных выбросов в атмосферу плавильными агрегатами 9

Схемы очистки вредных выбросов от сушильных установок углеобогатительных фабрик 16

Схемы очистки дымовых газов от котельных агрегатов. . . 21

Схемы очистки дымовых газов от плавильных агрегатов . . 25

Схемы очистки газов аспирационных систем углеобогатительных фабрик. 39

Ч а с т ь II.

Оборудование

Сухие инерционные пылеуловители . . . . . .

Циклоны НИИОГАЗа и ИОТТ. 43

Батарейные циклоны типа БЦ 72

Батарейный циклонный пылеуловитель типа БЦУ-М. . . . 75

Батарейные пылеуловители БПР 77

Батарейные циклоны типа ПБЦ. 78

Мокрые пылеуловители

Аппараты мокрого пылеулавливания типа МПР. 86

Скоростной промыватель СИОТ. 88

Пылеуловители типа ПВМ 92

Коагуляционный пылеуловитель типа КМП. 97

Ротоклон "Урал". 102

Циклоны с водяной пленкой типа ЦВП 104

Прямоточный пылеуловитель ПМ-35А 106

Тканевые фильтры

Многосекционный рукавный фильтр РФГ. 110

Рукавные фильтры ФРКИ. 110

Фильтры всасывающие рукавные ФВК 115

Фильтр рукавный высоковакуумный ФВС-45 117

Приложения
1. Расчет пылевых камер 121
2. Расчет циклонов НИИОГАЗ. 124
3. Расчет очистки газов от сталеплавильных печей. . . 148
4. Расчет скорости фильтрации и периодичности регенерации рукавного фильтра. 169
5. Расчет фракционного коэффициента улавливания частиц пыли в турбулентном газопромывателе. 172
6. ПДК некоторых вредных веществ. 174
7. Перечень основного пылеулавливающего оборудования. 175

Литература 185

ОСНОВНЫЕ СХЕМЫ И ОБОРУДОВАНИЕ
ДЛЯ ОЧИСТКИ ОТ ПЫЛИ ОТХОДЯЩИХ ГАЗОВ
НА ПРЕДПРИЯТИЯХ УГОЛЬНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
ТЕХНИЧЕСКИЕ ОПИСАНИЯ

Редактор Б.Г.Вихарев

К печати 25.09.79 г. Формат бум. 60x90 I/I6 Печ.л-ов I2
ЛБ 50006 Тираж 500 экз. Цена 87 коп. Зак. 902

Типография ПВВКУ

gost.e-ecolog.ru