

**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**

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.Тобелева (ВНИИОСуголь). В подготовке рукописи приняли участие И.Х.Нехороший, В.Н.Тюханов, Н.Г.Шипунов (ИОТТ), Е.И.Хазанов, М.Д.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, 68, 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 высоковольтных и высокосернистых углей в топках суммильных 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 углеобогажительными 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, тяжелосредних 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<sup>3</sup> [ 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<sup>3</sup> . По исследованиям института Гипрошахт (г. Ленинград) пыль, отсасываемая аспирационными системами углеобогажительных 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 обогажительных фабриках Минуглепрома СССР находится в эксплуатации 212 сушильных агрегатов, из них 125 трубсушилок и 87 барабанных сушилок, которые ежегодно выбрасывают в воздушный бассейн около 100 млрд.м<sup>3</sup> газа с общим содержанием 35,0 тыс. тонн угольной тонкодисперсной пыли и 3,5 тыс. тонн сернистого ангидрида [ I ] .

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 - трубсушилок на некоторых обогажительных фабриках [ 4 ] .

Средняя запыленность газов на входе в циклоны колеблется, в зависимости от влажности "сушонки", от I до 95 г/м<sup>3</sup> [ 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, мм									
	+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, $\Sigma_{0-1} = 40,9\%$	48,5	10,6	11,6	6,7	6,9	5,9	4,1	3,3	1,5	0,9
Карагандинский, $\Sigma_{0-1} = 50,0\%$	27,6	22,4	7,2	5,6	4,5	5,8	4,5	16,1	5,4	0,9
Донецкий, $\Sigma_{0-1} = 27,5\%$	65,2	7,3	3,6	2,4	2,9	5,6	7,6	4,6	0,6	0,2

Примечание.

 $\Sigma_{0-1}$  - процент фракций класса 0-1 мм в исходном сырье.

Таблица 3

## Технологические показатели работы барабанных сушилок

Материалы, подвергаемые сушке	Влажность, %		Температура газов, С		Производитель- ность, т/ч		Напряже- ние объема бараба- на А кг/ч м <sup>3</sup>	Габаритные размеры барабанов		
	началь- ная	конечная	началь- ная	конеч- ная	по ис- ходному углю	по испа- ренной влаге		Д, м	Л б, м	У б, м <sup>3</sup>
Мелкий концентрат, флотоконцентрат	16	7,2	900	90	85	8,1	94	2,8	14	86
Флотоконцентрат	28,2	6,4	800	100	28,2	6,5	75	2,8	14	86
То же	22,6	8,5	900	70	71,0	11,0	66	3,25	20	166
Мелкий концентрат, флотоконцентрат	19,9	7,8	730	75	210	27,5	107	3,5	27	268
Мелкий концентрат, флотоконцентрат *	17,0	7,8	850	110	280	30,0	143	3,5	22	210

\* Для барабана размером 3,5x22 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, °С:			
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 <sup>3</sup> /ч	130	120	115
Запыленность газов, выбрасываемых в атмосферу после очистки, мг/м <sup>3</sup>	100-122	108	197-273
Диаметр трубы-сушилки, мм	1100	1100	1100
Напряжение объема трубы-сушилки по испаренной влаге, кг/м <sup>3</sup> .ч	695-780	1000-1200	1000-1100

1  
8  
1

лем, составляет  $1-3 \text{ г/м}^3$  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 отсе-вов, остальное приходится на долю смесей рядовых, сортовых углей и отсевов [7, 8]. Сжигание угля в топках сопровож-дается выбросом в атмосферу пыли, окиси углерода, окислов серы и азота. Наибольшее количество угля в системе Минугле-прома 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 котлоагре-гатов определяет низкую степень оснащения котельных устрой-ствами 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 некото-рых видов топлива приведен в табл.5.

Характеристика уноса при различных способах сжигания топлива приведена в табл.6 и 7. Дисперсный состав золы в ды-мовых 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 приме-нением 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 <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	R <sub>2</sub> O прочие	глина	SiO <sub>2</sub> свобод- ная	колче- даны	дру- гие
Кизеловский уголь	38,8	30,7	22,7	2,4	1,3	2,0	2,1	58,0	2,9	25,1	14
Подмосковный уголь	41,5	36,3	13,1	4,4	0,7	3,3	0,7	68,0	1,8	11,1	19,1
Карагандинский уголь	53,2	31,8	7,7	3,4	0,3	2,0	1,6	59,0	16,2	-	24,8
Кузнецкий уголь (Араличевский район)	57,1	28,0	5,6	3,7	0,4	1,6	3,6	52,5	24,2	-	23,3
Кузнецкий уголь (Кемеровский район)	46,8	26,5	16,1	3,8	1,0	2,8	3,0	49,7	15,8	-	34,5
Челябинский уголь	48,7	24,2	14,8	4,9	2,7	3,8	0,9	45,2	20,4	6,5	27,9
Донецкий уголь	46,8	22,7	17,6	4,2	1,6	3,3	3,8	42,4	20,3	8,3	29,0

Таблица 6

## Характеристика золы уноса при пылевидном скатами угле

Уголь	Размол топлива	Запы-лен-ность (г/м <sup>3</sup> )	Зола в уносе, %		Недожог в уносе, %		Дисперсный состав уноса (вес, %) при размере фракций (мм)						
			экспе-римен-тально	по нор-мам	экспе-римен-тально	по нор-мам	10	10-20	20-40	40-60	60-100	100-200	200
Сидезский A <sup>p</sup> = 17,8 W <sup>p</sup> = 12,8	Шахтная мельни-ца 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 мельни-ца без вставки	-	-	-	-	-	22,0	27,0	28,0	10,0	7,0	4,0	2,0
Ленинско-Кузнецкий A <sup>p</sup> = 11,6 W <sup>p</sup> = 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 <sup>p</sup> = 10,0 W <sup>p</sup> = 9,5	То же	-	83,2	85,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Подмосков-ный A <sup>p</sup> = 20,0 W <sup>p</sup> = 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	Запы-лен-ность г/м <sup>3</sup>	Зола в уносе, %		Недоста- в уносе, %		Дисперсный состав уноса (вес.%) при размере фракций (мкм)							
		экспе- римен- тально	по нор- ме	экспе- римен- тально	по нор- ме	10	10-20	20-40	40-60	60-100	100-200	200-500	500
Антрацит кусковый A <sup>p</sup> = 13,2 W <sup>p</sup> = 6,0	0,55	20,0	25,0	7,0	25,0	1,0	2,0	5,0	9,0	17,0	27,0	31,0	8,0
Антрацит кусковый с мелочью A <sup>p</sup> = 16,0 W <sup>p</sup> = 7,0	0,82 0,52	7,6 5,8	25,0	25,0	45,0	0,8 1,5	1,4 2,0	4,3 6,5	6,7 10,5	13,3 21,0	15,5 21,0	19,0	39,0 18,5
Антрацит АРШ A <sup>p</sup> = 20,0 W <sup>p</sup> = 8,0	2,24 4,84	10,7 23,1	30,0	54,0	25,0	9,8	6,0	12,2	11,1	18,0	31,0	12,0	0,0
Антрацит 33% Подмосковный 67% A <sup>p</sup> = 20,0 W <sup>p</sup> = 10,0	0,71	3,8	30,0	57,0	25,0	7,5	7,5	13,0	11,0	16,5	25,5	19,0	0,0

Продолжение таблицы 7

Топливо	Запы-лен-ность г/м <sup>3</sup>	Зола в уносе, %		Недожог в уносе, %		Дисперсный состав уноса (вес.%) при размере фракций (мкм)							
		экспе-римен-тально	по нор-ме	экспе-римен-тально	по нор-ме	10	10-20	20-40	40-60	60-100	100-200	200-500	>500
Антрацитовый штыб 85% торф 15% A <sup>p</sup> = 18,0 W <sup>p</sup> = 13,0	5,5	14,8	30,0	53,0	25,0	1,0	2,0	5,5	8,5	16,0	27,5	32,0	7,5
Подмосковный уголь A <sup>p</sup> = 39,3 W <sup>p</sup> = 18,0	0,82	3,1	30,0	16,8	20,0	34,0	9,5	14,0	11,0	15,5	12,0	4,0	0,0
Подмосковный уголь A <sup>p</sup> = 24-29,0 W <sup>p</sup> = 25-26,0	2,60	-	30,0	-	20,0	-	-	-	-	-	-	-	-
Подмосковный уголь A <sup>p</sup> = 23,0	4,5	22,4	30,0	-	20,0	12,5	9,5	9,0	7,0	11,0	21,5	25,0	4,0
Подмосковный уголь	1,0	-	30,0	56,0	20,0	0,5	0,5	2,0	5,0	28,0	19,0	22,0	23,0

от времени, режима плавки и применяемых шихтовых материалов. По данным института ВНИИЧерметэнергоочистка в состав газов входит: 5-70% CO, 5-15% CO<sub>2</sub>, 0,5-5% H<sub>2</sub>, 3-10% O<sub>2</sub>, остальное - N<sub>2</sub>. 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<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 40±60%, CaO - 11±12%, MgO - 1%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> - 1±1,5%, O<sub>2</sub> - 4±10%.

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

Таблица 8  
Дисперсный состав пыли  
плавильных агрегатов

Фракция, мкм	Содержание, %
1+2	73
2+5	13
5+10	7
10+25	6
25+50	1

Температура газов, выделяющихся из печей, достигает 1800-2000°С. Количество дымовых газов зависит от производительности электропечей, от применения кислорода, условий проведения технологического процесса и на 1 т садки составляет 90-100 м<sup>3</sup>/ч при продувке ванны кислородом.

Запыленность газа зависит от качества шихты и составляет

от 2 до 10 г/м<sup>3</sup> без продувки ванны кислородом и от 14 до 100 г/м<sup>3</sup> при продувке. Плотность пыли равна 4 г/см<sup>3</sup>.

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, м <sup>3</sup> /ч	Удельный выброс пыли, кг/т металла	Концентрация пыли в газах, г/м <sup>3</sup>
5	7,0	700	9,4	27
10	11,5	1100	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. 10.

Таблица 10

Количество газов и пыли, выделяющееся из вагранок различной производительности

Производительность, т/ч	Диаметр вагранки, мм	Выбросы газов, м <sup>3</sup> /ч	Концентрация, г/м <sup>3</sup> ж	Интенсивность выделения, кг/ч	Удельные выбросы на 1 т чугуна, кг
2	600	2000-2600	20	36-44	Пыль 18-22
			13	24-28	
3	700	2800-3600	20	54-66	18-22
			13	36-42	
4	800	3600-4600	20	72-88	18-22
			13	48-56	
5	900	4500-5800	20	90-110	18-22
			13	60-70	
Окись углерода					
2	600	2000-2600	150-200	370-480	160-220
3	700	2800-3600	150-200	520-670	180-220
4	800	3600-4600	150-200	670-870	180-220
5	900	4500-5800	150-200	840-1080	180-220
Сернистый ангидрид					
2	600	2000-2600	1,1-1,5	2,6-3,4	1,3-1,7
3	700	2800-3600	1,1-1,4	3,6-4,6	1,2-1,5
4	800	3600-4600	1,1-1,4	4,6-5,9	1,2-1,5
5	900	4500-5800	1,1-1,4	5,9-7,5	1,2-1,5

\* В числителе приведено количество пыли в колосниковых 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	5-10	10-15	25-50	> 50
Горячее	16,6	13,3	16,0	13,2	40,9
Холодное	-	2,4	6,2	21,8	69,6

Температура ваграночных газов колеблется от 100 до 600°C, в некоторых случаях доходит до 900°C. В газе содержится примерно 15+23 об.% окиси углерода, 0,6+0,8 г/м<sup>3</sup> сернистого ангидрида и др. компоненты. Концентрация пыли зависит от состава шихты, степени ее загрязнения и в среднем составляет 13 г/м<sup>3</sup>. Плотность пыли - 2,5 г/см<sup>3</sup>. Количество пылевых выбросов составляет 4,5+18,5 кг/т плавки [9].

Схемы очистки вредных выбросов  
от сушильных установок углеобогажительных 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 (> 100 мкм), средней (10-100 мкм) и тонкодисперсной (< 10 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. 1-3 представлены схемы очистки отходящих газов от труб-сушилок, а на рис. 4-6 - от барабанных сушилок.

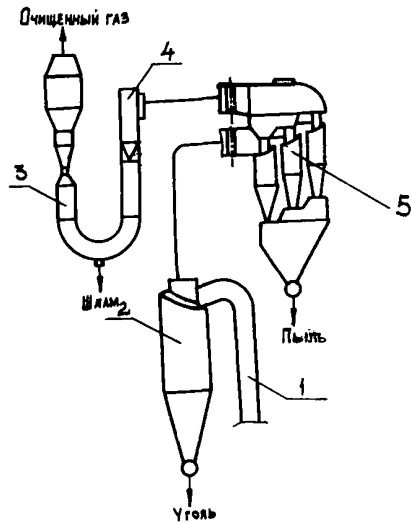


Рис.1. Схема очистки отходящих газов от  
трубы-сушилки:  
1 - труба-сушилка, 2 - разгрузочный  
циклон, 3 - мокрый пылеуловитель МПР,  
4 - дымосос, 5 - пылеуловитель БПР

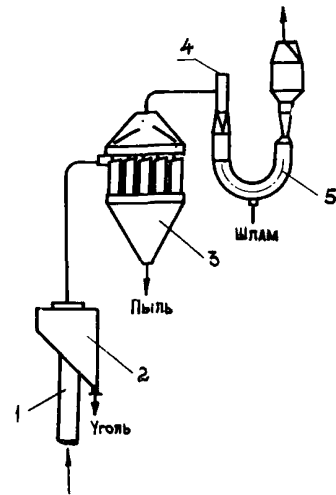


Рис.2. Схема очистки стходящих газов от  
трубы-сушилки:  
1 - труба-сушилка, 2 - разгрузочная  
гравитационная камера, 3 - групповой  
циклон, 4 - дымосос, 5 - мокрый пыле-  
уловитель МПР

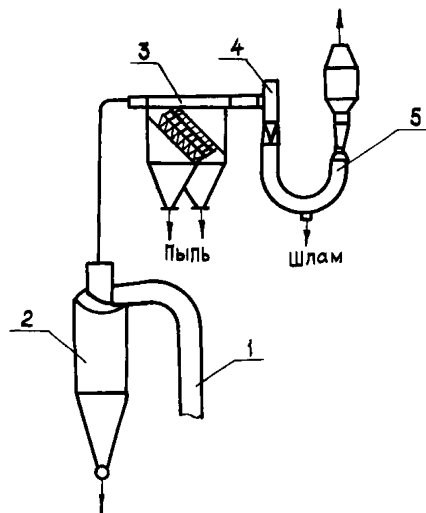


Рис.3. Схема очистки отходящих газов от трубы-сушилки:  
 1 - труба-сушилка, 2 - разгрузочный циклон, 3 - пылеуловитель ПБЦ,  
 4 - дымосос, 5 - мокрый пылеуловитель МПР

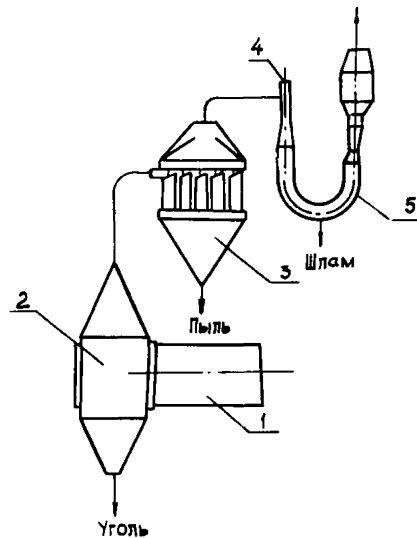


Рис.4. Схема очистки отходящих газов от барабанной сушилки:  
 1 - сушильный барабан, 2 - разгрузочная гравитационная камера, 3 - групповой циклон, 4 - дымосос, 5 - мокрый пылеуловитель МПР

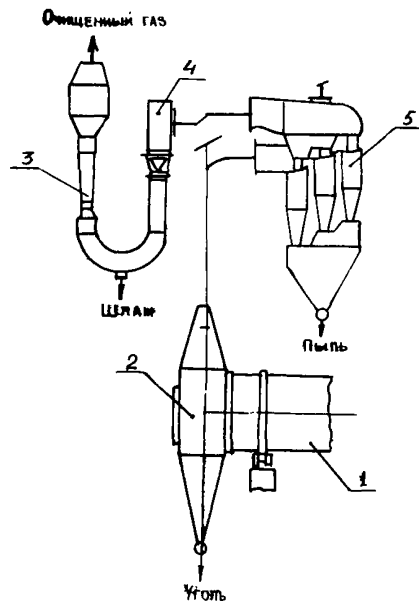


Рис.5. Схема очистки отходящих газов от барабанной сушилки:  
 1 - сушильный барабан, 2 - разгрузочная камера, 3 - мокрый пылеуловитель МПР, 4 - дымосос, 5 - пылеуловитель БПР

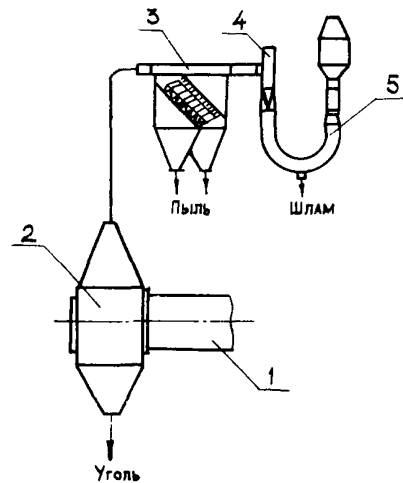


Рис.6. Схема очистки отходящих газов от барабанной сушилки:  
 1 - сушильный барабан, 2 - разгрузочная гравитационная камера, 3 - пылеуловитель ПБЦ, 4 - дымосос, 5 - мокрый пылеуловитель МПР

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 патрубков 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°. 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 komponуются с эффективными батарейными циклонными пылеуловителями.

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

На барабанных сушилках в качестве разгрузочных аппаратов применяются, как правило, гравитационные разгрузочные камеры, которые изготавливаются 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<sup>3</sup>.

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<sup>3</sup>/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.

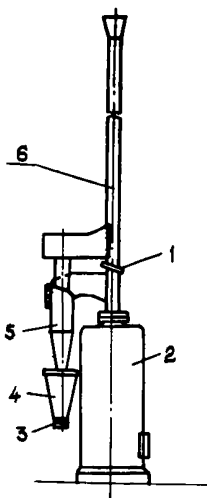


Рис.7. Схема компоновки циклона с вертикальным котлом: 1 - шибер трубы, 2 - котел, 3 - разгрузочное устройство, 4 - бункер, 5 - циклон, 6 - дымовая труба

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<sup>2</sup>.

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 ( $0,9-1,5 \text{ м}^3/\text{с}$ ), 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.

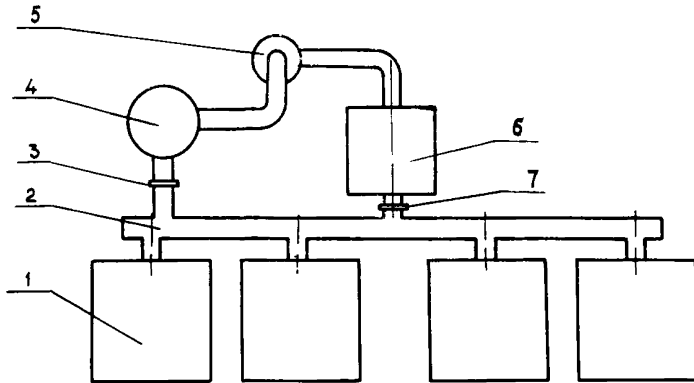


Рис.8. Схема компоновки группы циклонов вне котельной:  
1 - чугунные секционные котлы, 2 - газосход,  
3,7 - фланцы, 4 - дымовая труба, 5 - дымосос,  
6 - группы циклонов

Так как температура дымового газа из рассматриваемых котлов составляет  $250-300^{\circ}\text{C}$ , 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

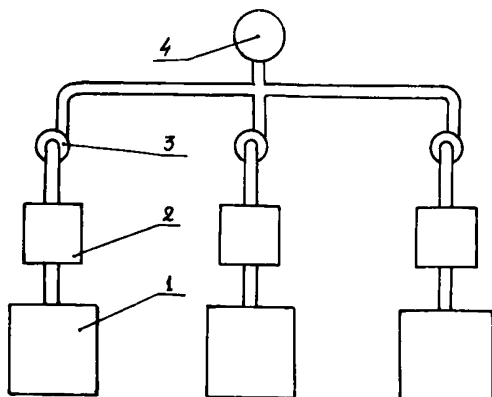


Рис.9. Схема компоновки котельной с батарейными циклонами:

1 - котел, 2 - батарейный циклон,  
3 - дымосос, 4 - дымовая труба

рекомендуется устанавливать к котлоагрегатам с пылевидным и со взвешенным способом сжигания топлива. При слоевом сжигании топлива, когда количество дымовых газов превышает  $30 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$ ,

устанавливаются батарейные циклоны.

Гидравлическое сопротивление батарейных циклонов при номинальном режиме работы составляет  $45-60 \text{ кг/м}^2$ . 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 паропроизводительность 2,5-25 т/ч в качестве аппарата пылеулавливания может быть рекомендован также батарейный циклон БЦУ-М, имеющий большой диапазон производительности по газу [11]. 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.12 [12]. 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 1,5 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 12

Рекомендуемые типы сухих золоуловителей  
для котлов малой производительности

Номинальная паропроизво- дительность котла, т/ч	Типоразмер золоуловителей	
	Блок циклонов НИИОГАЗ	Батарейный циклоп
0,4	Один циклон 400	-
	Два циклона 400	
0,8	Два циклона 400	-
	Два циклона 450	
1,0	Два циклона 450	-
	Два циклона 500	
2,5	ЦН	БЦУ-16М
	ЦН-2х2х450	
4,0	ЦН	БЦУ-16М, 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
10,0	ЦН	БЦ-2-5х(4+2), БЦУ-42М,
	ЦН-3х2х700	БЦ-2-6х(4+2), БЦУ-49М
15,0	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-81М
25,0		БЦ-2-7х(5+3), БЦУ-81М
Чугунные сек- ционные про- изводитель- ность до 0,2 Гкал/ч	Один циклон 400	-
	Два циклона 400	
Чугунные сек- ционные про- изводитель- ность боль- ше 0,2 Гкал/ч	Два циклона 450	
	Два циклона 500	
Водогрейные производитель- ность 20 Гкал/ч (КВ-ТС-20)	--	2 циклона БЦ-2-6х(4+3) БЦУ-100М

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 выносятся большое количество пыли (до  $50 \text{ г/м}^3$ ).

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.

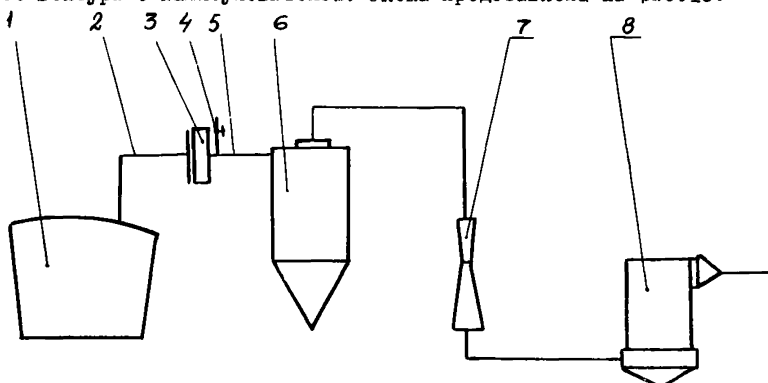


Рис.10. Схема газоотсоса от дуговой сталеплавильной печи с водяным охлаждением и мокрой очисткой:  
1 - электродпечь, 2 - газоотводящий патрубок, 3 - регулировочная муфта, 4 - регулируемый подсос, 5 - водоохлаждаемый патрубок, 6 - скруббер, 7 - труба Вентури, 8 - каплеуловитель

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 (турбовоздуховка 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  $\text{CO}$ , воздушным охлаждением и мокрой очисткой. Схема представлена на рис. II.

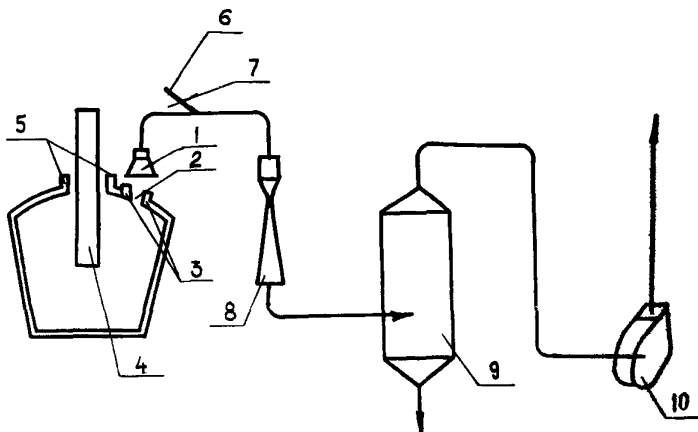


Рис. II. Схема газоотсоса дуговой сталеплавильной печи с воздушным охлаждением и мокрой очисткой:  
1 - подвижной зонт, 2 - свод печи, 3 - экономайзер, 4 - электроды, 5 - воздушные манжеты, 6 - регулируемый подсос с шибером, 7 - газоотводящий патрубок, 8 - труба Вентури, 9 - каплеуловитель, 10 - побудитель 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 необходимо поворот ее свода. Между экономайзером и зонтом газоотводящего патрубка имеется разрыв, через который поступает воздух из цеха для дожигания  $\text{CO}$  и  $\text{H}_2$  в отходящих газах. Дожигание происходит в газоотводящем патрубке. Подсос воздуха, необходимого для охлаждения газов до  $400^\circ\text{C}$ , осуществляется через регулируемый подсос 6 с шибером, врезанным в газопровод после

зоны дожигания. Количество подсосываемого 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 10 могут быть использованы турбовоздуходувки и вентиляторы высокого давления. Весь газопровод до патрубка рекомендуется выполнять из жаропрочной стали [14].

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.12. При

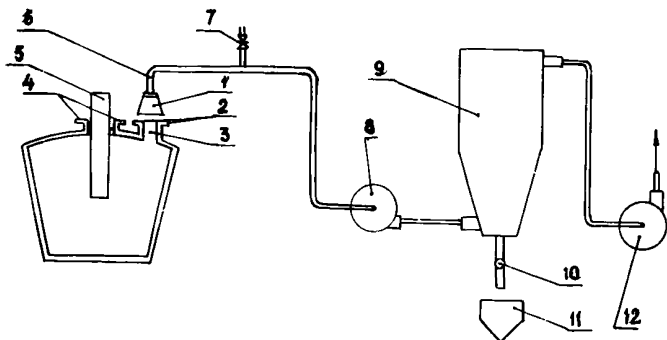


Рис.12. Схема газоотсоса дуговой сталеплавильной печи с воздушным охлаждением и сухой очисткой: 1 - подвижной зонт, 2 - экономайзер, 3 - свод печи, 4 - воздушные манжеты, 5 - электрод, 6 - газотводящий патрубок, 7 - регулировочный подсос, 8 - вентилятор, 9 - рукавный фильтр, 10 - шиберный затвор, 11 - бункер-накопитель, 12 - вентилятор

сухом улавливанием 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 зонтик I, свободно перемещающийся по газоотводящему патрубку 6. Между экономайзером и подвижным зонтиком имеется разрыв, через который поступает воздух из цеха для дожигания CO и H<sub>2</sub> в отходящих газах. Дожигание происходит в газоотводящем патрубке. Подсос воздуха, необходимый для охлаждения газов до 80-120°C, осуществляется через регулировочный подсос 7 с шибером, врезанным в газопровод 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 12 через выхлопную трубу выбрасывается в атмосферу. Пыль, уловленная фильтром, отводится шнеком через шлюзовой затвор 10 в бункер-накопитель 11 [13].

В качестве рукавных фильтров для очистки газов могут быть установлены фильтры типа РФГ, ФРКИ, которые могут быть оснащены фильтровальной тканью лавсан арт. 136 с температуростойкостью 140°C (допускаемые кратковременные превышения температуры 160+180°C). Регенерация фильтров осуществляется путем поперечного отряхивания рукавов с продувкой их обратным потоком воздуха при отключении регенерируемой секции от сборного коллектора чистого воздуха.

### Вагранки

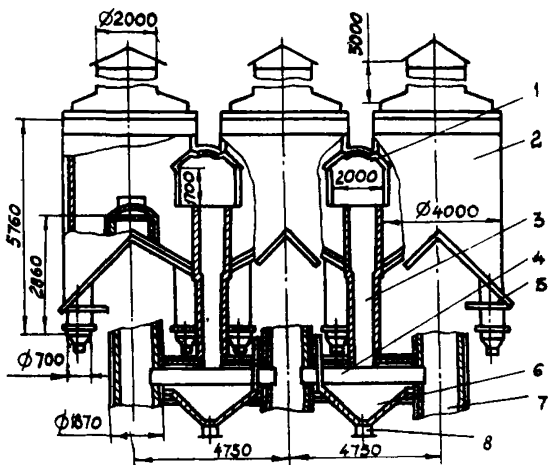
#### Сухой способ очистки

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. 13. 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 5. Затем газы направляются по газоходу 3 и, изменив направление, попадают в камеру 1, в которой также происходит осаждение пыли. Из камеры 1 газы направляются в искрогаситель 2, где за счет снижения скорости движения происходит дополнительное осаждение частиц. Осевшая пыль из бункера и искрогасителя удаляется соответственно через пылепроводы 8 и 5. Иногда с целью повышения эффективности очистки в верхней части искрогасителя устанавливают уголкового пылеуловителя.



Описанная схема улавливания ваграночной пыли проста в эксплуатации, но не дает возможности уловить мелкие частицы. Гидравлическое сопротивление системы незначительно и

Рис. 13. Схема очистки ваграночных газов от пыли в камерах осаждения

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.14). Ваграночные газы из вагранки 1 по газоходу 2

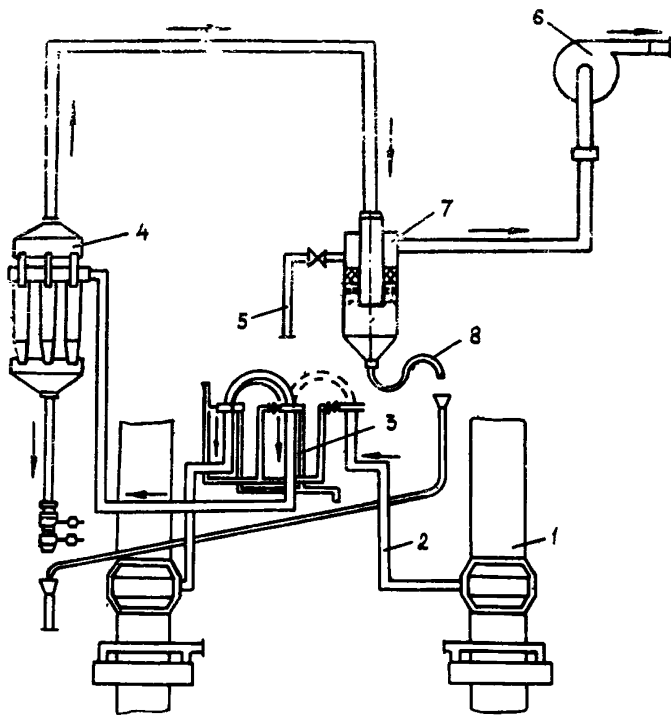


Рис.14. Схема двухступенчатой очистки ваграночных газов

подаются на предварительное охлаждение в теплообменнике 3, а затем направляются в первую ступень очистки 4, которая состоит из группы циклонов типа ЦН-15. 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.15).

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 15 м<sup>3</sup>. 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

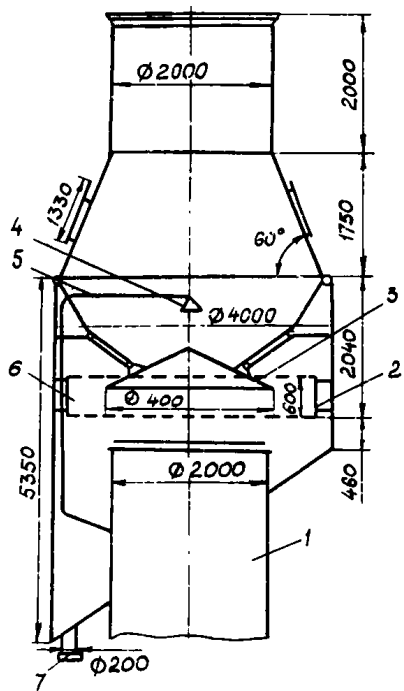


Рис.15. Схема искрогасителя с орошением газа

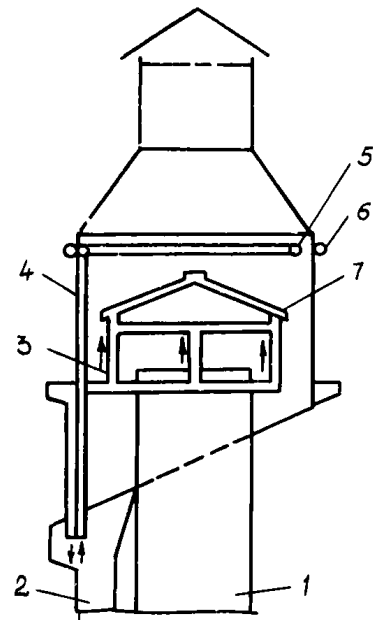


Рис.16. Схема искрогасителя с охлаждаемыми стенками

(рис.16) 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  $45^{\circ}$  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.17). 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 уголкоый 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 10, 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.

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.

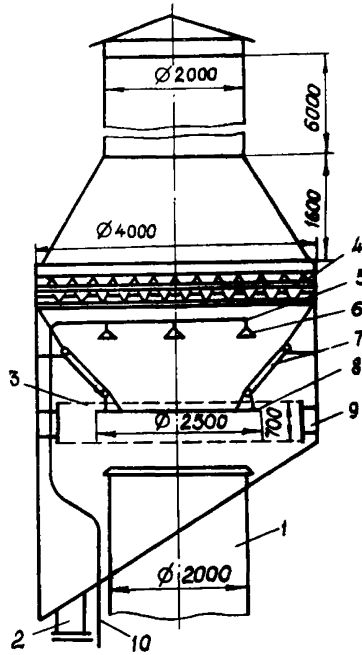


Рис. 17. Схема искрогасителя ВИИГХа

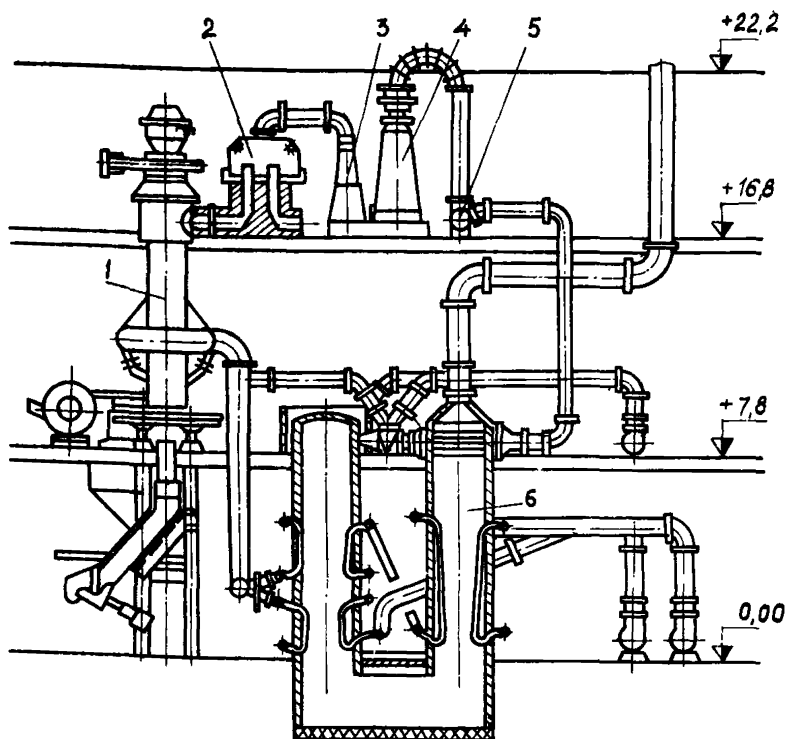


Рис.18. Схема закрытой вагранки конструкции "Гипростанок"

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  
углеобогажительных 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 легкоъемными 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  $5 \text{ г/м}^3$  устанавливаются 2 ступени пылеулавливающих аппаратов.

На рис.19 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-обогажительной фабрике. В качестве пылеочистного аппарата здесь могут быть применены пылеуловители КМП, ПВМ, ЦВП или ПМ-35А.



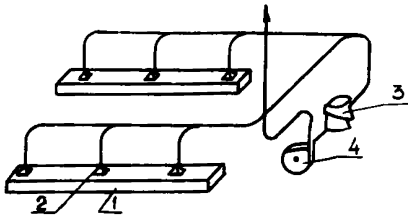


Рис.19. Схема аспирационной установки обеспыливания транспортных механизмов с одной ступенью очистки отходящего воздуха в циклоне-промывателе СИОТ. 1 - укрытия конвейеров, 2 - воздухоприемники, 3 - циклон промыватель СИОТ, 4 - центробежный вентилятор

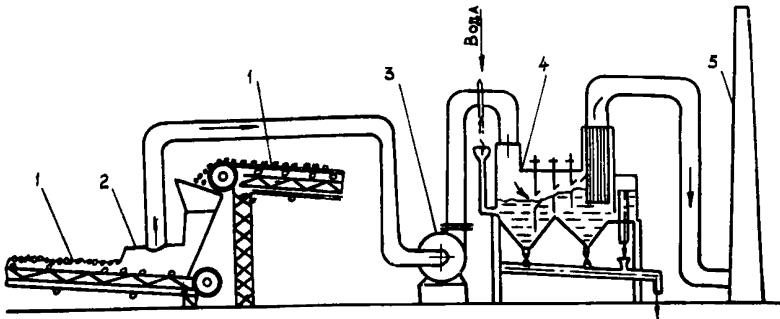


Рис.20. Схема установки ротоклона "Урал" в аспирационной системе на дробильно-обогащительной фабрике: 1 - транспортеры дробленого угля, 2 - укрытие, 3 - вентилятор, 4 - ротоклон "Урал", 5 - выхлопная труба

На рис.21 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, ФБК, ФВС-45.

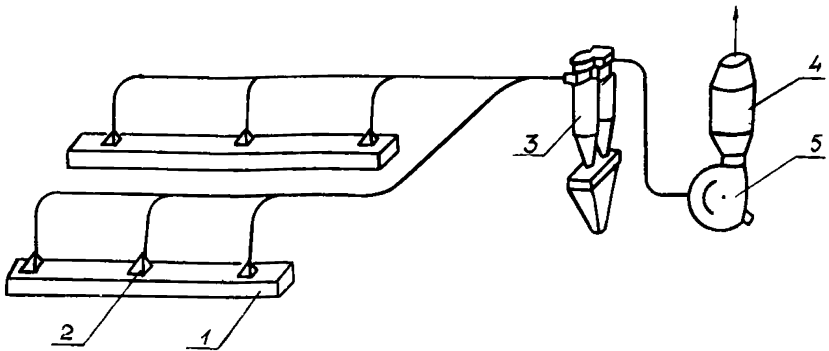


Рис.21. Схема аспирационной установки обеспыливания транспортных механизмов с двумя ступенями очистки воздуха в циклонах ЦН-15 и мокром пылеуловителе МПР  
1 - укрытия конвейеров, 2 - воздухоприемники, 3 - группа циклонов, 4 - мокрый пылеуловитель МПР, 5 - вентилятор

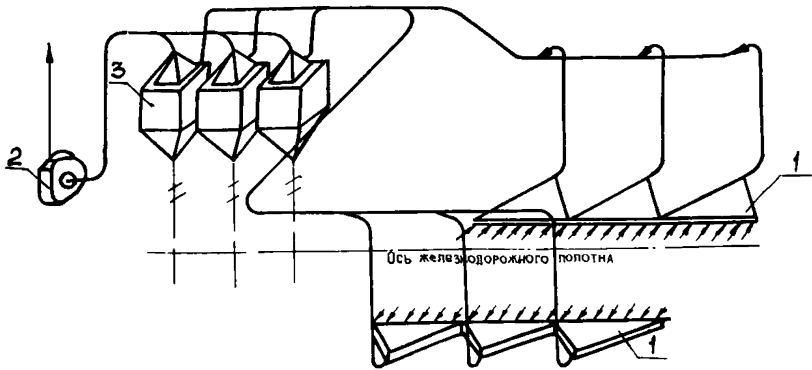


Рис.22. Схема аспирации установки вагоноопрокидывателя:  
1 - воздухоприемники, 2 - вентилятор, 3 - батарея циклонов

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 ] .

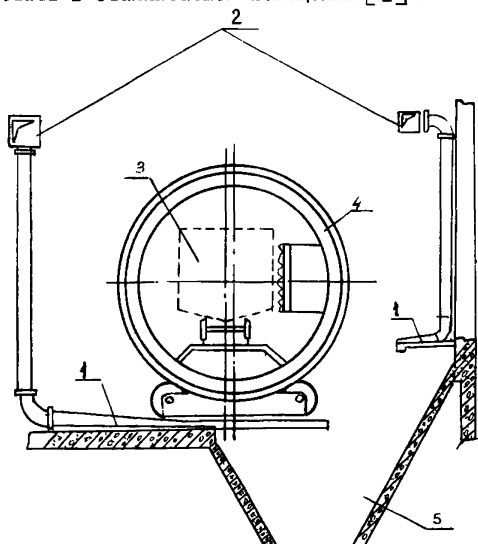


Рис.23. Схема аспирации установки вагоноопрокидывателя:  
1 - воздухоприемники, 2 - воздухо-воды, 3 - вагон, 4 - вагоноопрокидыватель, 5 - яма привозных углей

Расчет объемов воздуха, аспирируемого от укрытий, приведен в "Нормах технологического проектирования углеобогачительных фабрик и поверхности лахт", разработанных институтом "Одгипрошахт". 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<sup>3</sup>/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<sup>3</sup>; для циклонов меньшего диаметра концентрация пыли в газах должна быть меньше. При больших концентрациях пыли, а также в случае улавливания слипающейся пыли, возможно забивание пылепускного 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 пылевывпускному 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 пылевывпускное 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 I, 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-

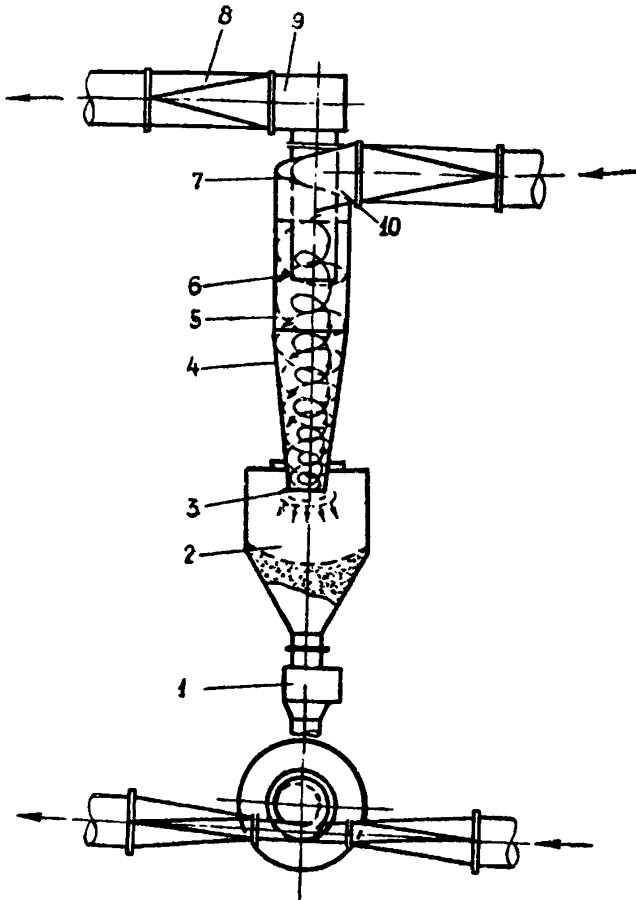


Рис.24. Циклон НИИОГАЗ (общий вид и схема движения газов):  
1 - пылевой затвор, 2 - бункер, 3 - пылевыпускное отверстие, 4 - корпус (коническая часть), 5 - корпус (цилиндрическая часть циклона), 6 - выхлопная труба, 7 - винтообразная крышка, 8 - газосход очищенных газов, 9 - улитка для вывода газов, 10 - 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.

#### 1. 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.13 приведены соотношения размеров для циклонов ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У, ЦН-24. В табл.14 приведены соотношения размеров для циклонов СДЖ-ЦН-33 и СК-ЦН-34. На основании этих соотношений могут быть разработаны циклоны ЦН-11, ЦН-15, ЦН-15У любых размеров в пределах от 200 до 2000 мм и циклоны СДЖ-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, 1000, 1200, 1400, 1600, 1800, 2000, 2400, 3000.

#### 2. Групповые циклоны.

В групповых циклонах элементы компоуются в два ряда или имеют круговую компоновку и комплектуются в соответствии с рекомендациями, приведенными в табл.15.

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.16-19 приведены основные размеры аппаратов. На рис.30 представлен вариант компоновки группы из 8 циклонов со ступенчатым расположением элементов. Приведенные компоновки могут быть составлены

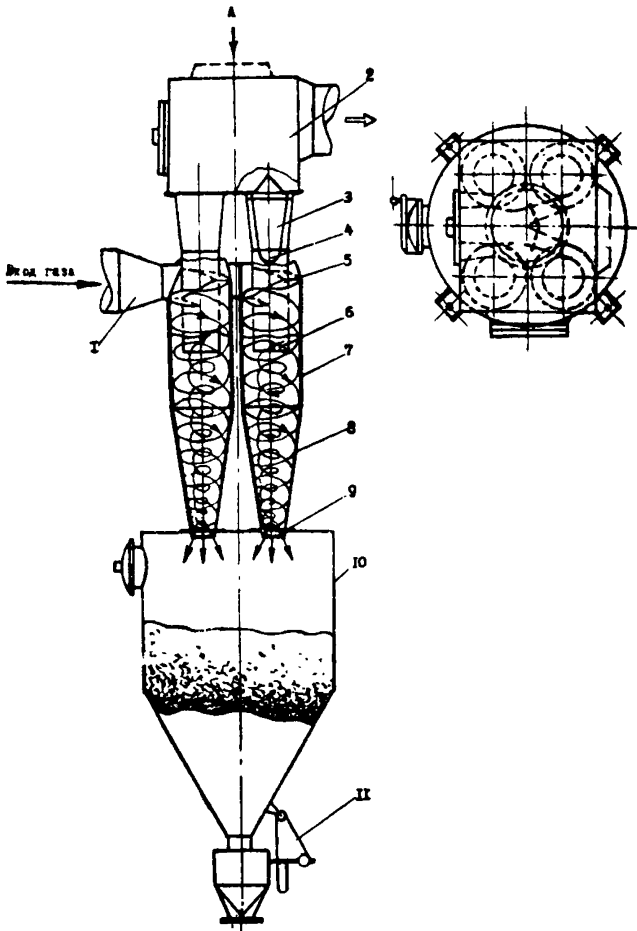
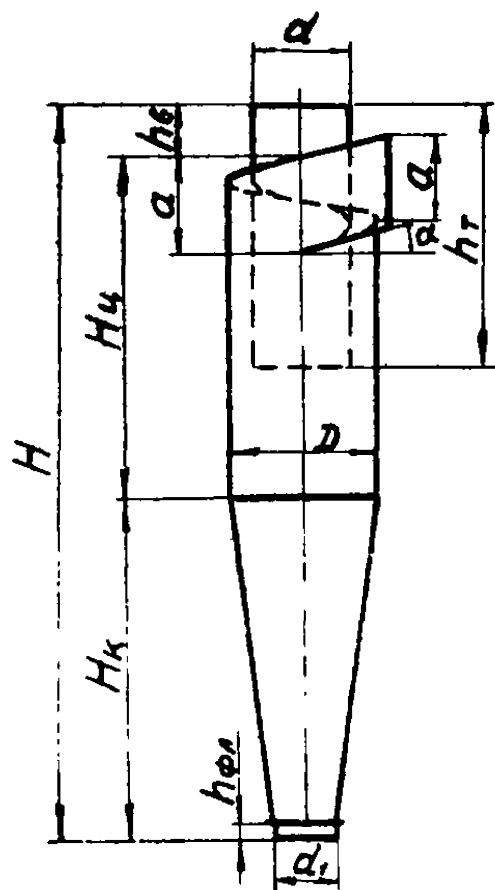


Рис. 25. Группа из четырех циклонов НИИОГАЗ  
(общий вид и схема движения газов):

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	
	Обозначение	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24		ЦН-11
Внутренний диаметр выхлопной трубы	$d$	0,59D				Большой размер принимается при малых $D_1$ при большой запыленности
Внутренний диаметр пылевыпускного отверстия	$d_1$	0,3—0,4D для всех типов				
Ширина входного патрубка в циклоне (внутренний размер)	$b$	0,2D для всех типов				Угол наклона крышки циклона берется по линии $D_{ср}$
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	$a$	15°	15°	24°	11°	
Внутренний диаметр циклона	$D$	—	—	—	—	
Высота входного патрубка (внутренний диаметр)	$a$	0,66D	0,66D	1,11D	0,48D	
Высота выхлопной трубы	$h_t$	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	

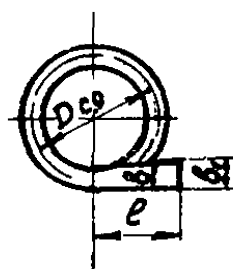
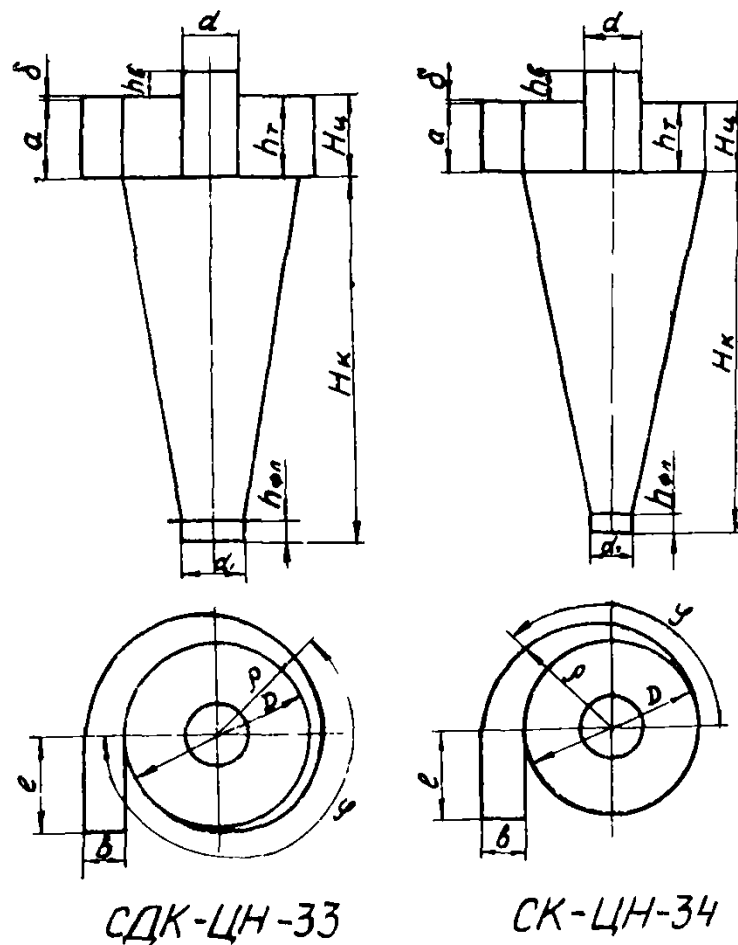


Таблица 14

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 заглибления выхлопной трубы	$h_т$	$0,535D$	$0,515D$
Текущий радиус улитки	$r$	$\frac{D}{2} + b \frac{L}{2\pi}$	$\frac{D}{2} + b \frac{L}{\pi}$

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

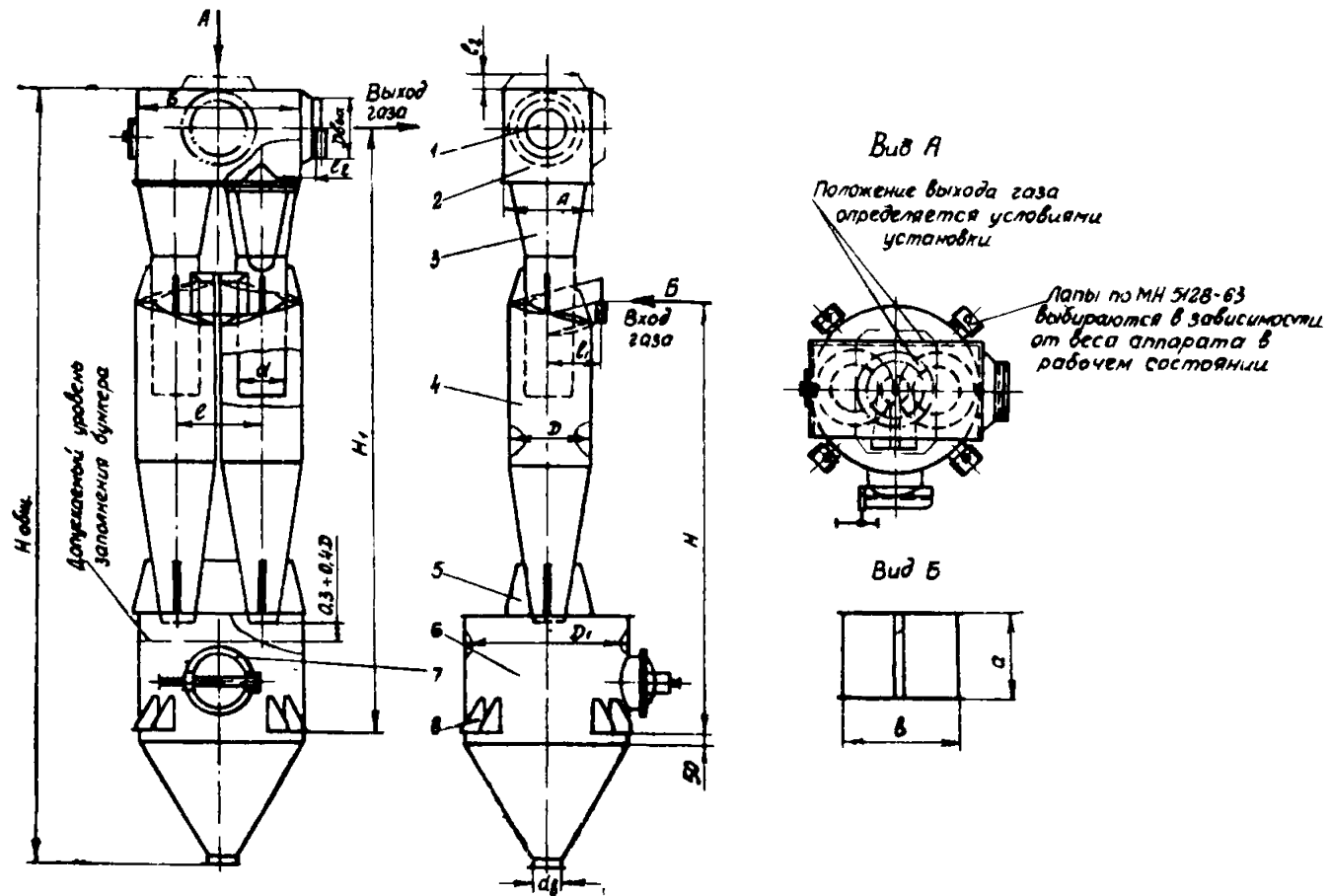


Рис 26 Групповой циклон из 2 элементов:

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

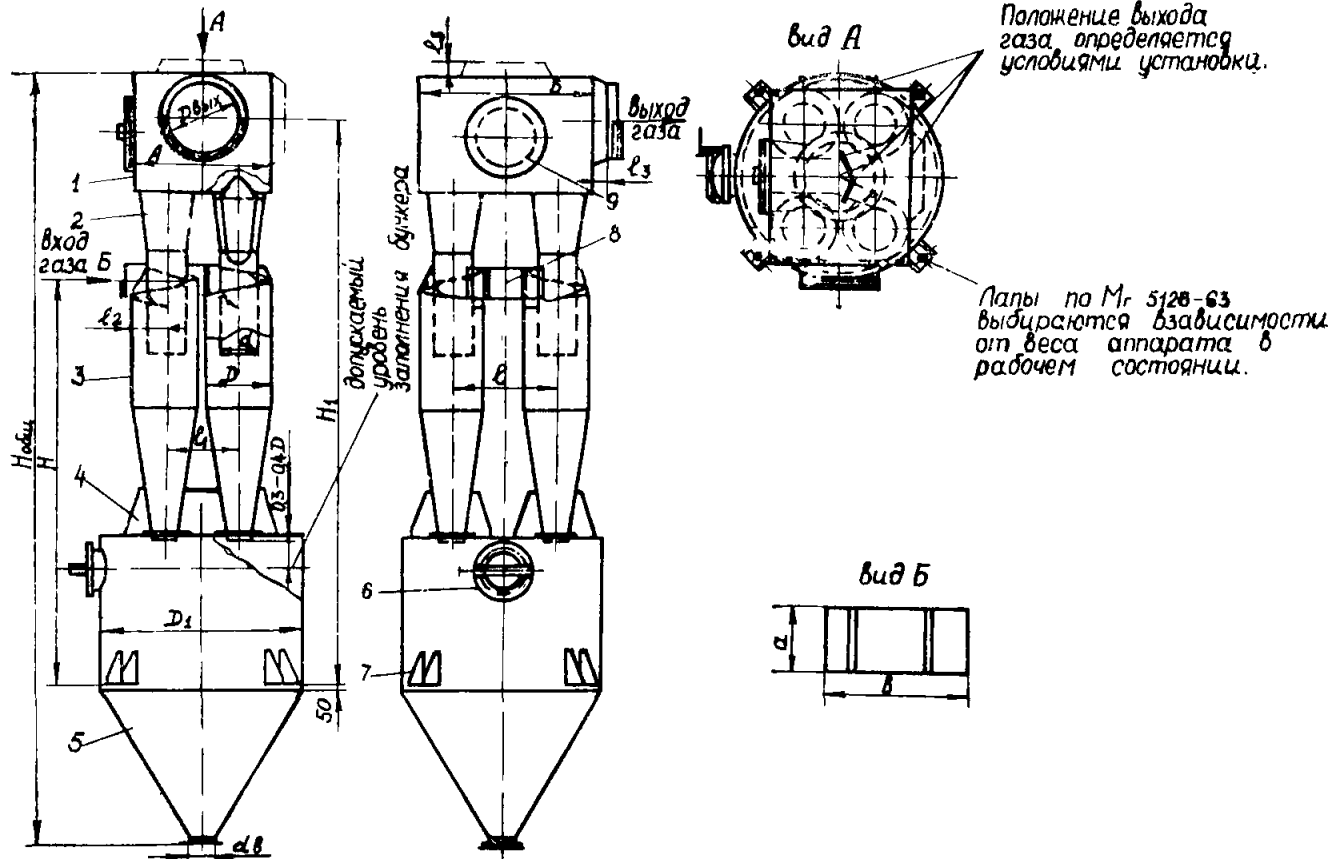


Рис 27 Групповой циклон из 4 элементов

1 -- сборник чистого газа, 2 -- кольцевой диффузор, 3 -- циклон, 4 -- косилка, 5 -- бункер, 6 -- люк, 7 -- лопы опорные, 8 -- коллектор ввода газа, 9 -- заглушка

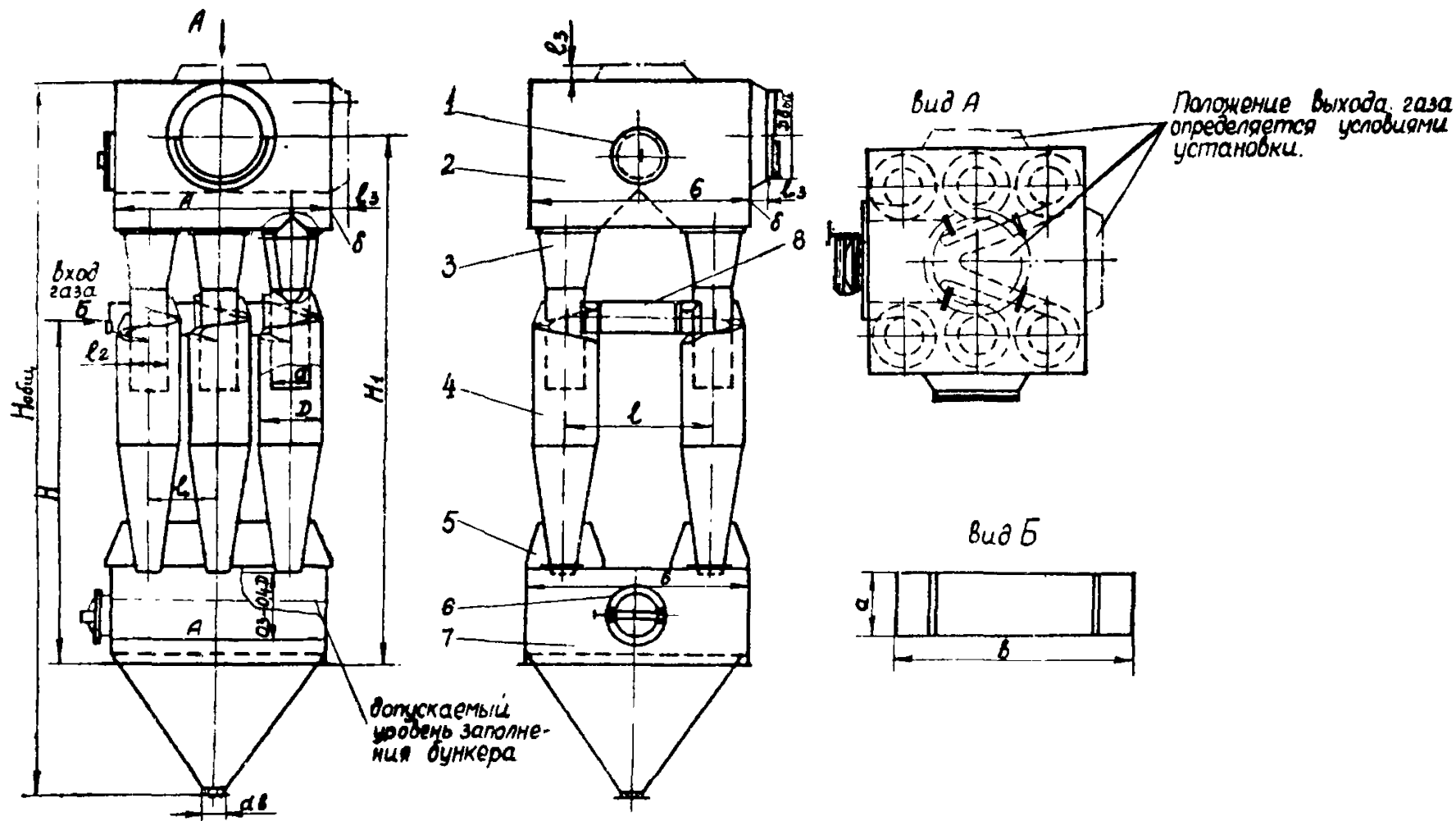


Рис 28 Групповой циклон из 6 элементов

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

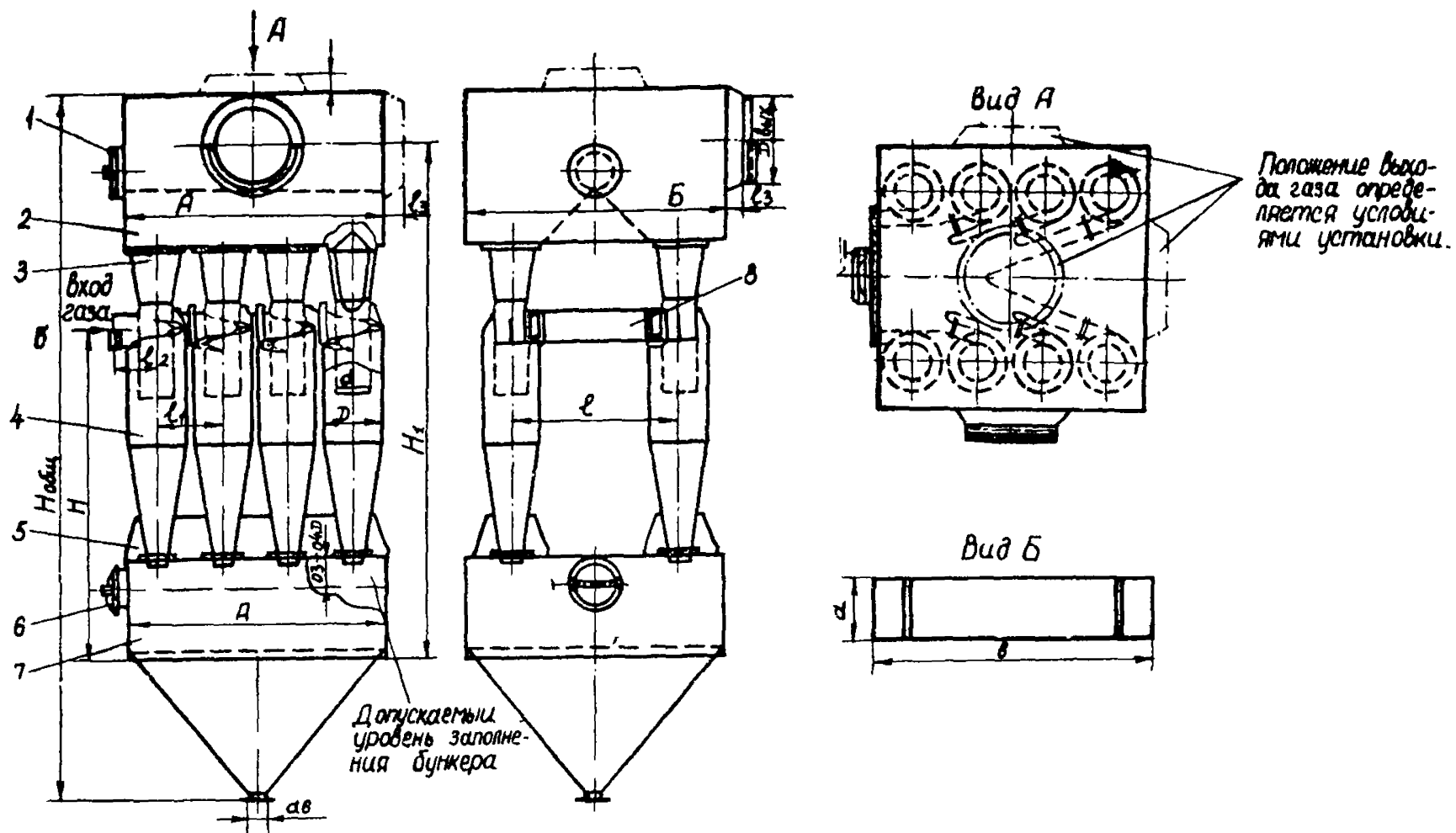


Рис. 29 Групповой циклон из 8 элементов:

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

Таблица 16

Основные размеры группы из 2 циклонов

D	D <sub>1</sub>	A + Б	Двух	d	а				b	d <sub>2</sub>	l	l <sub>1</sub>	l <sub>2</sub>	H				H <sub>г</sub>				H <sub>общ</sub>			
					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	240x 460	159	120	132	96	-	132	150	220	120	32	1156	906	1130	-	1597	1347	1560	-	2169	1920	2133	-	
300	800	360x 680	245	180	198	144	-	184	200	320	180	50	1795	1420	1756	-	2454	2079	2400	-	3250	2875	2196	-	
400	1000	480x 900	325	240	264	192	444	236	200	420	240	65	2354	1854	2300	2145	3226	2726	3154	3106	4240	3740	4169	4120	
500	1000	500x1024	377	300	330	240	555	294	200	524	300	75	2755	2130	2688	2496	3807	3182	3717	3657	4850	4225	4760	4700	
600	1200	600x1224	426	360	396	288	666	346	200	624	360	85	3314	2564	3234	3003	4557	3807	4449	4377	5807	5057	5699	5627	
700	1400	700x1424	530	420	462	336	777	398	300	724	420	105	3872	2997	3779	3510	5343	4468	5217	5133	6733	5858	6607	6523	
800	1600	800x1624	630	480	528	384	888	450	300	824	480	125	4432	3432	4324	4018	6122	5122	5978	5862	7755	6754	7610	7514	
900	1800	900x1824	720	540	594	432	999	502	300	924	540	145	4992	3867	4870	4525	6895	5770	6733	6625	8750	7625	8588	8480	
1000	2000	1000x2028	770	600	660	480	1110	560	300	1028	600	145	5553	4303	5420	5034	7624	6374	7444	7324	9655	8404	9474	9355	
1200	2400	1200x2428	920	720	792	576	1332	664	300	1228	720	185	6670	5170	6510	6048	9188	7688	8972	8828	11678	10178	11462	11318	
1400	2800	1400x2828	1020	840	924	672	1554	768	300	1428	840	205	7790	6040	7600	7063	10690	8940	10438	10270	13597	11847	13344	13177	
1600	3600	1600x3228	1220	960	1056	768	1776	872	500	1628	960	245	9227	7227	9012	8397	12577	10572	12774	12092	16120	14120	15832	15640	
1800	3600	1800x3636	1320	1080	1188	864	1998	988	500	1836	1080	265	10630	7780	9787	9095	13755	11505	13431	13215	17370	15120	17046	16830	



Основные размеры группы из 4 цилиндров

Таблица 17

D	A	B	D <sub>1</sub>	D	d	a				b	d <sub>6</sub>	e	e <sub>1</sub>	e <sub>2</sub>	e <sub>3</sub>	H				H <sub>T</sub>				H <sub>обш.</sub>			
						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	120	132	96	-	248	200	344	240	120	45	1396	1146	1370	-	1914	1664	1878	-	2694	2441	2658	-	
300	700	856	1000	325	180	198	144	-	352	200	496	340	180	65	1955	1580	1916	-	2720	2345	2666	-	3735	3360	3680	-	
400	920	1128	1400	426	240	264	192	444	456	300	648	440	240	85	2674	2174	2620	2465	3693	3193	3621	3573	5011	4511	4939	4890	
500	1040	1308	1600	530	300	330	240	555	568	300	808	540	300	105	3235	2610	3168	2976	4473	3848	4383	4323	6046	5424	5956	5895	
600	1240	1560	1800	630	360	396	288	666	672	300	960	640	360	125	3794	3044	3714	3483	5272	4522	5164	5092	7072	6322	6964	6892	
700	1440	1812	2000	820	420	462	336	777	776	300	1112	740	420	165	4352	3477	4259	3990	6123	6248	5997	5913	8208	7333	8082	7998	
800	1640	2064	2400	920	480	528	384	888	880	300	1264	840	480	185	5072	4072	4964	4658	7081	6081	6937	6841	9569	8569	9425	9330	
900	1840	2316	2800	1020	540	594	432	999	984	300	1416	940	540	205	5792	4667	5671	5325	8040	6915	7878	7770	10950	9825	10788	10680	
1000	2040	2576	3000	1120	600	660	480	1110	1096	500	1576	1040	600	225	6353	5103	6219	5834	8844	7594	8664	8544	11794	10544	11614	11494	

Таблица 18

Основные размеры группы № 6 циклонов

D	D <sub>в</sub>	D <sub>н</sub>	a	a			b	c <sub>1</sub>	c <sub>2</sub>	c <sub>3</sub>	c <sub>4</sub>	c <sub>5</sub>	H				H <sub>об.</sub>							
				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	120	132	96	-	388	200	484	280	120	55	1366	1116	1340	-	1990	1740	1953	-	2710	2460	2675	-
300	1200	426	180	198	144	-	562	200	706	380	180	100	1885	1510	1845	-	2795	2420	2740	-	3860	3485	3806	-
400	1600	530	240	264	192	444	736	300	928	480	240	105	2444	1944	2390	2235	3630	3130	3560	3510	5066	4566	4995	4946
500	1700	720	300	330	240	555	918	300	1158	580	300	145	2885	2260	2818	2625	4340	3715	4250	4190	5975	5350	5885	5825
600	2000	820	360	396	288	666	1092	300	1380	680	360	165	3404	2654	3324	3095	5117	4367	5010	4937	7067	6317	6960	6887
700	2300	920	420	462	336	777	1266	300	1602	780	420	182	3924	3049	3830	3560	5880	5005	5755	5670	7858	6983	7732	7648
800	2700	1120	480	528	384	888	1440	300	1824	880	480	225	4482	3482	4375	4068	6785	5785	6640	6545	9155	8155	9010	8915
900	3000	1220	540	594	432	999	1614	500	2046	980	540	245	5002	3877	4880	4535	7555	6430	7393	7285	10055	8930	9893	9785
1000	3300	1320	600	660	480	1110	1796	500	2276	1080	600	265	5623	4373	5489	5105	8435	7185	8255	8135	11105	9855	10925	10805

129

Таблица 19

## Основные размеры группы из 8 циклов

D	A=B	D внх	α	а			β	α <sub>а</sub>	ε	ε <sub>1</sub>	ε <sub>2</sub>	ε <sub>3</sub>	H				H <sub>I</sub>				H <sub>обш.</sub>			
				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	1200	325	120	135	96	-	492	200	588	280	120	65	1485	1235	1460	-	2200	1950	2165	-	3207	2957	3170	-
300	1600	426	180	198	144	-	718	300	862	380	180	85	2045	1670	2005	-	3035	2660	2980	-	4410	4035	4356	-
400	2000	630	240	264	192	444	944	300	1136	480	240	125	2605	2105	2550	2395	3930	3430	3858	3810	5766	5266	5694	5646
500	2300	720	300	330	240	555	1178	300	1418	580	300	145	3125	2500	3058	2866	4700	4075	4610	4550	6556	5930	6466	6406
600	2700	920	360	396	288	666	1404	300	1692	680	360	185	3685	2935	3605	3373	5595	4845	5487	5415	7847	7097	7740	7667
700	3000	1020	420	462	336	777	1630	500	1966	780	420	205	4202	3327	4110	3840	6368	5493	6242	6158	8753	7878	8627	8543
800	3450	1220	480	528	384	888	1856	500	2240	880	480	245	4882	3882	4775	4468	7389	6389	7245	7150	10110	9110	9966	9870
900	3850	1320	540	594	432	999	2082	500	2514	980	540	265	5542	4417	5421	5075	8320	7195	8158	8050	11285	10160	11123	11015
1000	4250	1520	600	660	480	1110	2316	500	2796	1080	600	305	6103	4853	5970	5585	9216	7965	9035	8915	12589	11340	12410	12290

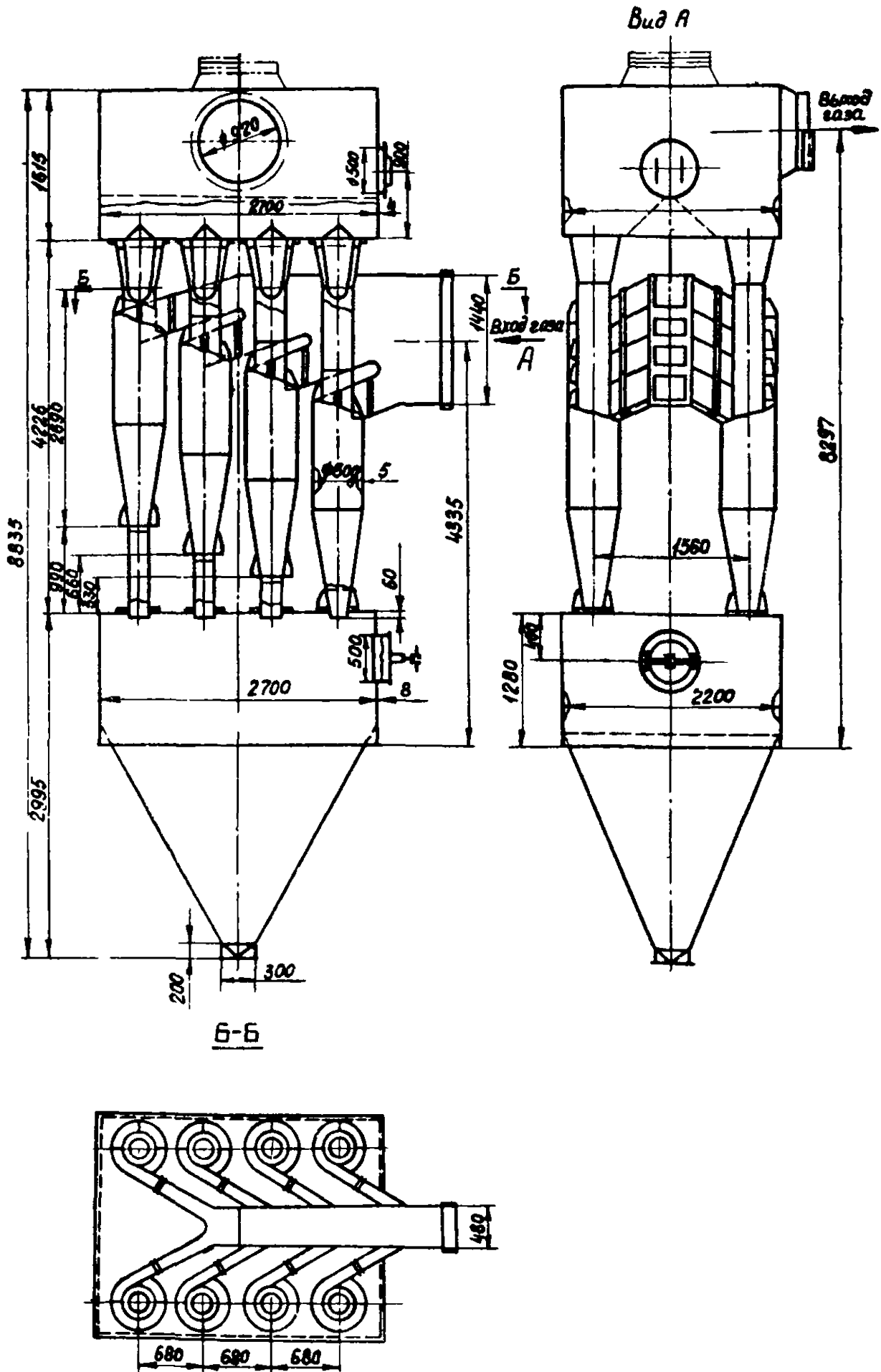


Рис. 30. Групповой циклон из 8 элементов — вариант ступенчатой компоновки

Таблица 20

## Основные размеры групповых циклонов круговой компоновки

Группа из 10 циклонов

D	d <sub>вх</sub> 1,5D	D <sub>оп</sub> 3,75D	l 1,05D	Циклон									Бункер					Сборник чистого газа									
				H			H <sub>об</sub>			H <sub>г</sub>			D <sub>1</sub> 4,66D	H <sub>бун.</sub>	H <sub>к</sub>	H <sub>г</sub> 1,2D	d <sub>в</sub>	D <sub>2</sub> 4,66D	D <sub>к</sub> 2,75D	H <sub>об.</sub>	d <sub>внх.</sub> 1,5D	d <sub>внх.</sub>	D <sub>12</sub> d <sub>внх.</sub>	h 1,2D <sub>2</sub>	σ	H <sub>2</sub>	
				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 <sub>вх</sub> 1,7D	D <sub>оп</sub> 4,4D	l 1,05D	Циклон								D <sub>1</sub> 5,4D	H <sub>бун.</sub>	H <sub>к</sub>	H <sub>г</sub> 1,2D	d <sub>в</sub>	σ	D <sub>2</sub> 5,4D	D <sub>к</sub> 3,4D	H <sub>об.</sub>	d <sub>внх.</sub> 1,7D	d <sub>внх.</sub>	D <sub>12</sub> 0,2d <sub>внх.</sub>	h 0,2D <sub>2</sub>	σ	H <sub>2</sub>	
				ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У																ЦН-11
				600	1020	2640	630	3237	2487	3129	8200	7450	8093	5587	4837	5480	3200	3140	2340	720	500	12	3200	2040	1830	1020	1174
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 <sub>вх</sub> 1,85D	D <sub>оп</sub> 5,1D	l 1,05D	Циклон									D <sub>1</sub> 6,1D	H <sub>бун.</sub>	H <sub>к</sub>	H <sub>г</sub> 1,2D	d <sub>в</sub>	σ	D <sub>2</sub> 6,1D	D <sub>к</sub> 4,1D	H <sub>об.</sub>	d <sub>внх.</sub> 1,85D	d <sub>внх.</sub>	D <sub>12</sub> 0,2D <sub>внх.</sub>	h 1,2D <sub>2</sub>	σ	H <sub>2</sub>
				ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-11															
				600	1120	3060	630	3237	2487	3130	8740	7990	8633	5727	4977	5620	3600	3480	2680	720	500	12	3600	2460	2030	1120	1294
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<sub>1</sub>, равный 6,1D, округляется до ближайшего размера обечайки по ГОСТу 9617-67.2. d<sub>внх</sub> = d<sub>внх</sub>, равный 1,85D, 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 31-33. Основные размеры аппаратов приведены в таблице 20.

В таблице 21 представлены фракционные КПД циклонов НИИОГАЗ.

Таблица 21

Фракционный КПД циклонов НИИОГАЗ

Тип	Циклон Диаметр, мм	Размер частиц пыли, мкм		
		5	10	15
ЦН-15	800	50	85	97,5
	600	55	87	98
	400	69	89	98,5
	200	77	93	99,0
ЦН-15У	800	40	81	97
	200	70	91	97
ЦН-24	1000	30	70	96
	500	41	79	97
ЦН-11	800	65	90	98,0
	100	86	97	99,8

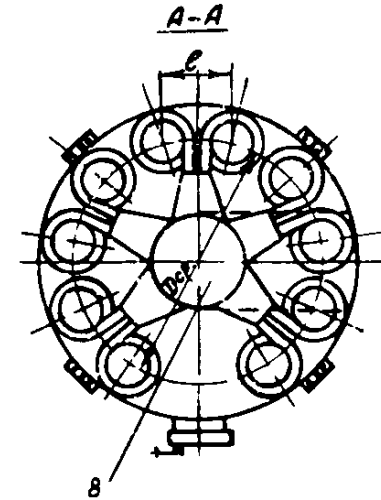
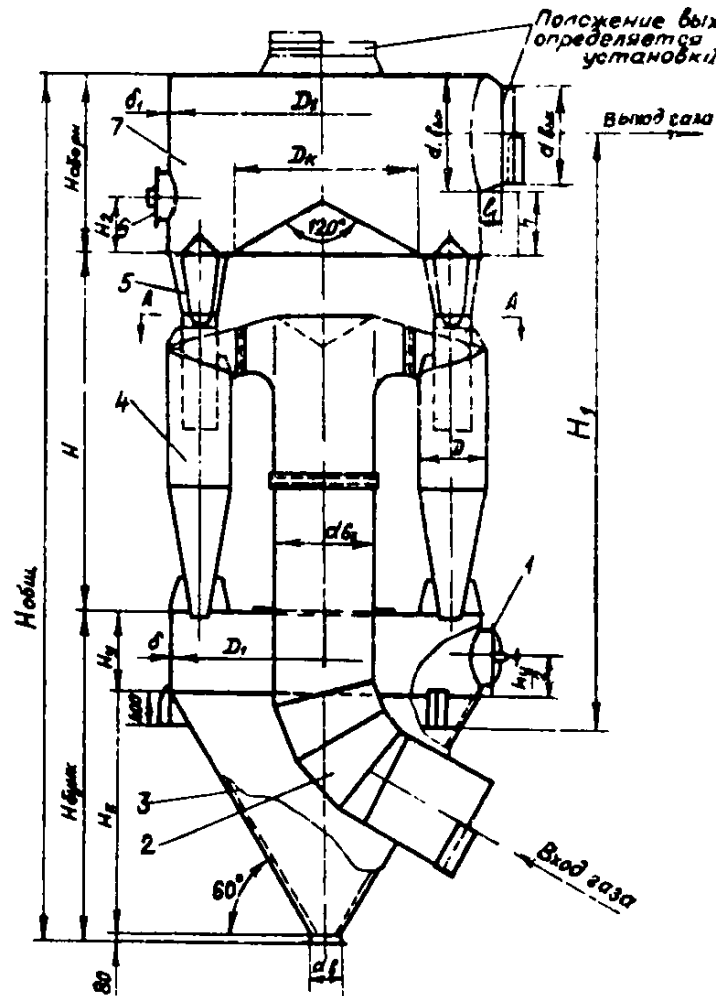
Основные технические данные циклонов представлены в таблицах 22-28. Завод-изготовитель циклонов типа ЦН-15 - Каховский завод "Ремстроймаш"; циклонов типа СКЦН-34 - Кузнецкий завод полимерного машиностроения; циклонов типа ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении - Сызранский завод тяжелого машиностроения [16].

Циклон конструкции ИОТТ

Предназначен для очистки запыленных газов на суммильных установках обогатительных фабрик.

Циклон ИОТТ (рис.34) состоит из входного патрубка 1, 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.



$D_1$  равной 1,56  $D$  округляется до ближайшего размера отверстия по ГОСТ 9617-67  
 $D_2$  и  $D_3$  равны 1,5  $D$  округляется до ближайшего размера люфта; считать по ГОСТ 9617-67

Рис. 31 Групповой циклон круговой компоновки из 10 элементов:  
 1 — люк; 2 — газход подводящий; 3 — бункер; 4 — циклон; 5 — кольцевой диффузор; 6 — заглушка  $\varnothing 500$ ; 7 — сборник чистого газа; 8 — коллектор входа

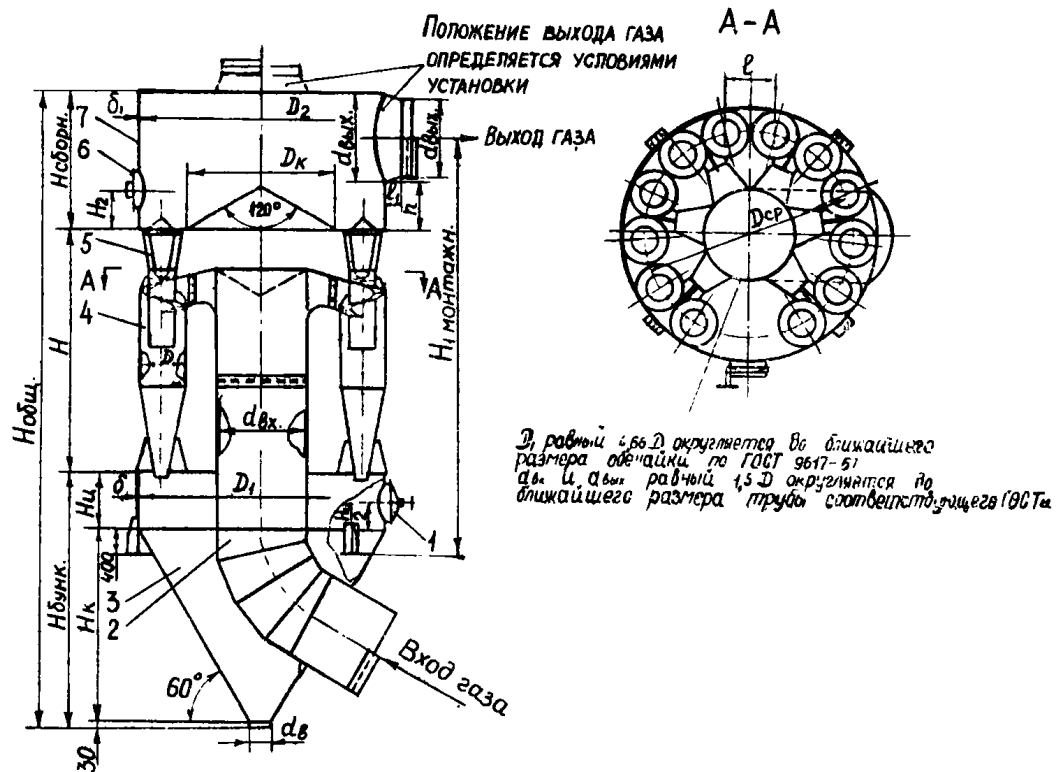
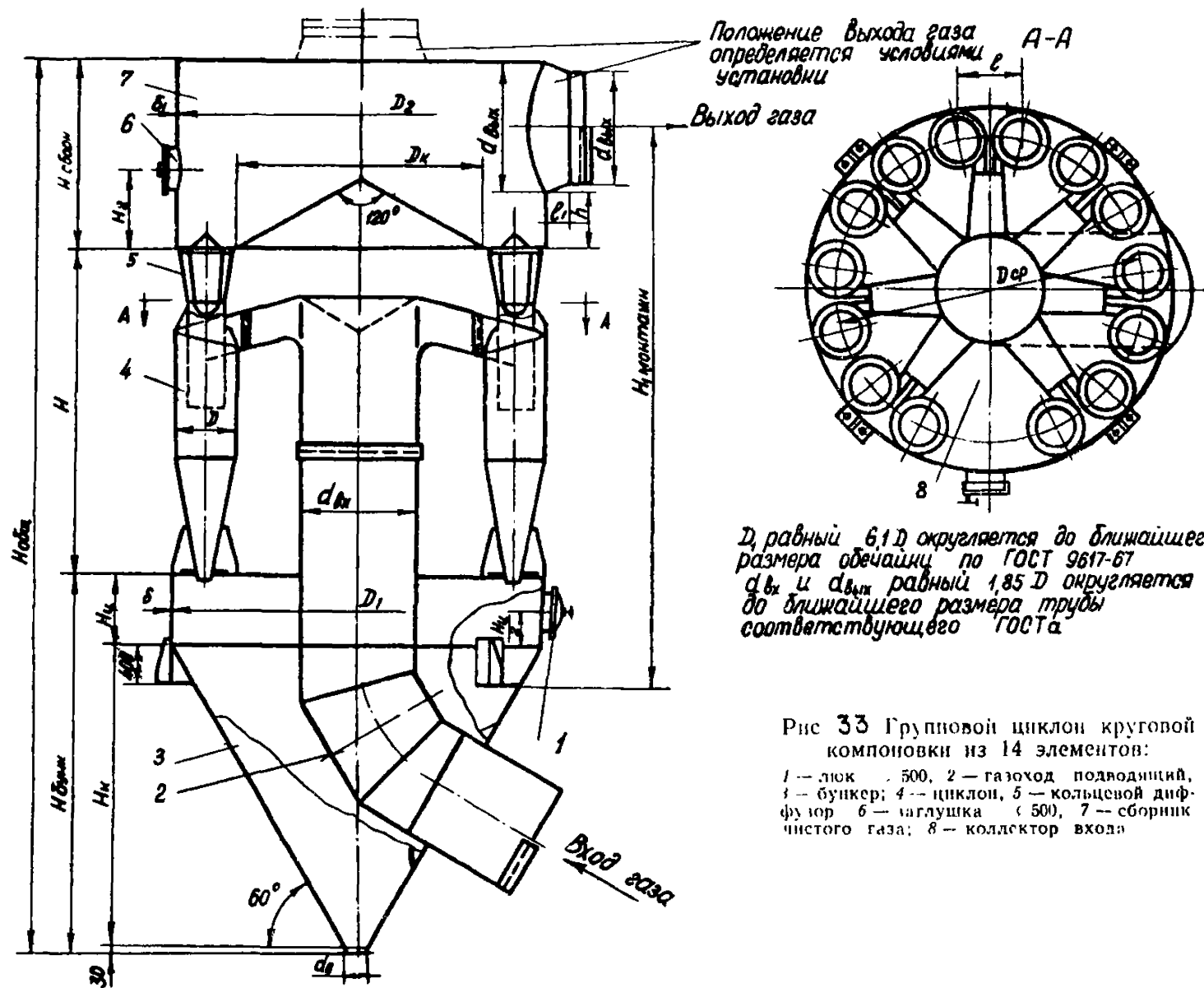


Рис. 32 Групповой циклон круговой компоновки из 12 элементов:  
 1 — люк; 2 — газоход подводящий; 3 — бункер; 4 — циклон; 5 — кольцевой диффузор;  
 6 — заглушка  $\varnothing 500$ ; 7 — сборник чистого газа; 8 — коллектор входа газа





$D$ , равный  $6,1 D$  округляется до ближайшего размера обечайки по ГОСТ 9617-67  
 $d_{вх}$  и  $d_{вн}$  равный  $1,85 D$  округляется до ближайшего размера трубы соответствующего ГОСТа

Рис 33 Групповой циклон круговой компоновки из 14 элементов:

1 — люк  $\varnothing 500$ ; 2 — газоход подводный; 3 — бункер; 4 — циклон; 5 — кольцевой диффузор; 6 — заглушка  $\varnothing 500$ ; 7 — сборник чистого газа; 8 — коллектор входа

Таблица 22

Основные технические характеристики циклонов  
типа ЦН

Показатели	ЦН-11 с диа- метром, мм		ЦН-24 с диа- метром, мм		ЦН-15У с диа- метром, мм	
	100	800	500	1000	200	800
Производитель- ность, м <sup>3</sup> /ч	900	6300	3200	12700	400	6300
Аэродинамическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	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 (ориен- тировочно), руб.	65	210	170	340	84	236

Таблица 23

Характеристика  
типоразмерного ряда циклонов типа ЦН-15

Типоразмер	Производительность, м <sup>3</sup> /ч		Рабочий объем бункера, м <sup>3</sup>	Масса, кг
	при $\omega =$ 2,5 м/с	при $\omega =$ 4 м/с		
ЦН-15-300П	630	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, м <sup>3</sup> /ч		Рабочий объем бункера, м <sup>3</sup>	Масса, кг
	при $\omega = 2,5$ м/с	при $\omega = 4$ м/с		
ЦН-15-1400П	13900	22200	1,42	2180
ЦН-15-300x2УП	1270	2000	0,2	277
ЦН-15-300x2СП	1270	2000	0,2	307
ЦН-15-400x2УП	2300	3600	0,31	456
ЦН-15-400x2СП	2300	3600	0,31	475
ЦН-15-500x2УП	3500	5600	0,5	680
ЦН-15-500x2СП	3500	5600	0,5	675
ЦН-15-600x2УП	5100	8100	0,595	890
ЦН-15-600x2СП	5100	8100	0,595	870
ЦН-15-700x2УП	6900	11100	0,825	1140
ЦН-15-700x2СП	6900	11100	0,825	1110
ЦН-15-800x2УП	9000	14400	1,15	1475
ЦН-15-800x2СП	9000	14400	1,15	1430
ЦН-15-900x2УП	11400	18300	1,45	1830
ЦН-15-900x2СП	11400	18300	1,45	1760
ЦН-15-400x4УП	4500	7200	0,54	850
ЦН-15-400x4СП	4500	7200	0,54	840
ЦН-15-500x4УП	7000	11300	0,77	1225
ЦН-15-500x4СП	7000	11300	0,77	1165
ЦН-15-600x4УП	10200	16300	1,11	1700
ЦН-15-600x4СП	10200	16300	1,11	1615
ЦН-15-700x4УП	13800	22000	1,5	2210
ЦН-15-700x4СП	13800	22000	1,5	2130
ЦН-15-800x4УП	18100	28900	2,27	2870
ЦН-15-800x4СП	18100	28900	2,27	2760
ЦН-15-900x4УП	22800	36600	2,28	3610
ЦН-15-900x4СП	22800	36600	2,28	3450
ЦН-15-500x6УП	10600	16900	1,3	1960
ЦН-15-500x6СП	10600	16900	1,3	1900
ЦН-15-600x6УП	15300	24400	2	2720
ЦН-15-600x6СП	15300	24400	2	2640
ЦН-15-700x6УП	20800	33100	2,67	3550
ЦН-15-700x6СП	20800	33100	2,67	3430

Продолжение таблицы 23

Типоразмер	Производительность, м <sup>3</sup> /ч		Рабочий объем бункера, м <sup>3</sup>	Масса, кг
	при $\omega = 2,5$ м/с	при $\omega = 4$ м/с		
ЦН-15-800x6УП	27100	43300	3,82	4640
ЦН-15-800x6СП	27100	43300	3,82	4440
ЦН-15-900x6УП	34300	54900	5,55	5810
ЦН-15-900x6СП	34300	54900	5,55	5580
ЦН-15-1000x6УП	42600	67800	8	7100
ЦН-15-1000x6СП	42600	67800	8	6780
ЦН-15-500x8УП	14100	22600	2,33	2720
ЦН-15-500x8СП	14100	22600	2,33	2640
ЦН-15-800x8УП	36000	57500	8,3	6650
ЦН-15-800x8СП	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-15Ж-600x2УП.

Таблица 24

Техническая характеристика циклонов  
 типа ЦН-15

Допустимая запыленность газа, г/м <sup>3</sup>	
для слабослипающихся пылей	≥ 1000
для среднеслипающихся пылей	≥ 250
Температура очищаемого газа, °С	400
Аэродинамическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	50
Эффективность очистки, %	55-99,0

Таблица 25

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

Типоразмер	Производительность при $\omega = 2,5 \text{ м/с,}$ $\text{м}^3/\text{ч}$	Объем бункера, $\text{м}^3$	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 $\omega = 2,5 \text{ м/с}$ $\text{м}^3/\text{ч}$	Объем бункера, $\text{м}^3$	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	10300	-	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	35400	-	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, $\text{г/м}^3$	1000
Температура очищаемого газа, $^{\circ}\text{C}$	до 250
Аэродинамическое сопротивление, $\text{кг/м}^2$	350-450
Эффективность очистки от пыли при $d_m = 10 \text{ мкм}$ и плотности $2,7 \text{ г/см}^3$ , %	до 95

Таблица 27

Характеристика типоразмерного ряда циклонов  
типа ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении

Типоразмер	Производительность, м <sup>3</sup> /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, Д - "правое" / "левое" вращение газа в "улитке"; последнее число - диаметр цилиндрической части (мм).

Например: ЦН-15Д-1120.

Таблица 28

Техническая характеристика  
циклонов типа ЦН-15 во взрывобезопасном исполнении

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

Запыленный воздух входит в циклон под углом  $45-50^{\circ}$  через тангенциальный 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 выпускную трубу наружу [4, 5].

Основная техническая характеристика циклонов ИОТТ приведена в табл. 29.

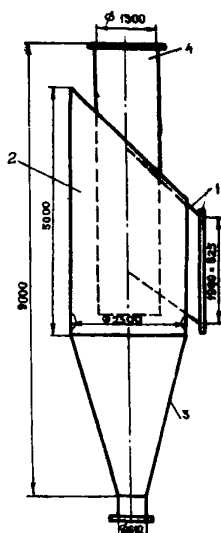


Рис. 34. Циклон ИОТТ

Таблица 29

Основная техническая характеристика циклонов конструкции ИОТТ

Показатели	Циклон I	Циклон 2
Производительность по газу, м <sup>3</sup> /ч	60000	75000
Гидравлическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	80	80
Эффективность очистки, %	98,5	98,5
Габариты, мм:		
диаметр	2360	2700
высота	9000	12000
Масса, кг	5544	5800
Цена, руб.	-	1040

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



### Батарейные циклоны БЦ

Применяются для сухой технологической очистки газа в сушильных установках и системах промышленной вентиляции на углеобогащительных 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 закручивающимися лопатками 4, верхней 3 и нижней 7 решёток, кожуха 6 и верхней панели 2 с теплоизоляцией, подводящего патрубка 9 и бункера 8.

Золосеуловитель 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 спускается 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. 32, основные технические данные - в табл. 31, основные размеры циклонов - в табл. 32.

Таблица 30

Зависимость КПД батарейного циклона БЦ от фракционного состава угольной пыли

Фракция	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 Кузинским машиностроительным заводом.

Изготовитель - Кузинский машиностроительный завод, выпуск серийный.

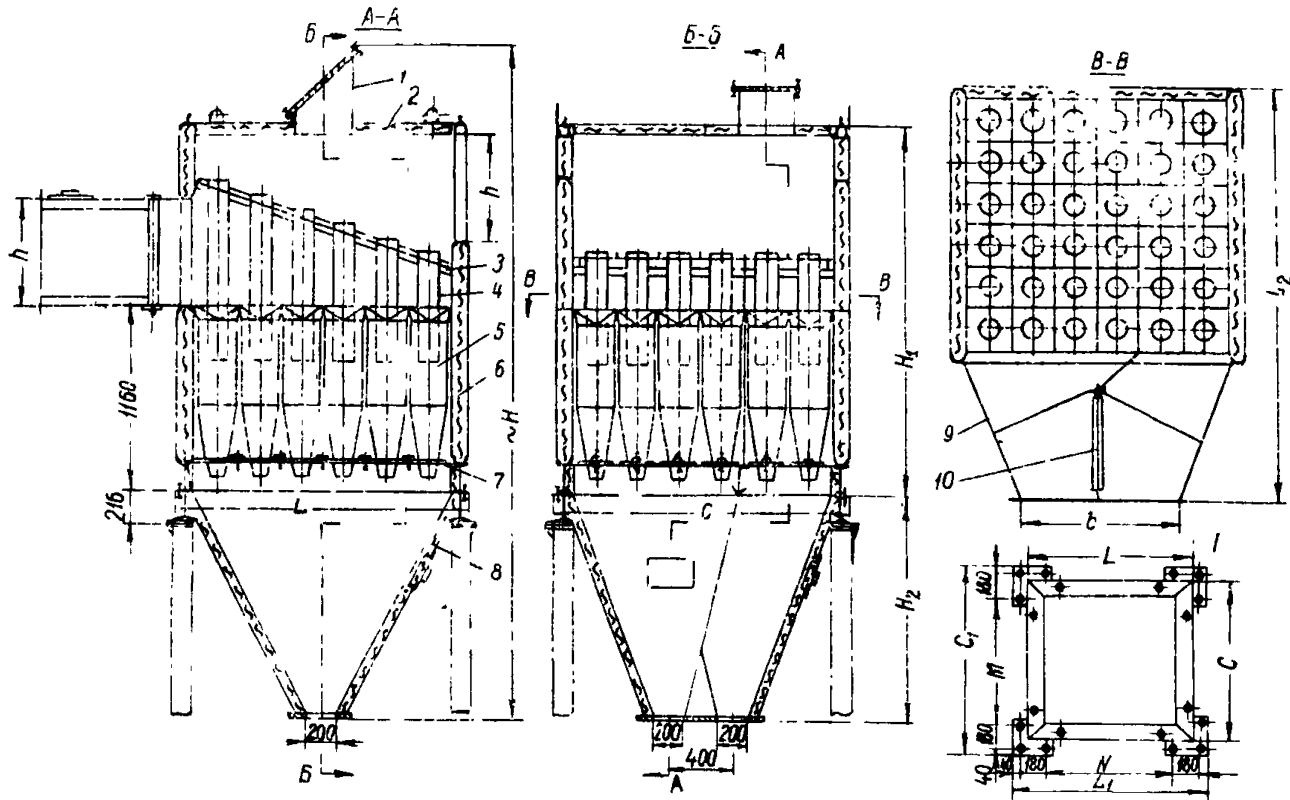


Рис 35 БАТАРЕЙНЫЙ ЦИКЛОН БЦ.

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 <sub>I</sub>	H <sub>2</sub>	C	C <sub>I</sub>	L	L <sub>I</sub>	L <sub>2</sub>	M	N	h	в
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 [11]

Пылеуловитель БЦУ-М (рис. 36) собирается из циклонных элементов 2, имеющих полуулиточный подвод газов с углом охвата улиткой  $180^\circ$ . 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 частей элементов.

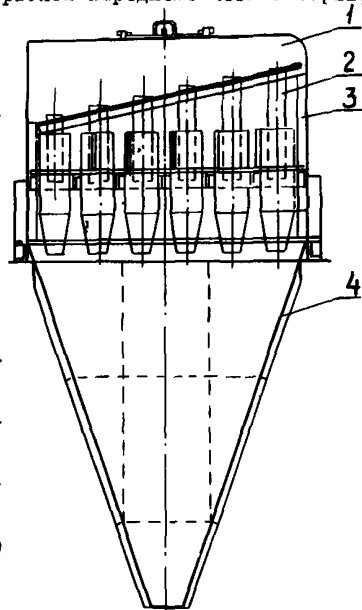


Рис. 36. Батарейный пылеуловитель БЦУ-М

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.

## 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°C, м <sup>3</sup> /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 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>	95,5-99,8 <sup>x</sup>
Аэродинамическое сопротивление, н/м <sup>2</sup> (кгс/м <sup>2</sup> ), 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/м <sup>3</sup> , не более	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600	600
Расчетная температура очищаемого газа, °C	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250
Расчетное давление внутри пылеуловителя, кгс/м <sup>2</sup>	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 <sup>xx</sup>	4000 <sup>xx</sup>	4200 <sup>xx</sup>	4600 <sup>xx</sup>	5000 <sup>xx</sup>	5900 <sup>xx</sup>	5900 <sup>xx</sup>	6300 <sup>xx</sup>	7000 <sup>xx</sup>	8000 <sup>xx</sup>	9000 <sup>xx</sup>	10000 <sup>xx</sup>	11000 <sup>xx</sup>
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

76

<sup>x</sup> Величина указана при условной скорости очищаемого газа в полном сечении циклона 4,2-4,5 м/с для угольной пыли с кажущейся плотностью  $\rho = 1400$  кг/м<sup>3</sup>

<sup>xx</sup> 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 углеобогажительных фабрик [17, 18].

Они состоят (рис. 37, 38) из двух секций, каждая из которых имеет блок циклонов I, 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 раскручивающимися устройствами в виде трехлопасточных 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 <sup>3</sup> /ч	75000	100000
Число циклонов в установке, шт.	12	16
Диаметр циклонов, мм		800
Аэродинамическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	90-110	90-100
Эффективность пылеулавливания, %	94	94
Основные размеры, мм:		
длина	5060	6000
ширина	4250	3640
высота	8280	10420

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°C и скорости газов в аппарате 4,35 м/с).

Изготовитель - филиал № 2 объединения "Каргор-маш" (г. Караганда), выпуск серийный; г. Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средавуголь", 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.

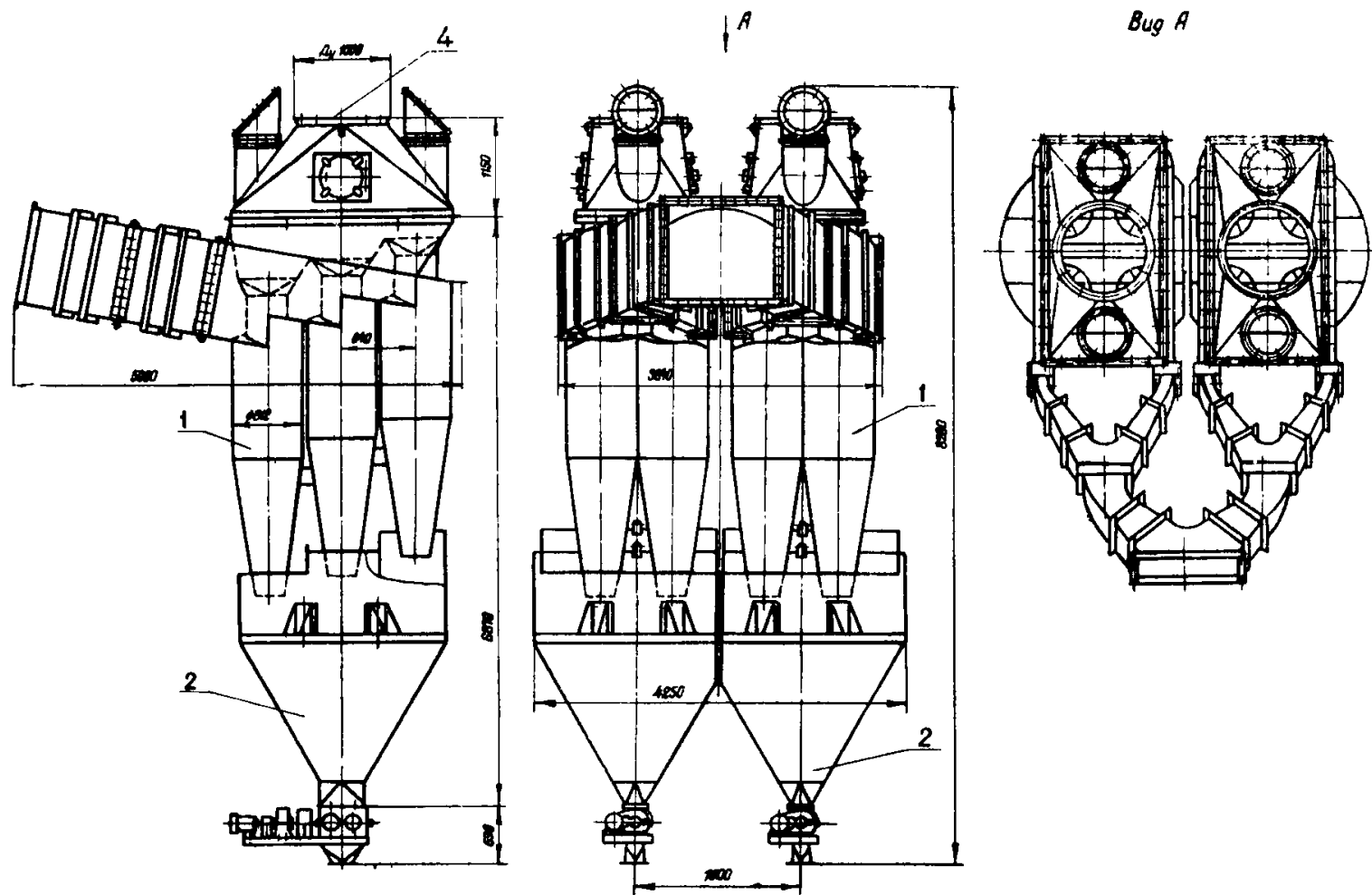


РИС. 37 БАТАРЕЙНЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ БПР-75А



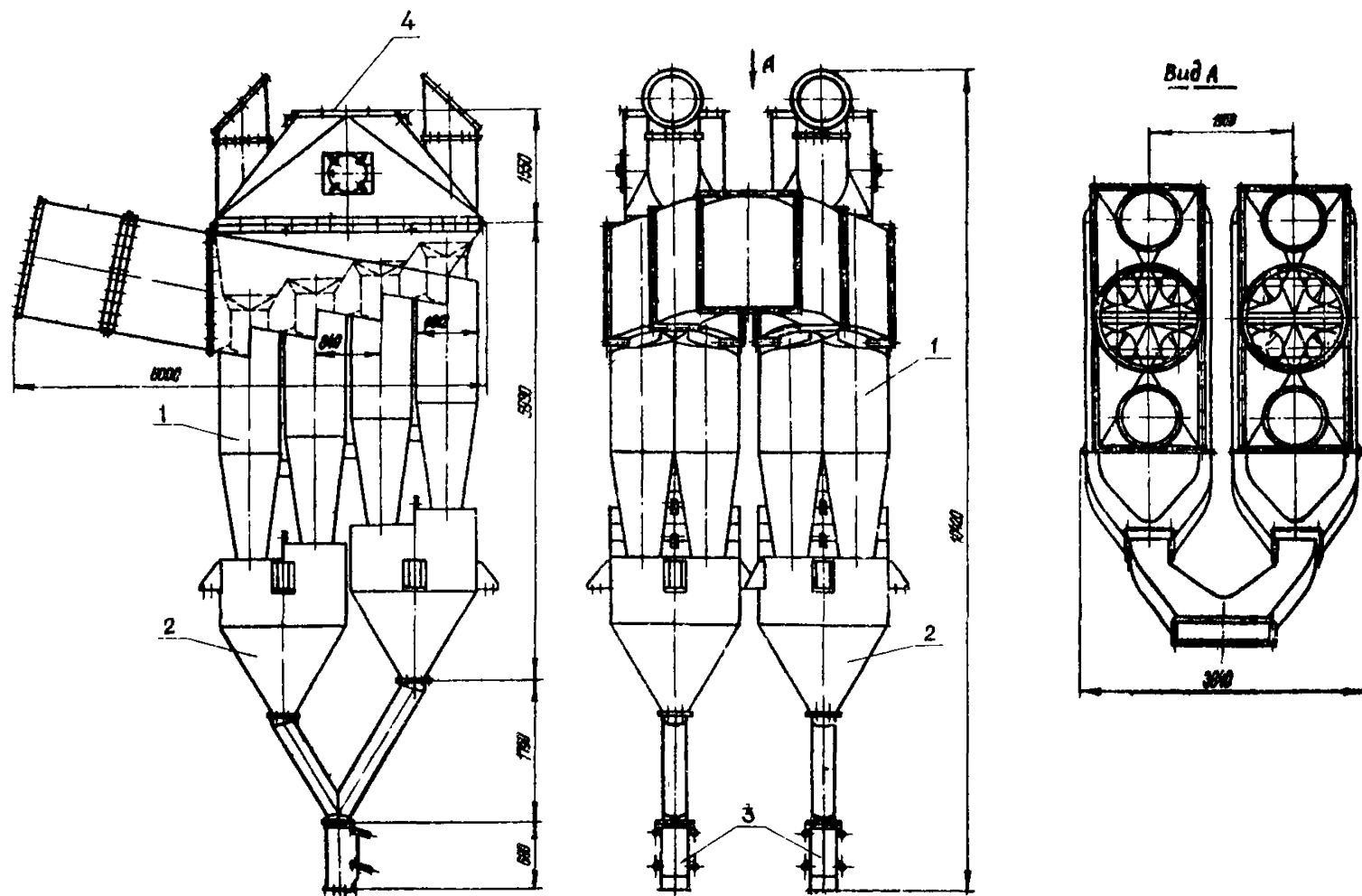


Рис 38 БАТАРЕЙНЫЙ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЬ БПР - 100 А

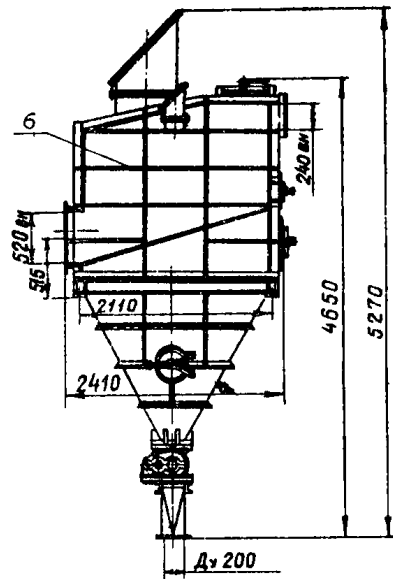
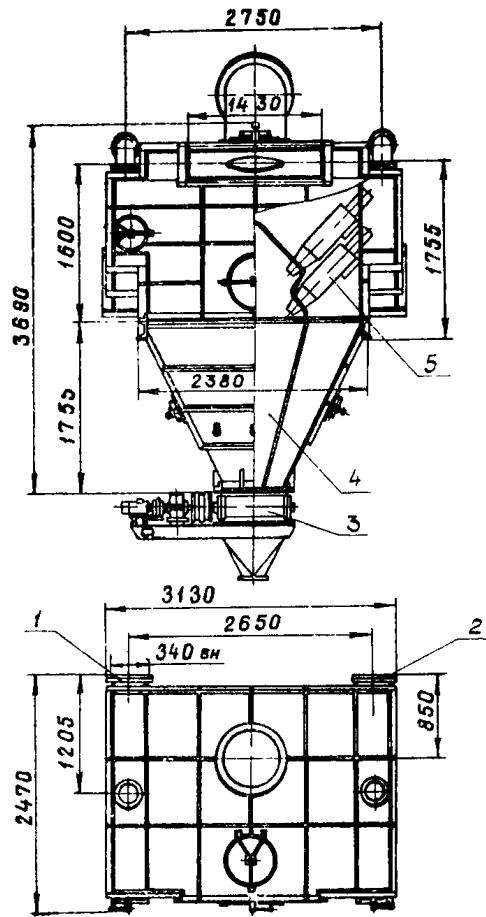


Рис 39. БАТАРЕЙНЫЙ ЦИКЛОН  
ПБЦ-15

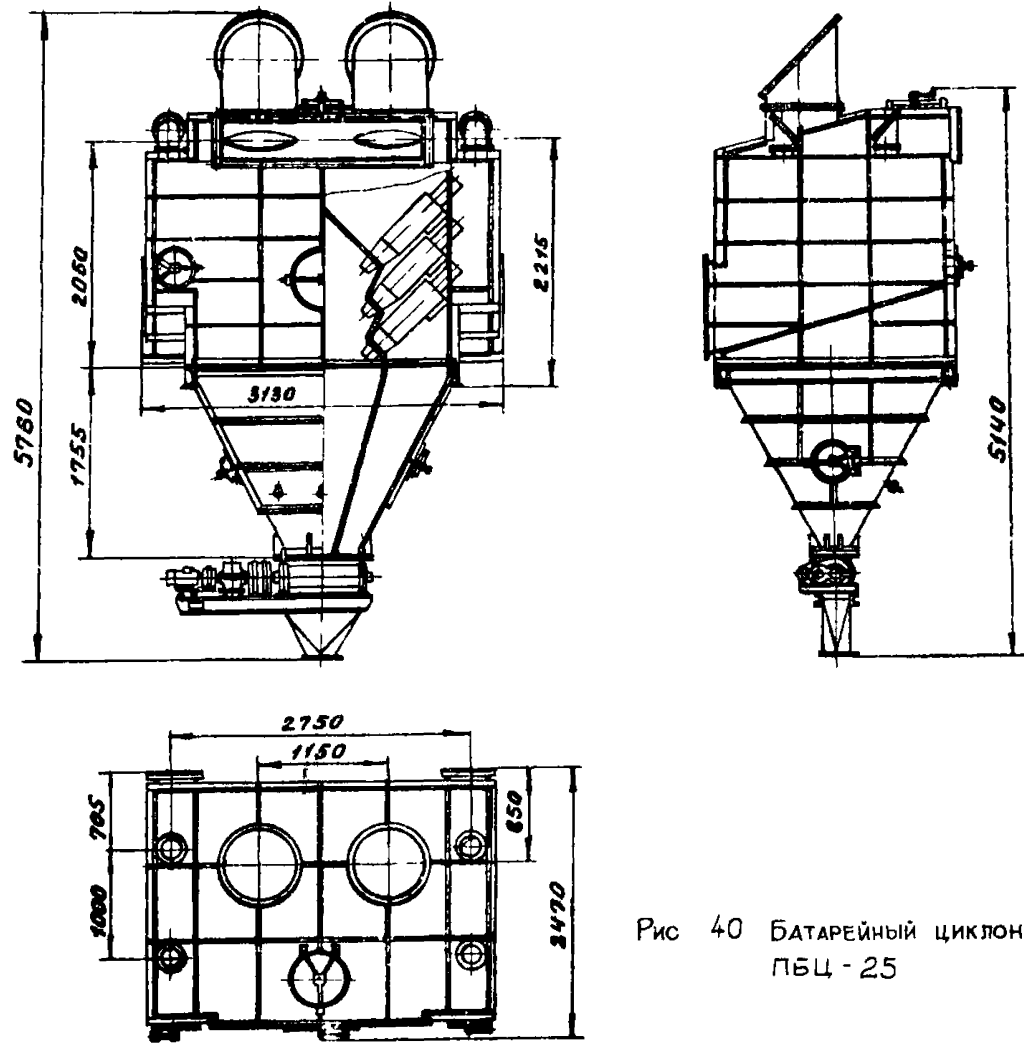


Рис 40 БАТАРЕЙНЫЙ ЦИКЛОН  
ПБЦ - 25

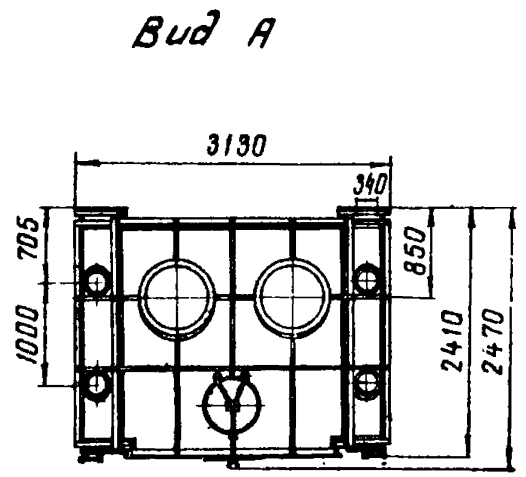
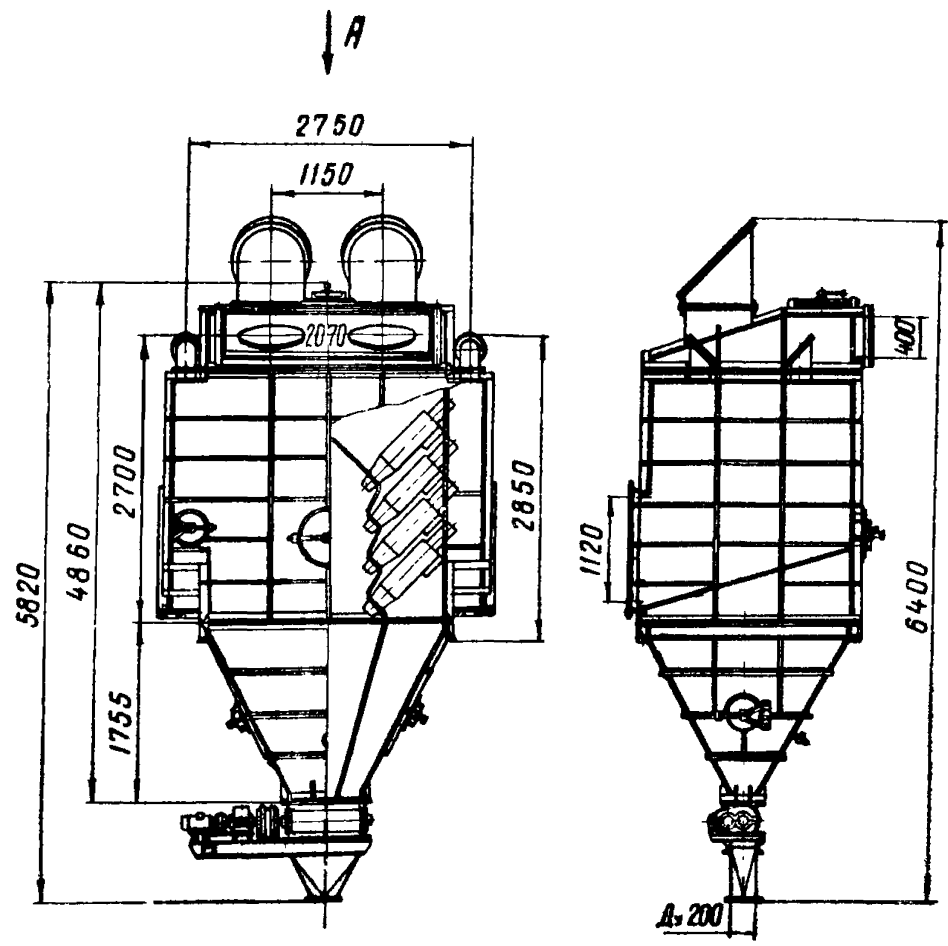


Рис. 41 БАТАРЕЙНЫЙ ЦИКЛОН ПБЦ-35

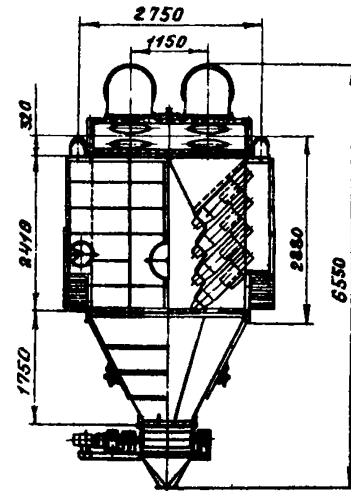
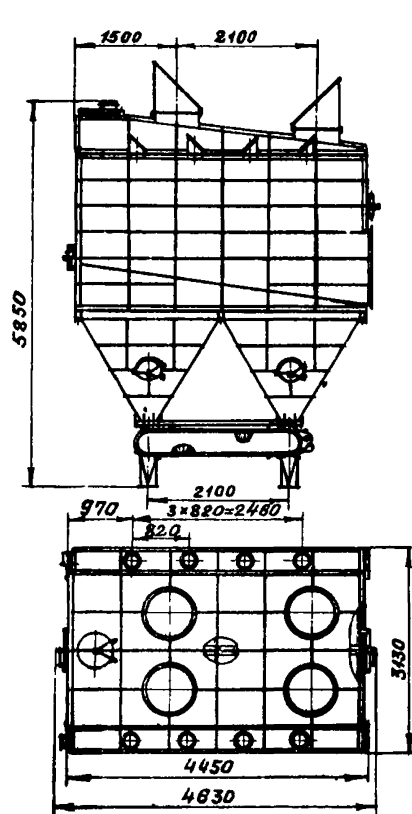


Рис 42. БАТАРЕЙНЫЙ ЦИКЛОН  
ПБЦ - 50

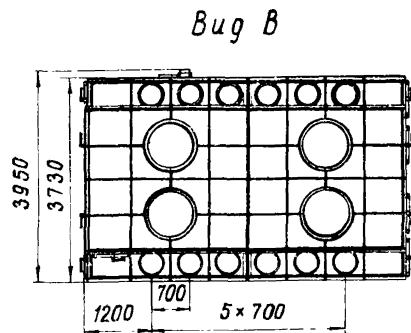
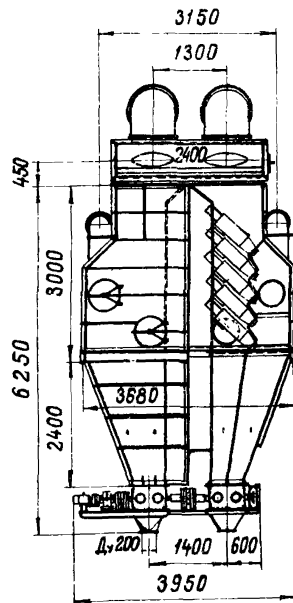
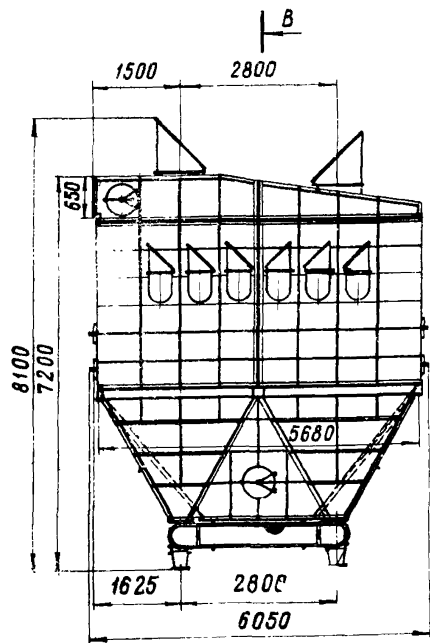


Рис. 43 БАТАРЕЙНЫЙ ЦИКЛОН ПБЦ-100

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 <sup>3</sup> /ч	12000- -15000	25000- -30000	35000- -40000	50000- -60000	до 100000
Число аппаратов, шт.	2	3	4	4	5
Гидравлическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>			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 оставшая 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 пульсы 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 <sup>3</sup> /ч	75000	100000-125000
Расход воды, г/м <sup>3</sup>	≤ 50	-
Диаметр циклона, мм	2500	3000
Аэродинамическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	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<sup>3</sup> 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 "Среднеаз-

уголь", изготавливаются 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<sup>3</sup>. При концентрации пыли свыше 5 г/м<sup>3</sup>

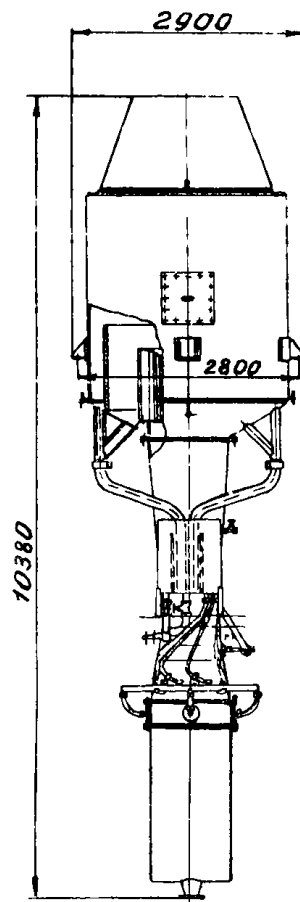
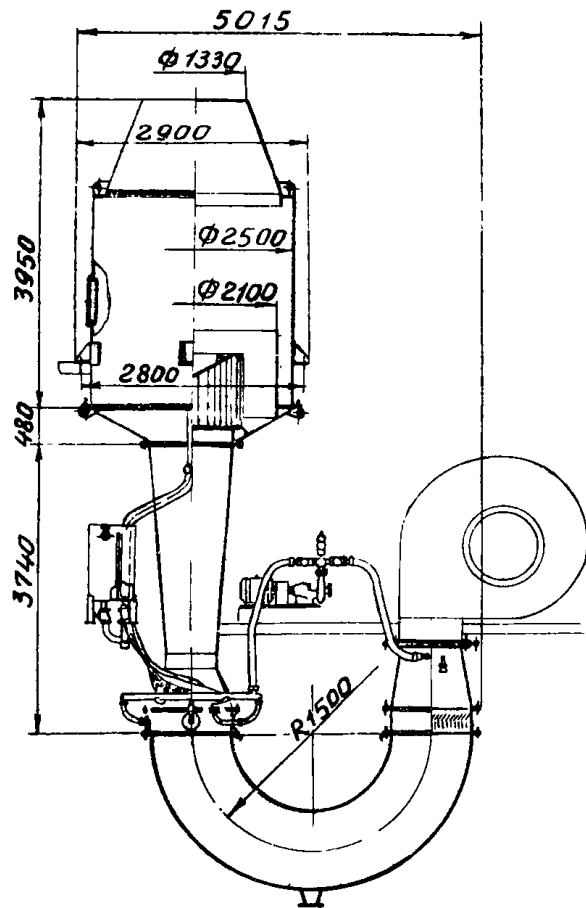


Рис. 44 Мокрый пылеуловитель МПР-75

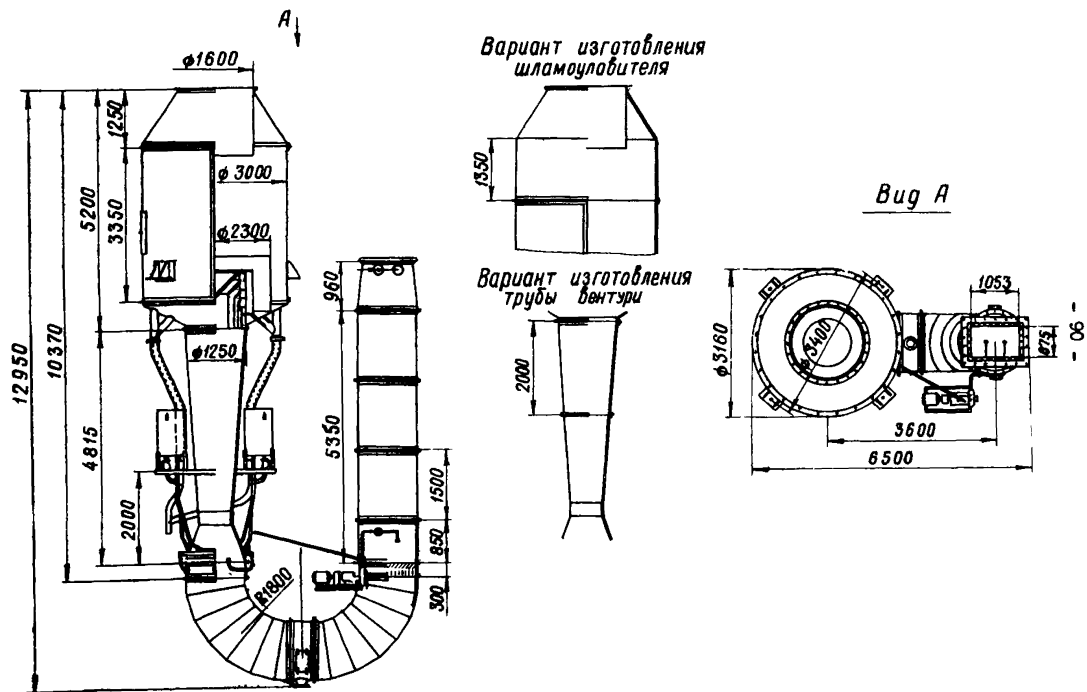


Рис 45 Мокрый пылеуловитель МПР-100

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 водопадающей системы 9. Днище промывателя 6 выполнено в виде вин-

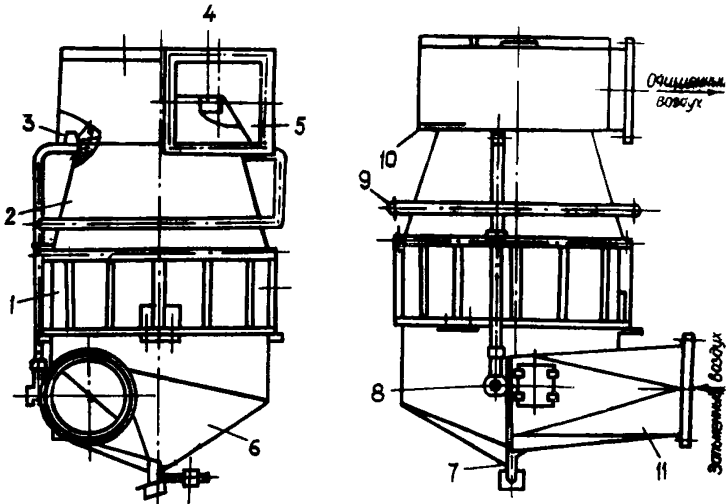


Рис. 46. Скоростной промыватель СИОТ

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 Ю, 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 несжипающих и нецементирующихся пылей [20, 21].

Устройство пылеуловителя показано на рис. 47.

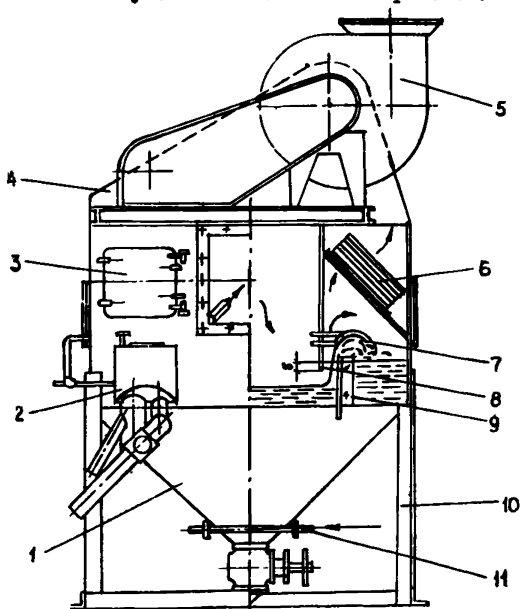


Рис. 47. Принципиальная схема пылеуловителя ПВМ

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 <sup>3</sup> /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 <sup>2</sup>				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 электропит.

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.

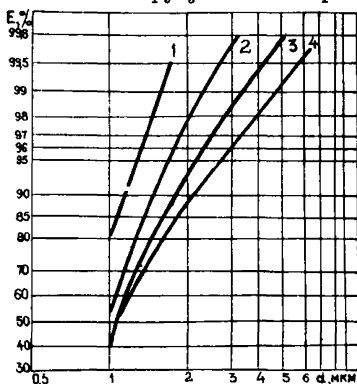


Рис. 48. Зависимость эффективности (E) пылеуловителей ПВМ от фракционного состава (d) при различных уровнях воды 1, 2, 3, 4 - уровень воды 300, 200, 80 и 40 мм соответственно.

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<sup>3</sup> очищаемого воздуха; расход воды в пылеуловителях ПВМК - 5-10 г/м<sup>3</sup>. 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, м <sup>3</sup> /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, м <sup>3</sup>	0,45	1	0,65	1,75	1,45	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 <sup>x</sup>	200-400
Длина перегородок, м	0,8		1,21		2		4		8	
Гидравлическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>										



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	-

<sup>x</sup> Температура очищаемого воздуха  $\leq 40^{\circ}\text{C}$ . Первое значение соответствует запыленности  $\leq 6 \text{ г/м}^3$ , второе -  $15 \text{ г/м}^3$ .

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

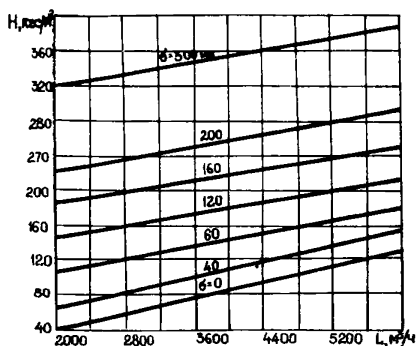


Рис. 49. Зависимость сопротивления (Н) пылеуловителей ПЭМ от расхода воздуха (L) при различных уровнях воды  
1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 - уровень воды 300, 200, 160, 120, 80, 40 и 0 мм соответственно.

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 15% 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 17, горловины 16, диффузора 14 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 легкоразъемным. 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 18. Вода к камере подводится через патрубок 1 и подкольцевой коллектор 19 с двумя штуцерами, приваренными к корпусу камеры.

Каплеуловитель 8 представляет собой циклон типа ЦВП. Он состоит из корпуса с воздухоподводящим патрубком 12 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 10 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-

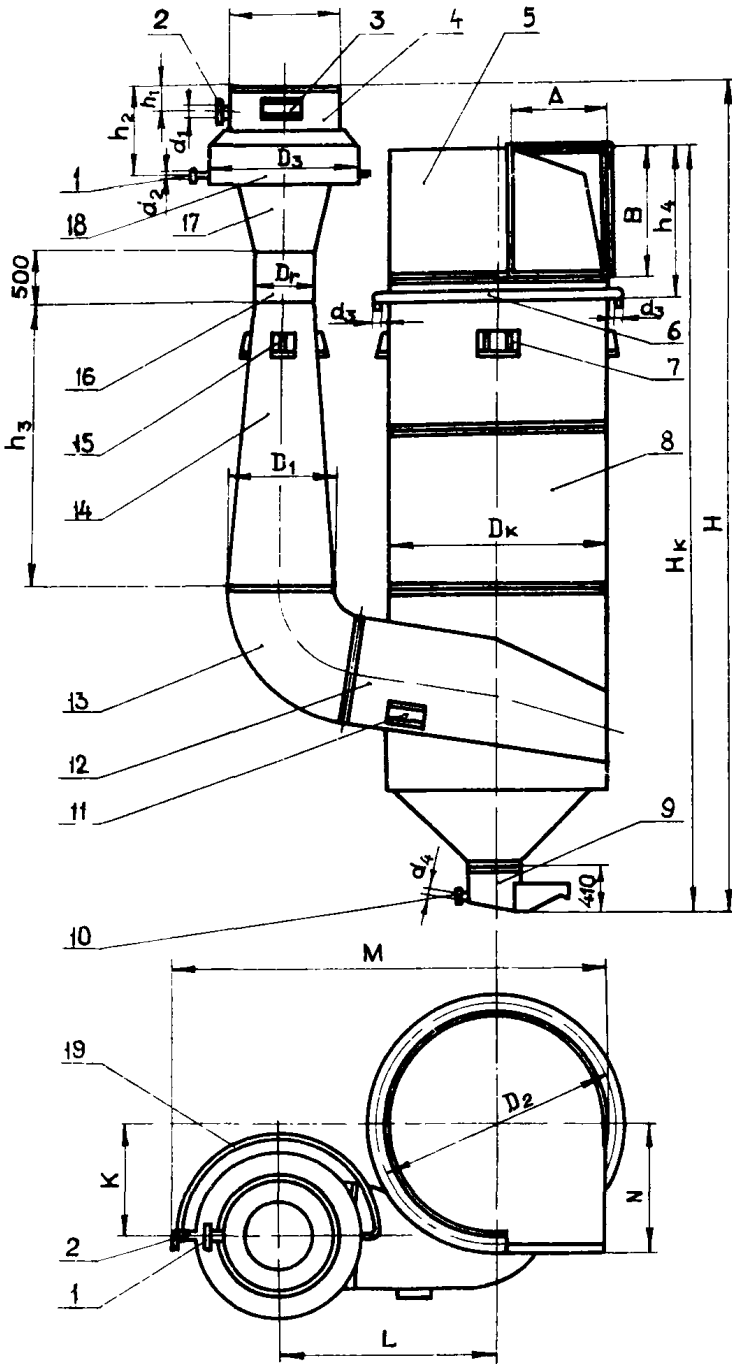


Рис. 50 Коагуляционный пылеуловитель КМП

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-7,1	КМП-8,0	КМП-10,0
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	7100- 12400	16300- 28600	18100- 31700	28300- 49500	44900- 78500	57000- 99700	72300- 126600	113000- 197800
Диаметр горловины трубы Вентури, мм	250	320	400	500	630	710	800	1000
Диаметр пылеуловителя, мм	1200	1440	1800	2120	2520	2920	3220	-
Удельный расход воды, л/м <sup>3</sup>				0,2-0,6				
Скорость воздуха в горло- вине трубы коагулятора, м/с				40-70				
Запыленность поступающего воздуха, не более, г/м <sup>3</sup>				30				
Содержание твердых приме- сей при рециркуляции от- работанной воды не более, г/л				0,5				
Высота, мм	3350	4990	5630	7866	8656	9496	10086	-
Гидравлическое сопротив- ление, кг/м <sup>2</sup>				120-350				
Эффективность улавлива- ния, %				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 15 и 7. Тип и конструкция основания определяются по условиям строительной части.

Основные технические характеристики и размеры пылеуловителей КМП приведены в табл. 41 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- -7,1	КМП- -8,0	КМП- -10,0
$D_r$	250	320	400	500	630	710	800	1000
$D_k$	1000	1200	1500	1900	2300	2700	3000	-
$D_1$	450	500	700	900	1120	1250	1400	1800
$D_2$	1200	1440	1800	2120	2520	2920	3220	-
$D_3$	740	980	1240	1450	1600	1850	2050	2500
$d_1$	50	70	70	80	100	125	125	-
$d_2$	25	32	32	40	40	40	40	-
$d_3$	50	80	80	80	100	100	100	-
$d_4$	20	20	20	25	25	25	25	-
$H$	3350	4990	5630	7866	8656	9496	10086	-
$H_r$	2570	3020	3580	4450	5280	5790	6350	-
$H_k$	4000	4820	5630	6966	7876	9606	10776	-
$h_1$	240	240	240	525	335	370	350	-
$h_2$	620	620	750	1140	1140	1140	1140	-
$h_3$	1120	1440	1800	2250	2030	3100	3600	4500
$h_4$	780	1000	1030	1450	1700	1860	2140	-
$A$	350	410	530	670	810	950	1250	-
$B$	620	750	930	1120	1430	1600	1260	-
$M$	2360	2800	3540	3960	4670	5220	5810	-
$K$	445	590	720	900	1090	1270	1610	-
$E$	1110	1240	1650	1900	2300	2600	2250	-
$N$	600	765	900	1000	1300	1500	1650	-

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. 51) состоит из корпуса I, имеющего патрубки 2 и 4 подвода и отвода газа, соответственно. Внутри корпуса установлены верхние 3 и нижние 8 перегородки.

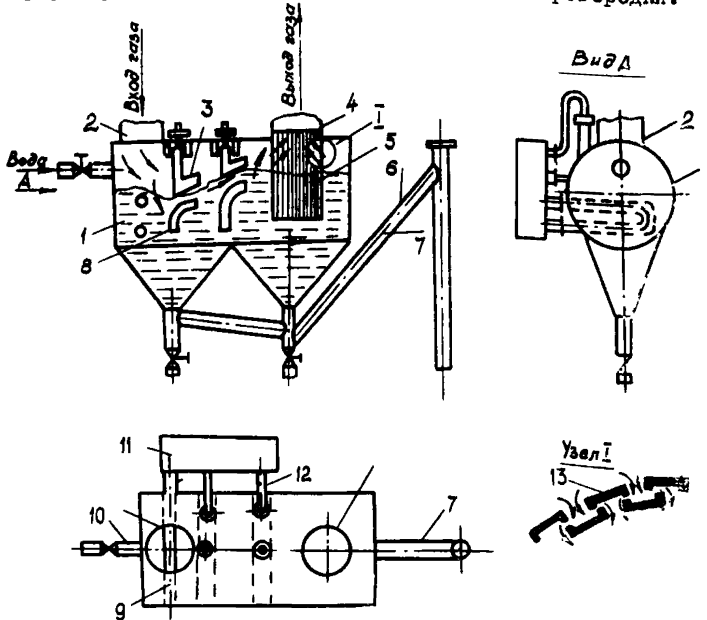


Рис. 51. Ротоклон "Урал"

Верхние перегородки выполнены с возможностью перемещения по вертикали. Каплеуловитель 5 выполнен в виде жалюзийной концентрической решетки из швеллеров 13. Для слива отработанной жидкости предусмотрен гидрозатвор 6 и дроссельный клапан 7. Перегородки 3 и 8 выполнены полыми и снабжены трубопроводами 9 и 12 подачи теплоносителя, которые соединены с холодильником 11. Для подвода жидкости предусмотрен патрубок 10.

Ротоклон "Урал" работает следующим образом.

Загрязненный газ с температурой до  $500^{\circ}\text{C}$  и содержанием пыли  $\leq 100 \text{ г/м}^3$  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<sup>2</sup> 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<sup>3</sup> и температурой 10-20 °С направляется через каплеуловитель 5 в патрубок отвода газа.

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

1. Низкие капитальные и эксплуатационные затраты на очистку газа. Сметная стоимость ротоклона производительностью 10-15 тыс. м<sup>3</sup>/ч составляет 600 руб., себестоимость очистки 1000 м<sup>3</sup> 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 удаляемую 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<sup>3</sup> газа).

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

Таблица 43

Основные технические характеристики ротоклонов "Урал"

Показатели	1	2	3
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	10000-15000	30000-40000	60000-80000
Температура поступающих газов не более, °С	500	500	500
Запыленность поступающих газов не более, г/м <sup>3</sup>	100	100	100
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч	0,6-6	0,6-6	0,6-6
Гидравлическое сопротивление не более, кгс/м <sup>2</sup>	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 нецементирующей 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 шламосгоняющий конус 6, который при заполнении шламом образует гидравлический затвор.

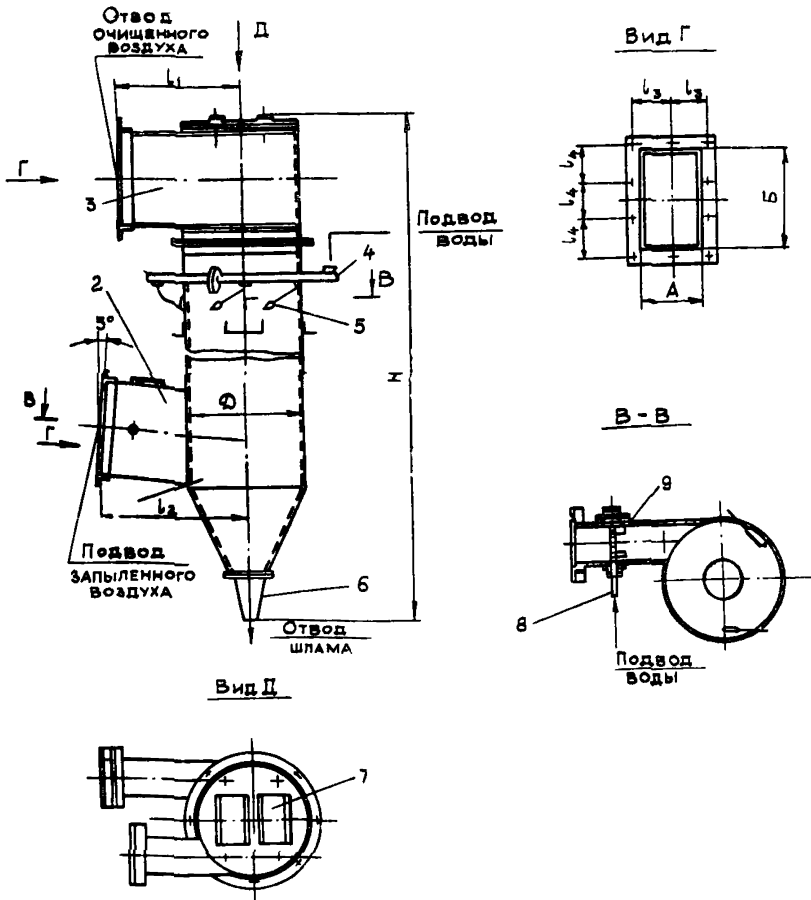


Рис. 52. Циклон с водяной пленкой типа ЦВП

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<sup>3</sup>. При больших значениях пылесодержания эти циклоны рекомендуются в качестве второй ступени очистки.

Циклоны устанавливаются в помещениях с температурой не ниже 2°C. 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 "Проект-промвентиляция" (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 I 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 <sup>3</sup> /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 <sup>2</sup>	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 <sup>3</sup>	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	

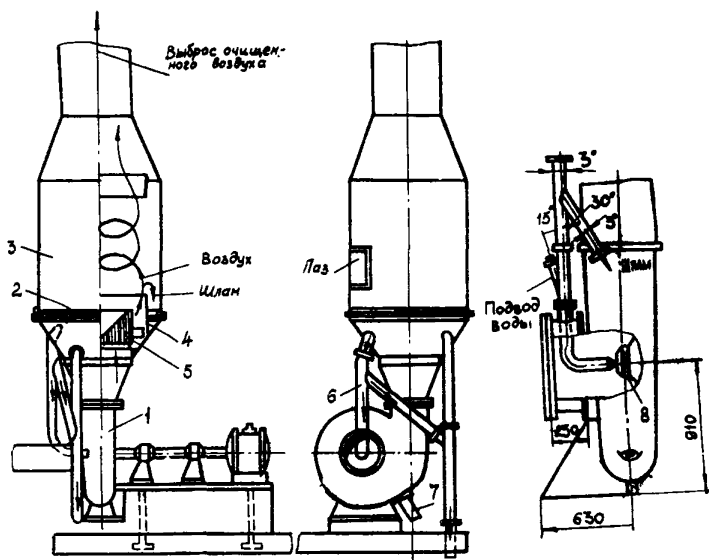


Рис. 53. Пылеуловитель ПМ-35А

Принцип действия пылеуловителя следующий. На турбину, смонтированную 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 стбрасывается 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 смываемости 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.

Основные технические характеристики прямооточного пылеуловителя ПМ-35А

Производительность, м <sup>3</sup> /ч . . . . .	≈ 35000
Запыленность поступающего газа, г/м <sup>3</sup> . . . . .	2-4
Развиваемый напор, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	450
Электродвигатель:	
тип . . . . .	ВАО-101-4
мощность, кВт . . . . .	125
Расход воды, м <sup>3</sup> /ч. . . . .	2,5
Габариты, мм:	
длина . . . . .	2945
ширина . . . . .	2500
высота . . . . .	6984
Гидравлическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup> . . . . .	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<sup>3</sup> очищаемого газа и скорости газа перед решёткой сепаратора 22 м/с.

Разработчик - институт Укрниуглесобогащение.

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 [17, 21, 27] .

Фильтр РФГ (рис. 54) состоит из корпуса 1, 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 1 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 [17] .

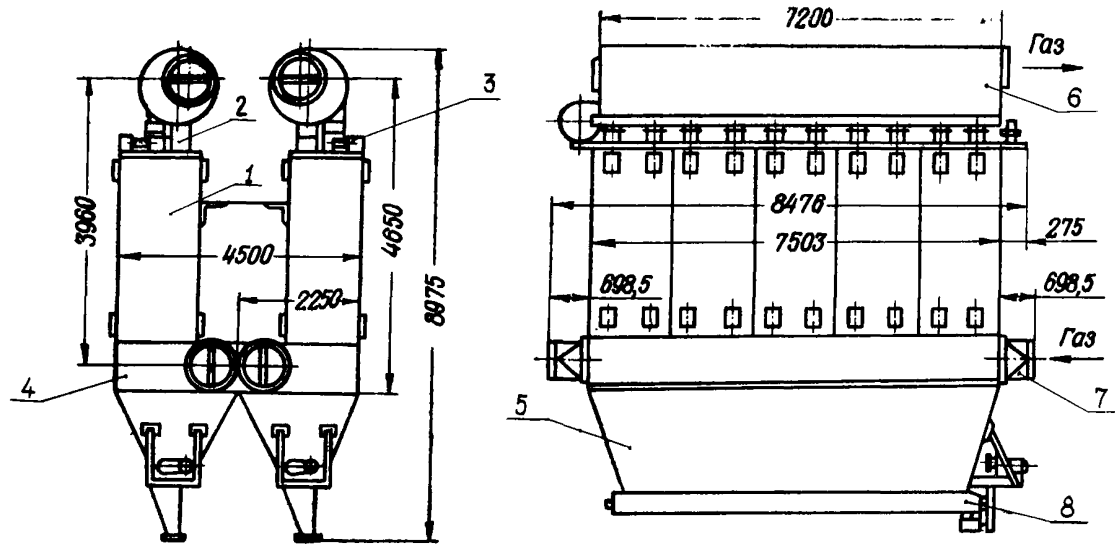


Рис. 54 Рукавный фильтр РФГ десятисекционный сдвоенный.



Таблица 47

## Основные технические характеристики рукавных фильтров РФГ

Показатели	Одинарный фильтр				Сдвоенный фильтр			
	1120	18900	22300	28000	22300	33500	44700	56000
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	112	163	224	280	224	336	448	560
Поверхность фильтрации, м <sup>2</sup>	4	6	8	10	8	12	16	20
Число секций, шт.	56	84	112	140	112	168	224	280
Количество рукавов, шт.	11,5	11,5	11,5	11,5	23	23	23	23
Общая установочная мощность электродвигателей, квт	Нитрон марки НЦМ или сукно фильтровальное № 2 (ГОСТ 6986-69)							
Материал рукава								
Размеры рукавного фильтра, мм:								
диаметр	220				220			
длина	3100				3100			
Размеры фильтра, мм:								
длина	3003	4503	6003	7503	3003	4503	6003	7503
ширина	2250				4500			
высота	8975				8975			
Гидравлическое сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	80-90				80-90			
Эффективность очистки, %	99				99			
Масса аппарата, кг	6920	9600	12300	15400	14212	19792	25344	31575
Стоимость, руб.	5000	6900	8700	10500	9800	13600	17200	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, карманных рукавов 8, шипового затвора 9.

При работе фильтра запыленный газ через входной патрубок подается в камеру, в которой находится фильтрующая 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.

Регенерация рукавов осуществляется стряхиванием и обратной продувкой очищенного газа. Расход воздуха на регенерацию составляет 0,1-0,2% количества очищаемого газа.

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

Удельная нагрузка на фильтровальную ткань составляет 1,5-2,5 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·мин., а при повышенном расходе сжатого воздуха 4 м<sup>3</sup>/м<sup>2</sup>·мин.

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

Техническая характеристика фильтров ФРКИ приведена в табл. 48.

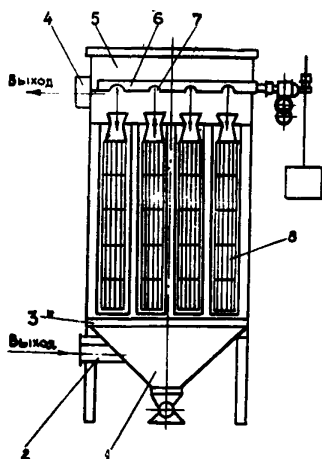


Рис. 55. Рукавный фильтр с импульсной продувкой ФРКИ

Технические характеристики фильтров ФРКИ

Показатели	ФРКИ-30	ФРКИ-60	ФРКИ-90	ФРКИ-180	ФРКИ-360
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	1700-3500	3500-7100	5300-10600	10600-21300	21300-42700
Поверхность фильтрации, м <sup>2</sup>	30	60	90	180	360
Максимальное давление (разрежение) в фильтре, кг/м <sup>2</sup>			500		
Давление воздуха для регенерации рукавов, мПа			0,6		
Максимальная температура очищаемых газов, °С			130		
Температура газа на выходе, °С	Выше точки росы очищаемого газа на 10-20 °С				
Скорость фильтрации, м/с	0,0165-0,033				
Запыленность газа на входе, Г/м <sup>3</sup> , не более	50				
Длина рукава, мм	2000	2000	2000	3000	3000
Диаметр рукава, мм	135				
Материал рукава	Лавсан				
Габариты, мм:					
длина	1460	2820	4140	5480	5850
ширина	2060	2060	2060	2060	4370
высота	3620	3620	3620	4620	4880
Эффективность очистки, %	99,9				
Масса фильтра, кг, не более	1440	2560	3680	5680	11130
Стоимость фильтра без рукавов, руб.	1545	2441	3318	4892	9216

Разработчик - Семibrатовский филиал института НИИОГАЗ (Семibrатово Ярославской области).

Изготовитель - Семibrатовский 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 Г7, 2Г, 2Г..

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.

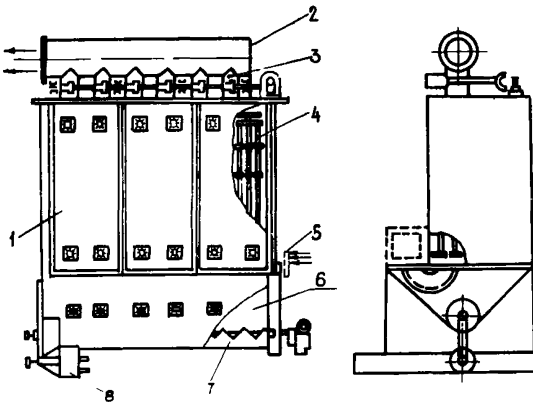


Рис. 56. Фильтры всасывающие рукавные ФВК

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 <sup>3</sup> /ч	1500	3000	4500
Фильтрующая поверхность, м <sup>2</sup>	30	60	90
Количество секций, шт.	2	4	6
Количество рукавов, шт.	36	72	108
Диаметр рукавов, мм	135	135	135
Разрежение воздуха внутри фильтра, кг/м <sup>2</sup> , не более	250	250	250
Сопротивление фильтра перед регенерацией ткани, кг/м <sup>2</sup> , не более	190	190	190
Температура очищаемого воздуха, °С, не более	80	80	80
Запыленность очищаемого воздуха, г/м <sup>3</sup> , 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		

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	1700	2800	3900
ширина	1690	1690	1690
высота	3910	3910	3910
Эффективность очистки, %		99	
Масса, кг	1050	1690	2300
Стоимость, руб.	820	1330	1830

Изготовитель - Киевский завод цементного машиностроения им.Калинина. С 1978 года выпуск этих аппаратов прекращён.

#### ФИЛЬТР РУКАВНЫЙ ВЫСОКОВАКУУМНЫЙ ФВС-45

Предназначен для очистки воздуха от пыли [27].

Фильтр (рис. 57) состоит из станины 1, 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 шиловых затворов 6 с электроприводами.

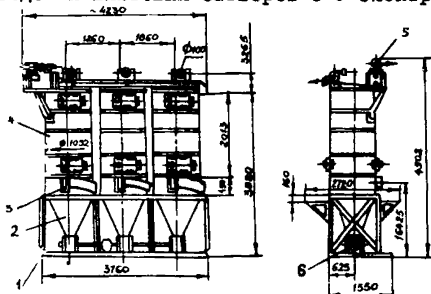


Рис. 57. Фильтр рукавный высоковакуумный ФВС-45

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

Загрязненный воздух по воздухоотводу подается в приемные патрубки циклонов. Крупные частицы пыли оседают в кобусе, 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<sup>2</sup>.

Технические характеристики фильтра приведены в табл. 50.

Таблица 50

Технические характеристики высокоэффективного фильтра

Показатели	ФБ-45
Производительность по воздуху (нормальная), м <sup>3</sup> /ч	3000
Поверхность фильтрации, м <sup>2</sup>	45
Количество рукавов, шт.	
в секции	16
в фильтре	48
Размеры рукава, мм	
длина	1850
диаметр	172

Показатели	ФВС-45
Материал рукава	книза № 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 <sup>2</sup>	120+150
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

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

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

$g$  - ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ ;

$\rho_t$  - плотность материала частицы,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\rho$  - плотность среды,  $\text{кг/м}^3$ ;

$\mu$  - динамическая вязкость газа,  $\text{н}\cdot\text{с/м}^2$ .

Так как в случае газов  $\rho_t$  в сотни раз больше  $\rho$ , то последней можно пренебречь,

$$W_n = \frac{d^2 \cdot g}{18\mu} \rho_T, \text{ м/с.} \quad (2)$$

Площадь камеры определяется по формуле

$$S = \frac{V}{3600 W_n}, \text{ м}^2, \quad (3)$$

где  $V$  - объем газа, проходящего через камеру за 1 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<sup>3</sup>/ч. Температура газов 600°С. Плотность пыли 2500 кг/м<sup>3</sup>. 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

$$W_n = \frac{d^2 \cdot g}{18\mu} \rho_T, \text{ м/с,}$$

находится скорость осаждения (скорость витания) частиц размером 40 мкм, плотность 2500 кг/м<sup>3</sup> при  $t = 600^\circ\text{C}$ . Вязкость газов при этой температуре (табл. 5I) равна

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

Таблица 5I

Динамическая вязкость воздуха, мкн·с/м<sup>2</sup><sup>x</sup>

Температура, °С	Вязкость, $\mu$	Температура, °С	Вязкость, $\mu$	Температура, °С	Вязкость, $\mu$
0	17,1	100	21,7	600	39,2
10	17,7	140	23,5	800	44,4
20	18,2	180	24,9	1000	49,5
40	19,2	250	27,8	1200	53,9
60	20,1	300	29,7	1400	57,5
80	20,9	400	32,8	1800	65,5

<sup>x</sup> 1 н·с/м<sup>2</sup> = 10П

Отсюда

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

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

принимая скорость газа в камере по горизонтальному направлению равной 1 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  $\frac{18 \cdot 0}{4,0} = 4,5$  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 1 м/с, ширина камеры составит, как и ранее,  $\frac{18}{4} = 4,5$  м. В то же время площадь одной полки  $\frac{317}{20} = 16 \text{ м}^2$ , 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.

## РАСЧЕТ ЦИКЛОНОВ НИИОГАЗ .

### I. Исходные данные

Для вычисления эффективности очистки газов в циклонах НИИОГАЗ, их гидравлического сопротивления и размеров необходимо располагать следующими исходными данными [15, 29] :

объемный расход очищаемых газов,  $Q_p$  , м<sup>3</sup>/с;

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

содержание водяных паров в газах,  $m$  , кг/м<sup>3</sup> (н.у.);

содержание в газах паров агрессивных жидкостей, кг/м<sup>3</sup>(н.у.);

запыленность поступающих газов,  $z$  , Ю<sup>-3</sup> кг/м<sup>3</sup>;

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

сведения о слипаемости пылей;

плотность пыли,  $\rho_n$  , кг/м<sup>3</sup>;

плотность газов,  $\rho_t$  , кг/м<sup>3</sup>;

вязкость газов,  $\mu$  ,  $\frac{\text{Н}\cdot\text{С}\cdot\text{с}}{\text{м}^2}$  ;

допустимое гидравлическое сопротивление циклонного аппарата,  $\Delta P$  , н/м<sup>2</sup>;

давление газов на входе в аппарат,  $B$ , н/м<sup>2</sup>;

требуемая степень очистки газов,  $\eta$  , %;

периодичность выгрузки пыли;

допускаемые габариты циклонного аппарата, мм.

### 2. Расчет степени очистки газов

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

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

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

$$\epsilon = \frac{G_{\text{вых.}}}{G_{\text{вх.}}} \cdot 100 = \frac{G_{\text{вх.}} - G_{\text{ул.}}}{G_{\text{вх.}}} \cdot 100, \quad (5)$$

$$\epsilon = 100 - \eta.$$

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:

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

Фракционная степень очистки может быть также определена по выражению

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

где  $\Phi_{\text{ул. } i}$  и  $\Phi_{\text{вх. } i}$  - 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.

$$\eta = \frac{1}{100} \sum_i (\eta_{\text{фр. } i} \cdot \Phi_i) = \frac{\eta_{\text{фр. } 1} \cdot \Phi_1}{100} + \frac{\eta_{\text{фр. } 2} \cdot \Phi_2}{100} + \dots + \frac{\eta_{\text{фр. } n} \cdot \Phi_n}{100} \quad (8)$$

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

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

$i$  - порядковый номер фракции, изменяющийся от 1 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 10 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.

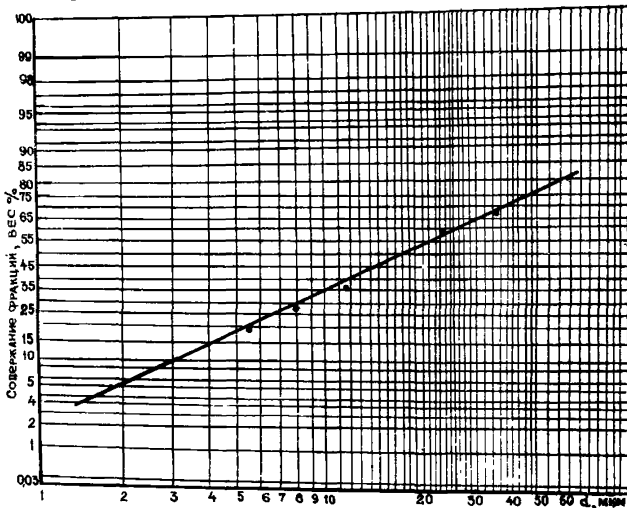


Рис. 58. Фракционный состав кварцевой пыли, определенный методом жидкостной седиментации с автоматической фиксацией накопления осадка

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  $\sigma^2$ . 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

$$G^2 = \ell g^2 \frac{d_{84}}{d_{50}} \approx \frac{d_{50}}{d_{16}},$$

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:

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

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:

$$x = \frac{\ell g \frac{d'}{d_{50c} \cdot K \cdot 10^3 \cdot \sqrt{D} \cdot \mu / \rho_n \cdot W_{\text{ц}}}}{G_{\text{ц}}} \quad (10)$$

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

$G_{\text{ц}}$  - величина, характеризующая дисперсию частиц, улавливаемых циклоном (определяется из табл. 53);

$W_{\text{ц}}$  - условная скорость в плане корпуса циклона, м/с.

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

$$W_{\text{ц}} = \frac{Q_p}{\frac{\pi D^2}{4}}, \quad \text{м/с} \quad (11)$$



Таблица 53

Расчетные параметры циклонов НИИОГАЗ

Параметры	ЦН-II	ЦН-15	ЦН-15У	ЦН-24	СДК-ЦН-33	СК-ЦН34
K	41,4	41,4	41,4	46,9	34,97	34,97
$d_{50\mu}$	2,47	3,06	3,48	4,71	1,428	1,297
$b_{\mu}$	0,3979	0,3979	0,3979	0,3979	0,4281	0,41555
$c_{\mu}^2$	0,158	0,158	0,158	0,158	0,183	0,1732
$W_{расч}$	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-

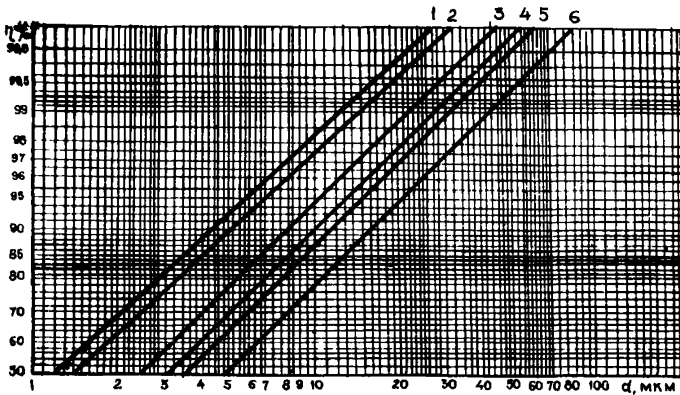


Рис. 59. Фракционная эффективность циклонов НИИОГАЗ ( $\phi_{\mu} = 300$  мм, пыль - кварц,  $\rho = 2670$  кг/м<sup>3</sup>,  $d_{50} = 13$  мкм)  
 1 - СК-ЦН-34, 2 - СДК-ЦН-33, 3 - ЦН-II,  
 4 - ЦН-15, 5 - ЦН-15У, 6 - ЦН-24

ческих циклонов при  $W_{\mu} = 3,5$  м/с, для СДК-ЦН при  $W_{\mu} = 2$  м/с и СК-ЦН-34 при  $W_{\mu} = 1,75$  м/с. Полная эффективность очистки

Таблица 52

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
0,00	0,0000	36	0,2812	72	0,5285
01	0,0080	37	0,2886	73	0,5346
02	0,0160	38	0,2961	74	0,5407
03	0,0239	39	0,3035	0,75	0,5467
04	0,0319	0,40	0,3108	76	0,5527
0,05	0,0399	41	0,3182	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	0,3401	0,80	0,5763
09	0,0717	0,45	0,3473	81	0,5821
0,10	0,0797	46	0,3545	82	0,5878
11	0,0876	47	0,3616	83	0,5935
12	0,0955	48	0,3688	84	0,5991
13	0,1034	49	0,3759	0,85	0,6047
14	0,1113	0,50	0,3829	86	0,6102
0,15	0,1192	51	0,3899	87	0,6157
16	0,1271	52	0,3969	88	0,6211
17	0,1350	53	0,4039	89	0,6265
18	0,1428	54	0,4108	0,90	0,6319
19	0,1507	0,55	0,4177	91	0,6372
0,20	0,1585	56	0,4245	92	0,6424
21	0,1663	57	0,4313	93	0,6475
22	0,1741	58	0,4381	94	0,6528
23	0,1819	59	0,4448	0,95	0,6579
24	0,1897	0,60	0,4515	96	0,6629
0,25	0,1974	61	0,4581	97	0,6680
26	0,2051	62	0,4647	98	0,6729
27	0,2128	63	0,4713	99	0,6778
28	0,2205	64	0,4778	1,00	0,6827
29	0,2282	0,65	0,4843	01	0,6875
0,30	0,2358	66	0,4907	02	0,6923
31	0,2434	67	0,4971	03	0,6970
32	0,2510	68	0,5035	04	0,7017
33	0,2586	69	0,5098	1,05	0,7063
34	0,2661	0,70	0,5161	06	0,7109
0,35	0,2737	71	0,5223	07	0,7154

Продолжение таблицы 52

x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$	x	$\Phi(x)$
08	0,7199	44	0,8501	1,80	0,9281
09	0,7243	1,45	0,8529	81	0,9297
1,10	0,7287	46	0,8557	82	0,9312
11	0,7330	47	0,8584	83	0,9328
12	0,7373	48	0,8611	84	0,9342
13	0,7415	49	0,8638	1,85	0,9357
14	0,7457	1,50	0,8664	86	0,9371
1,15	0,7499	51	0,8690	87	0,9385
16	0,7540	52	0,8715	88	0,9399
17	0,7580	53	0,8740	89	0,9412
18	0,7620	54	0,8764	1,90	0,9426
19	0,7660	1,55	0,8789	91	0,9439
1,20	0,7699	56	0,8812	92	0,9451
21	0,7737	57	0,8836	93	0,9464
22	0,7775	58	0,8859	94	0,9476
23	0,7813	59	0,8882	1,95	0,9488
24	0,7850	1,60	0,8904	96	0,9500
1,25	0,7887	61	0,8926	97	0,9512
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	1,65	0,9011	05	0,9596
1,30	0,8064	66	0,9031	10	0,9643
31	0,8098	67	0,9051	15	0,9684
32	0,8132	68	0,9070	20	0,9722
33	0,8163	69	0,9090	2,25	0,9756
34	0,8198	1,70	0,9109	30	0,9786
1,35	0,8230	71	0,9127	35	0,9812
36	0,8262	72	0,9146	40	0,9836
37	0,8293	73	0,9164	45	0,9857
38	0,8324	74	0,9181	2,50	0,9876
39	0,8355	1,75	0,9199	55	0,9892
1,40	0,8385	76	0,9216	60	0,9907
41	0,8415	77	0,9233	65	0,9920
42	0,8444	78	0,9249	70	0,9931
43	0,8475	79	0,9263		

газов в одиночном циклоне может определяться по выражению

$$\eta_0 = 50 [1 + \varphi(x')], \quad \%, \quad (12)$$

где

$$x' = \frac{\ell_g \sqrt{d_{50\text{ц}} \cdot K \cdot 10^3 \sqrt{D \cdot \mu / \rho_n \cdot W_{\text{ц}}}}}{\sqrt{G_{\text{ц}}^2 + \ell_g^2 (d_{50} / d_{16})}}, \quad (13)$$

$d_{50}$  - 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.Козовым (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  $G'_n = d'_{50} / d_{16}$ . Графические зависимости составлены для циклонов диаметром 300 мм, улавливающих кварцевую пыль плотностью 2650 кг/м<sup>3</sup>. Условная скорость потока  $W_{\text{ц}}$  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°C вязкость

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

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

$$d'_{50} = \frac{d_{50}}{K \cdot 10^3 \sqrt{D \cdot \mu / \rho_n \cdot W_{\text{ц}}}}, \quad (14)$$

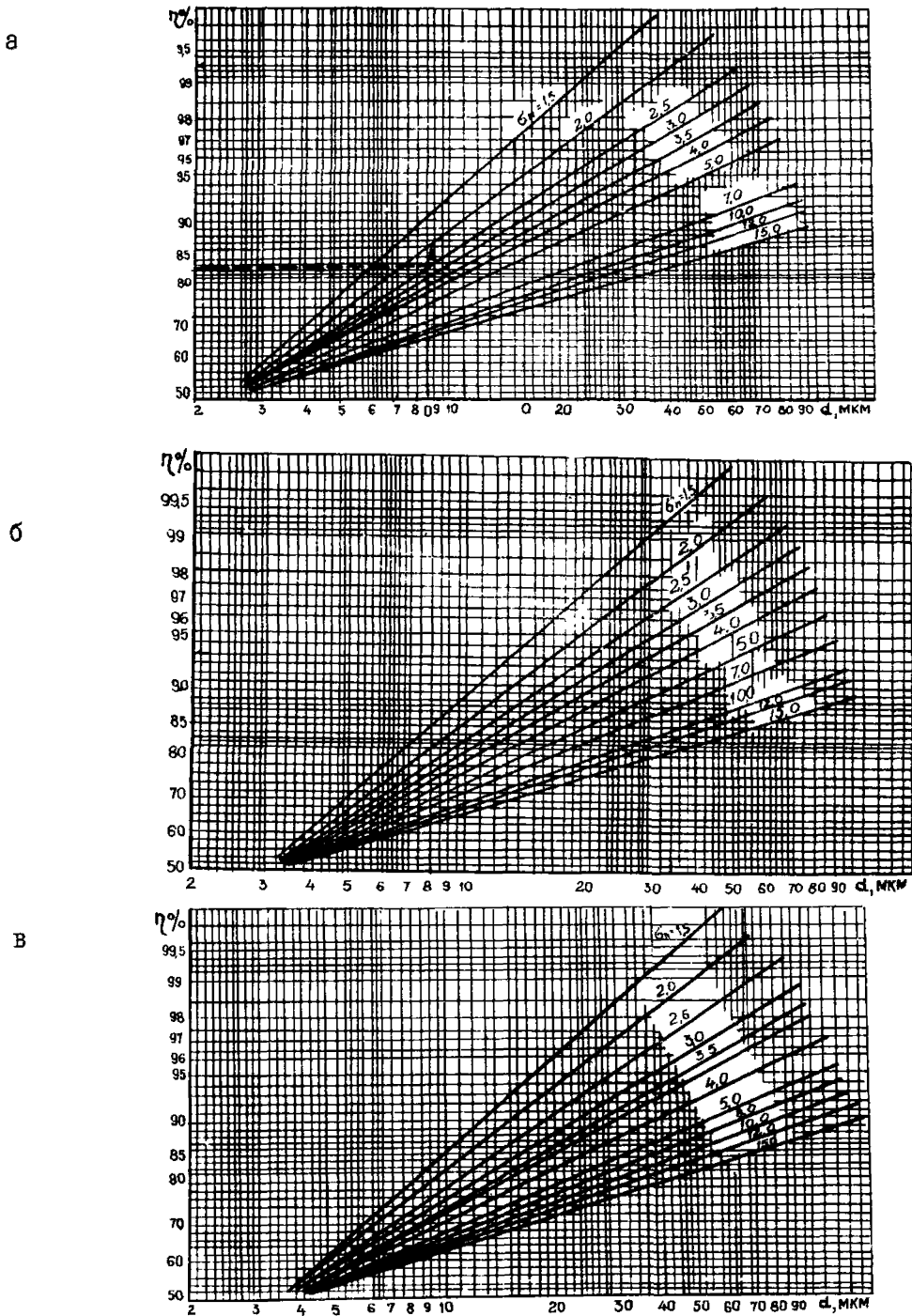
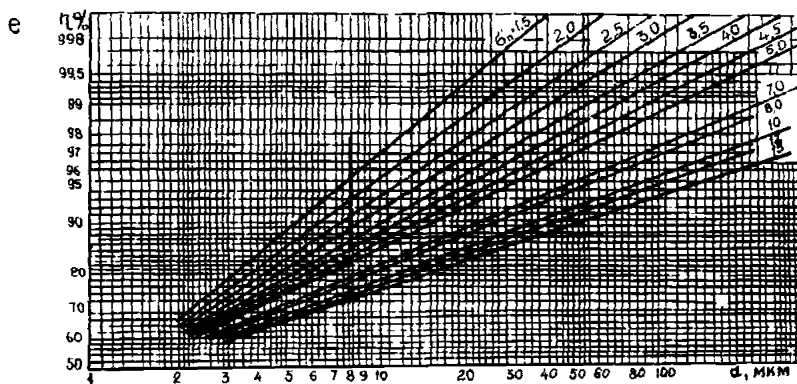
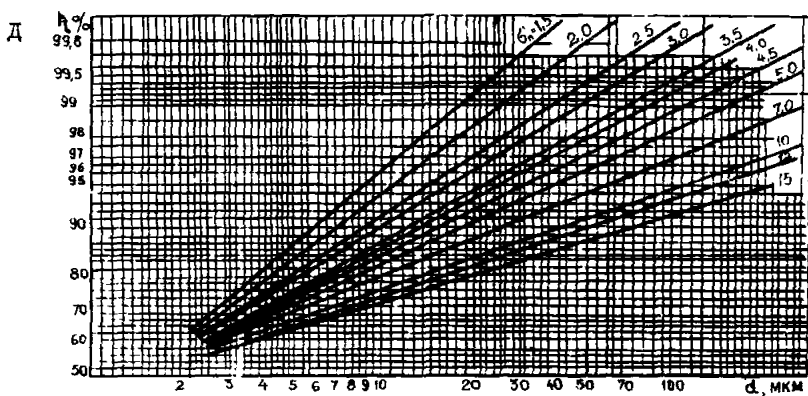
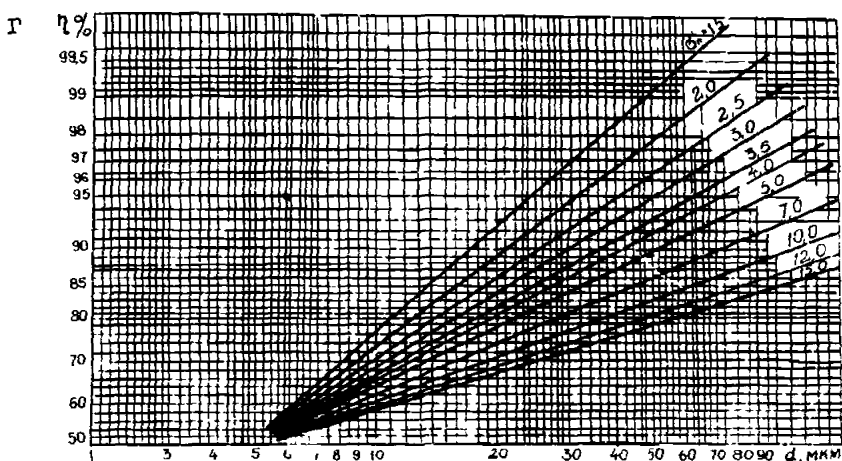


Рис. 60. Графическая зависимость общей  
 распределения частиц ( $d_{50}$ )  
 а - ЦН-II ( $W_r = 3,5$  м/с),  
 б - ЦН-15 ( $W_r = 3,5$  м/с),  
 в - ЦН-15У ( $W_r = 3,5$  м/с),  
 $D_{ц} = 300$  мм,



эффективности очистки ( $\eta$ ) от медианы  
и дисперсии ( $\sigma_n$ ) 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);

$$\rho_n = 2650 \text{ кг/м}^3, \quad M_2 = 18,1 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

где  $K$  - коэффициент (принимается из табл. 53).

Степень очистки газов в циклоне определяют следующим образом (рис. 60а). На оси абсцисс откладывают точку  $C$ , соответствующую пересчитанному значению медианы распределения частиц пыли. Затем из точки  $O$  восстанавливают перпендикуляр до пересечения с линией, характеризующей заданную дисперсию пыли. Пересечение отмечают точкой  $A$ . Из точки  $A$  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<sup>3</sup> подсчитывается по следующей зависимости:

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

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

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

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

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

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

где  $\eta_1, \dots, \eta_n$  - 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 <sup>3</sup>	$d_{50}$	$G' = \frac{d_{50}}{d_{16}}$	Плотность пыли, кг/м <sup>3</sup>
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 влакноудалением	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/м <sup>3</sup>	$d_{50}$	$G' = \frac{d_{50}}{d_{16}}$	Плотность пыли, кг/м <sup>3</sup>
Вращающаяся клинкерно-обжиговая печь (мокрый способ производства):					
Липецкий завод	Клинкер	25-30	23	3,17	2720
Вольский завод	"-	9-9,6	9,5	4,0	2700
Ульяновский завод	"-	28,5	14	3,43	2760
Себряковский завод	"-	18,5	8	3,12	2900
Шахтная мельница	Гипсовая	10-49	56	9,35	2840
Крекинг-установка А-1/М (после циклонов регенератора)	Алюмосиликатный катализатор	15	17	2,0	2250
Крекинг-установка ГК-3 (после циклонов регенератора)	"-	10-20	16	1,78	2250
Углесушильный барабан	Каменноугольная	-	15	2,16	1600
Шаровая мельница	Цементная	-	20	2,94	2900
Вращающаяся цементная печь (сухой способ производства)	Клинкер	40	11	0,345	2800
	Смесь шлама и трепела	20	20	0,652	2500
Электролизер алюминия (боксовой токопдвод)	Окислы алюминия	1	20	0,352	2920
Вращающаяся печь обжига	Магнезит	100-120	43	0,615	2700
Вращающаяся печь обжига	Доломит	35-45	28	0,506	2000
Распылительная сушилка	Двойной сульфат	3-5	80	0,210	1000
Барабанная	"-	12-16	35	0,360	1000

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 практической получаемой.

**П р и м е р .**

Определить фракционную степень очистки воздуха от пыли для частиц 5, 10, 15, 20 и 25 мкм и общую эффективность циклона ЦН-II, пользуясь аналитическим и графическим методами расчета. Диаметр циклона 500 мм. Расход воздуха 2100 м<sup>3</sup>/ч. Температура 80°C, плотность пыли  $\rho_n = 1800$  кг/м<sup>3</sup>.

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%

**Р е ш е н и е.** 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:

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

фракционную степень очистки воздуха определяем по форму-

ле (9)

$$\eta_{\text{фр}} = 50 [1 + \varphi(x)] , \quad \% ,$$

где

$$x = \frac{e_g \cdot d'}{d_{50c} \cdot K \cdot 10^3 \sqrt{D} \cdot m / \rho_n \cdot W_u} \cdot G_u$$

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

$$W_u = \frac{Q_p}{\frac{\pi d^2}{4}} = \frac{2100 \cdot 4}{3600 \cdot \pi \cdot 0,5^2} = 2,98 \text{ м/с}$$

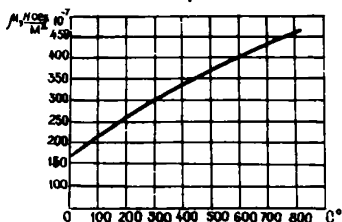


Рис. 61. Изменение вязкости воздуха в зависимости от температуры

Вязкость воздуха при температуре 80°C находим по графику (рис. 61).

$$\mu = 20,39 \cdot 10^{-6} \frac{\text{Н} \cdot \text{с}}{\text{м}^2}$$

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

d, мкм	x	$\Phi(x)$	$\eta_{фр}$
5	0,1339	0,110	55
10	0,891	0,6265	81,3
15	1,329	0,816	90,75
20	1,64	0,899	95,0
25	1,89	0,941	97,0

Общую степень очистки подсчитываем по формуле

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

где

$$x' = \frac{\lg \frac{d_{50}}{d_{50u} \cdot K \cdot 10^3 \sqrt{\Phi \cdot \mu / \rho_n \cdot W_u}}}{\sqrt{6_u^2 + \lg^2 (d_{50} / d_{16})}}$$

Подставляя полученные значения в расчетные формулы, получаем:

$$\lg \frac{15,5}{2,47 \cdot 41,4 \cdot 10^3 \sqrt{\frac{0,5 \cdot 20,39 \cdot 10^{-6}}{1800 \cdot 2,98}}}$$

$$x' = \frac{\quad}{0,158 + \lg^2 2,46} = 0,975 \quad .$$

По таблице 52 находим, что  $x' = 0,975$  соответствует  $\Phi(x'_i) = 0,67$ , 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

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

По графику (рис. 60, а) находим, что  $d'_{50} = 8,5$  и  $\zeta'_n = 2,46$  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  $\ell$  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 невозполнимые потери, связанные с раскручиванием и выравниванием потока за циклоном. Эти потери являются неотъемлемой частью "местных" потерь в циклоне.

В случае работы циклона на выхлоп потерями 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:

$$\frac{\rho_t \cdot W_{\text{вых}}^2}{2} = \frac{\rho_t \cdot W_u^2}{2} \left( \frac{F_u}{F_{\text{вых}}} \right)^2 = \frac{\rho_t \cdot W_u}{2} \left( \frac{D}{d} \right)^4. \quad (17)$$

Поэтому существует приближенная связь:

$$\Delta P_n = \Delta P_c + \frac{\rho_t \cdot W_u^2}{2} \left( \frac{D}{d} \right)^4. \quad (18)$$

Коэффициент сопротивления циклона, приведенный к скорости, равен соответственно:

$$\xi_u^c = \frac{\Delta P_c}{\rho_t \cdot W_u^2 / 2}, \quad (19)$$

$$\xi_u^n = \frac{\Delta P_n^2}{\rho_t \cdot W_u^2 / 2} = \xi_u^c + \left( \frac{D}{d} \right)^4 \quad (20)$$

Значение коэффициентов сопротивления различных типов циклонов диаметром 500 мм, выполненных из листовой стали, при скорости потока  $W_u \geq 3$  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 150 до 500 мм коэффициент сопротивления заметно увеличивается; при дальнейшем увеличении диаметра он практически остается постоянным.

Таблица 56

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

Тип циклона	$\frac{d}{D}$	Без дополнительных устройств		С раскручивателем		С кольцевым диффузором		С выходной улиткой	С отводом 90°
		500	500	500	500	500	500		
ЦН-II	0,59	245	250	-	-	207	215	235	245 250
ЦН-15	-	155	163	115	121	132	140	150	155 160
ЦН-15У	-	165	170	148	152	140	148	158	165 170
СК-ЦН-34	0,34	1050	1150	-	-	-	-	-	- -
ЦН-24	-	75	80	61	66	64	70	73	75 80
СДЖ-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:

$$\xi_{\text{ц}}^{\text{с}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{\text{ц}}^{\text{с}} 500, \quad (21)$$

$$\xi_{\text{ц}}^{\text{н}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{\text{ц}}^{\text{н}} 500, \quad (22)$$

где  $\xi_{\text{ц}}^{\text{н}} 500$ ,  $\xi_{\text{ц}}^{\text{с}} 500$  - коэффициенты полного сопротивления циклона и для сети при  $D = 500$  мм (приведены в табл. 56);

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

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

Таблица 57

Поправочный коэффициент на влияние диаметра циклона ( $K_1$ )

D мм	ЦН-II	ЦН-15	СК-ЦН-34
		ЦН-15У ЦН-24	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 <sup>3</sup>						
	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  $90^\circ$ .

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  $90^\circ$ , 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

$$\xi_{\text{ц}}^{\text{гр}} = \xi_{\text{ц}}^{\text{с}} + K_3, \quad (23)$$

или

$$\xi_{\text{ц}}^{\text{гр}} = K_1 \cdot K_2 \xi_{\text{ц}}^{\text{с}} 500 + K_3, \quad (24)$$

где  $\xi_{\text{ц}}^{\text{с}}$  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	$K_z$
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 удлинённый отвод из циклонных элементов	28
IV		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

$$\Delta P = \xi_{\text{ц}} \frac{\rho_{\text{г}} \cdot W_{\text{ц}}^2}{2} \quad (25)$$

или

$$\Delta P = 0,81 \frac{\xi_{\text{ц}} \cdot \rho_{\text{г}} \cdot q_{\text{г}}^2}{D^4} \quad (26)$$

где  $q_{\text{г}}$  - секундный расход газа через один циклон, м<sup>3</sup>/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  $\xi_{ц}$ , определяют и значение условной скорости  $W_{ц}$ . Для циклонов ЦН-II отношение  $\Delta P / \rho_t$  принимают 800-1400, для ЦН-15, ЦН-15У - 500-1000, для ЦН-24 - 300-600 м<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>. 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<sup>2</sup>/с<sup>2</sup>.

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

$$\rho_t = \rho_0 \frac{B_p}{(1 + \sqrt{273}) 101,3 \cdot 10^3} = 2,69 \cdot 10^{-3} \rho_0 \frac{B_p}{273 + t}, \text{ кг/м}^3, (27)$$

где  $\rho_0$  - плотность газов при 0°C и давлении 101,3 · 10<sup>3</sup> н/м<sup>2</sup> (приближенное значение плотности дымовых газов представлено на графике рис. 62);

$\rho_t$  - плотность газов при рабочих условиях, кг/м<sup>3</sup>;

$B_p$  - абсолютное давление рабочих газов на входе в циклон, н/л<sup>2</sup>.

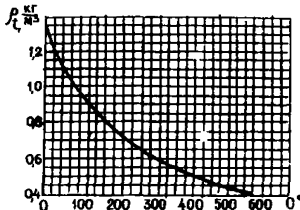


Рис. 62. Плотность дымовых газов ( $\rho_t$ ) в зависимости от температуры ( $\rho_0 = 1,32 \text{ кг/м}^3$ )

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°C и давлении 101,3 · 10<sup>3</sup> н/м<sup>2</sup>;

$m$  - 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

$$Q_p = \frac{Q_0 (1 + t/273) \cdot 101,3 \cdot 10^3}{B_p} = 371 Q_0 \frac{273+t}{B_p}, \text{ м}^3/\text{с}, \quad (29)$$

где  $Q_p$  - общий секундный расход газов при температуре  $t$ ,

$Q_0$  - секундный расход при  $0^\circ\text{C}$  и давлении  $101,3 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ .  
Если секундный расход дан для сухих газов, то

$$Q_0 = Q_{\text{с.г.}} (1 + m/0,804), \text{ м}^3/\text{с}, \quad (\text{н.у.}), \quad (30)$$

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

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

$$q_p = \frac{\pi D^2}{4} W_{\text{ц}} = 1,407 D^2 \sqrt{\frac{\Delta P}{\rho_t \cdot \xi_{\text{ц}}}} = 21,6 D^2 \sqrt{\frac{\Delta P (273+t)}{\rho_0 \cdot \xi_{\text{ц}} \cdot B_{\text{ц}}}}, \text{ м}^3/\text{с} \quad (31)$$

Диаметр циклонных элементов при заданной величине  $q_p$ ,  $\rho_t$ ,  $\Delta P$ ,  $\xi_{\text{ц}}$  вычисляется по формуле

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

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  $q_p = 3600 \text{ м}^3/\text{ч}$  при температуре  $t = 250^\circ\text{C}$  и плотности газов  $\rho_0 = 1,32 \text{ кг/м}^3$  (н.у.), давлении  $B_p = 120 \cdot 10^3 \text{ Н/м}^2$ .

Требуется определить диаметр циклона ЦН-15 при сопротивлении  $\Delta P = 800 \text{ Н/м}^2$ .

Определяем секундный расход газа:

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

По формуле (32) определяем диаметр циклона, принимая коэффициент гидравлического сопротивления  $\xi_{\text{ц}} = 160$ .

$$\begin{aligned} \Phi &= 0,214 \sqrt[4]{\frac{q_p \cdot \rho_t \cdot f_u \cdot B_p}{\Delta P (273 + t)}} = 0,214 \sqrt[4]{\frac{1^2 \cdot 1,32 \cdot 160 \cdot 120 \cdot 10^3}{800 (273 + 250)}} \\ &= 0,586 \end{aligned}$$

Принимаем  $\Phi = 0,600$  м.

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

$$\frac{\Delta P}{\rho_t} = \frac{\Delta P (273 + t)}{2,69 \cdot 10^{-3} \rho_p B_p} = \frac{10^{-3} \cdot 800 (273 + 250)}{2,69 \cdot 1,32 \cdot 120 \cdot 10^{-3}} = 985 \text{ м}^2/\text{с}^2.$$

Из точки на оси абсцисс, соответствующей заданному расходу газов  $3600 \text{ м}^3/\text{ч}$ , восстанавливаем перпендикуляр до пересечения в точке А с кривой циклона ЦН-15. 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:  $\Phi = 0,600$  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 НИМОГАЗ

**И с х о д н ы е д а н н ы е.** Рассчитать группу циклонов для котла КРШ 13/10 паропроизводительностью 10 т/ч, имеющего шахто-мельничную топку и сжигающего фрезерный торф. Котел снабжен экономайзером. Температура дымовых газов на выходе из котла  $160^\circ\text{C}$ . Расход торфа составляет  $1900 \text{ кг/ч}$ . Объем топочных газов, приведенный к нормальным условиям на 1 кг топлива, составляет  $12,5 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Плотность дымовых газов, приведенная к нормальным условиям  $\rho_0 = 1,32 \text{ кг/м}^3$  (н.у), объем водяных паров на 1 кг топлива составляет  $0,3 \text{ м}^3/\text{кг}$ . Давление газов на входе в циклон составляет  $98 \cdot 10^3 \text{ н/м}^2$  (736 мм.рт.ст.). Допустимое гидравлическое сопротивление не более  $900 \text{ н/м}^2$  (92 мм.вод.ст.). Запыленность газов на входе  $5 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ .

Требуется обеспечить очистку газов от золы с остаточной запыленностью на выходе не выше  $0,4 \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ .

Р а с ч е т.

1. Определим объемный расход влажных газов при нормальных условиях:

$$Q_0 = (12,5 + 0,3)1900 = 24380 \text{ м}^3/\text{ч (н.у)}$$

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

$$Q_p = 371 \cdot Q_0 \cdot \frac{273+t}{B_p} = 371 \cdot \frac{24380}{3600} \cdot \frac{273+160}{98000} = 11,08 \text{ м}^3/\text{с}$$

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

$$\xi_{\text{ц}}^{\text{гп}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \xi_{\text{ц}}^{\text{с}} 500 + K_3,$$

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

$$\xi_{\text{ц}}^{\text{гп}} = 1 \cdot 1 \cdot 207 + 35 = 242$$

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

$$q_p = 21,6 D^2 \sqrt{\frac{\Delta P (273+t)}{\rho_0 \cdot \xi_{\text{ц}} \cdot B_p}} = 21,6 \cdot 0,8^2 \cdot \sqrt{\frac{900 (273+160)}{98000 \cdot 242 \cdot 1,325}} = 1,54 \text{ м}^3/\text{с}$$

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:

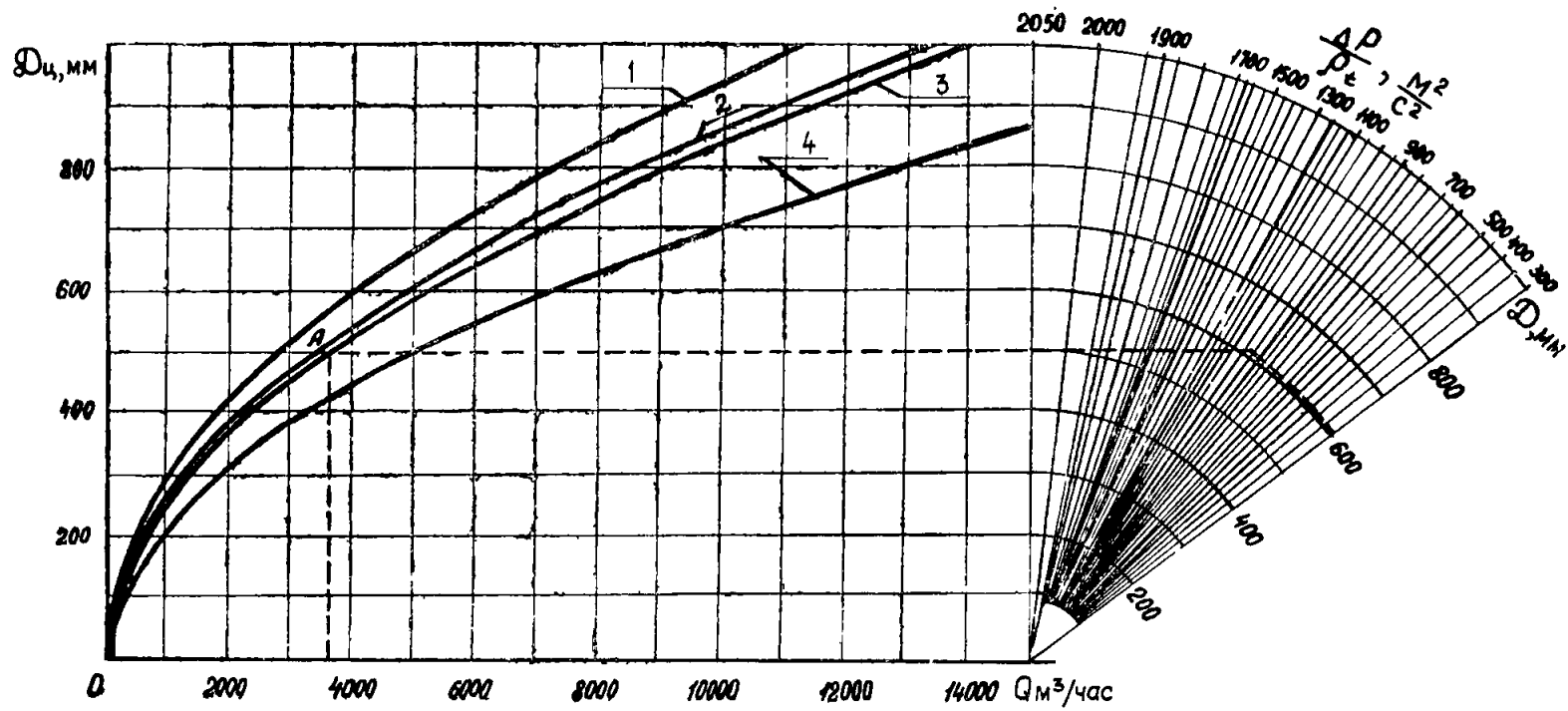


Рис 63 Номограмма для расчета производительности и гидравлического сопротивления циклопов ННИОГАЗ  
 1 - ЦН-11,  $\varphi_y^n = 250$ ; 2 - ЦН-15У,  $\varphi_y^n = 170$ ; 3 - ЦН-15,  $\varphi_y^n = 160$ ;  
 4 - ЦН-24,  $\varphi_y^n = 60$

$$W_{\text{ц}} = \frac{4q_p}{N \cdot \pi \cdot D^2} = \frac{4 \cdot 11,08}{8 \cdot \pi \cdot 0,82} = 2,756 \text{ м/с}$$

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

7. Определяем общую эффективность очистки в циклонных элементах, пользуясь формулами I2, I3 и табл. 53.

$$x' = \frac{\eta q \frac{d_{50}}{d_{50\text{ц}} \cdot K \cdot 10^3 \sqrt{D} \cdot \mu / \rho_n \cdot W_{\text{ц}}}}{\sqrt{G_{\text{ц}}^2 + \eta q^2 (d_{50} / d_{16})}} = \frac{\eta q \frac{2,47 \cdot 41,4 \cdot 10^3 \sqrt{0,8} \cdot 24 \cdot 10^{-6} / 2800 \cdot 2,76}{\sqrt{0,158 + \eta q^2 (35/16)}}} = 1,6$$

При расчетах вязкость газа  $\mu$  принята с некоторым приближением по графику для воздуха (рис. 6I).

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

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

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

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

РАСЧЕТ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ  
ПЕЧЕЙ

А. Расчет элементов установки

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

$$V_r = V_{r/m} \cdot V, \quad \text{нм}^3/\text{ч} \quad (33)$$

где  $V_{r/m}$  - максимальное количество газов, выделяющихся в печи при плавке 1 т стали,  $\text{нм}^3$ ;

$V$  - емкость печи, т.

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

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

где CO - содержание окиси углерода в отходящих газах, %;

$H_2$  - содержание водорода, %;

$O_2$  - то же, кислорода в %.

3. Общее количество воздуха  $L_b$ , необходимое для дожига-ния CO и  $H_2$ , определяется по формуле

$$L_b = V_r \cdot L_o \cdot \lambda, \quad \text{нм}^3/\text{ч} \quad (35)$$

где  $V_r$  - общий объем газов,  $\text{нм}^3/\text{ч}$ ;

$L_o$  - теоретическое количество воздуха,  $\text{нм}^3/\text{нм}^3$ ;

$\lambda$  - коэффициент избытка воздуха.

4. Объем сухих трехатомных газов

$$V_{\text{то}_2} = 0,01(CO_2 + CO + H_2S + \sum m C_m H_n), \text{ нм}^3/\text{нм}^3 \quad (36)$$

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

$CO$  - то же, окиси углерода, %;

$H_2S$  - то же, сероводорода, %;

$\sum C_m H_n$  - то же углеводорода, %.

5. Объем водяных паров

$$V_{H_2O} = (H_2S + H_2 + \sum \frac{A}{2} C_m H_n + 0,124 d_2) \cdot 0,01 + 0,0161 L_o \cdot \lambda, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (37)$$

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/м<sup>3</sup>;

$L_o$  - теоретический объем воздуха, необходимого для дожигания  $CO$ , м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

6. Теоретический объем двухатомных газов определяется по формуле

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

где  $L_o$  - теоретический объем воздуха, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>;

$N_2$  - содержание азота в газах, выделяющихся из печи, %.

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

$$V_{пг} = V_{RO_2} + V_{N_2}^o + V_{H_2O} + (\lambda + 1) L_o, \text{ м}^3/\text{м}^3 \quad (39)$$

8. Полный объем газов после зоны дожигания будет равен

$$V_r^{ок} = V_r + V_{пг}, \quad (40)$$

где  $V_r$  - общий объем газов, выделяющихся из печи, м<sup>3</sup>/ч;

$V_{пг}$  - объем продуктов сгорания, м<sup>3</sup>/м<sup>3</sup>.

9. Действительная температура горения определяется из уравнения теплового баланса:

$$Q_H^p + J_r + J_b = V_{пг} \cdot c \cdot t_g + q_g + q_n, \quad (41)$$



где  $Q_n^p$  - низшая теплотворная способность топлива, ккал/нм<sup>3</sup>;  
 $J_r$  - теплоудержание газа, ккал/нм<sup>3</sup>;  
 $J_b$  - теплоудержание воздуха, приходящегося на единицу сжигаемого газа, ккал/нм<sup>3</sup>;  
 $V_{nr}$  - объем продуктов горения на единицу сжигаемого газа, нм<sup>3</sup>/нм<sup>3</sup>;  
 $C$  - средняя удельная теплоемкость продуктов горения, ккал/нм<sup>3</sup> град.;  
 $t_g$  - действительная температура горения, °C;  
 $Q_{g_2}$  - количество тепла, затраченного на частичную диссоциацию продуктов горения, %;  
 $Q_n$  - количество тепла, рассеиваемого в окружающую среду, %.

Ю. Общий объем газов при температуре  $t = t_g$

$$V_{r.t_g} = V_r^{об} \cdot \frac{t_g + 273}{273}, \quad \text{нм}^3/\text{ч}, \quad (42)$$

И. Диаметр газохода определяется по формуле

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

где  $F$  - площадь газохода, равная  $F = V_r \cdot t_g / 3600 \cdot W$ , м<sup>2</sup>;  
 $W$  - скорость газа в газоходе, м/с.

### Б. Тепловой расчет водоохлаждаемого патрубка

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

$$Q = F_o \cdot K \cdot (t_r - t_b), \quad \text{ккал/ч}, \quad (44)$$

где  $F_o$  - площадь охлаждения, м<sup>2</sup>;  
 $K$  - коэффициент теплопередачи, ккал/м<sup>2</sup>·град·ч;  
 $t_r$  - средняя температура газов, °C;  
 $t_b$  - средняя температура охлаждающей воды, °C.

2. Площадь охлаждения

$$F_o = \pi \cdot D \cdot \ell, \quad \text{м}^2, \quad (45)$$

где  $D$  - диаметр газохода, м;  
 $\ell$  - длина газохода, м.

3. Средняя температура газов

$$t_r = 0,5 ( t_2 + t_x ) \quad ^\circ\text{C} \quad (46)$$

где  $t_2$  - средняя температура газов на входе в водоохлаждаемый патрубок,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_x$  - температура газов на выходе из водоохлаждаемого патрубка,  $^\circ\text{C}$ .

4. Средняя температура охлаждающей воды

$$t_0 = 0,5 ( t_n + t_k ), \quad ^\circ\text{C} \quad (47)$$

где  $t_n$  - начальная температура воды,  $^\circ\text{C}$ ;

$t_k$  - конечная температура воды,  $^\circ\text{C}$ .

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

$$K = \frac{\alpha_0}{1 + \epsilon \alpha_0}, \quad \text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}, \quad (48)$$

где  $\epsilon$  - коэффициент загрязненности поверхности;

$\alpha_0$  - суммарный коэффициент теплоотдачи ккал/м<sup>2</sup>·ч·град.

6. Суммарный коэффициент теплоотдачи равен

$$\alpha_0 = \alpha_k + \alpha_n, \quad \text{ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}, \quad (49)$$

где  $\alpha_k$  - конвективный коэффициент теплоотдачи в ккал/м<sup>2</sup>·ч·град

$\alpha_n$  - коэффициент теплоотдачи излучением в ккал/м<sup>2</sup>·ч·град.

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

$$\alpha_k = 0,023 \frac{\lambda}{d_3} \left( \frac{W \cdot d_3}{\delta} \right)^{0,8} \cdot P_r^{0,4} \cdot C_t \cdot C_e, \quad (50)$$

где  $\lambda$  - коэффициент теплопроводности среды в ккал/м·ч·град;

$\delta$  - коэффициент кинематической вязкости при средней температуре потока,

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

$W$  - скорость газа, определяемая по формуле

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

$d_3$  - эквивалентный диаметр,

$$d_3 = 4F / U_m, \text{ м}, \quad (53)$$

$F$  - площадь живого сечения газохода,  $\text{м}^2$ ;

$U_m$  - часть периметра сечения, через который происходит теплообмен,  $\text{м}$ ;

$C_t$  - поправка, зависящая от температуры потока и степени;

$C_e$  - поправка на относительную длину - вводится только при значениях  $l/d_3 < 50$  и определяется по номограмме;

$P_z$  - критерий Прэндтля - определяется по формуле

$$P_z = \frac{3600 \cdot M \cdot q \cdot C_e}{\lambda}, \quad (54)$$

$\lambda$  - коэффициент теплопроводности газов,  $\text{ккал/м}\cdot\text{ч}\cdot\text{град}$ ;

$C_p$  - средняя теплоемкость газов,  $\text{ккал/м}^3\cdot\text{град}$ ;

$M$  - коэффициент динамической вязкости,  $\text{кг}\cdot\text{с/м}^2$ ;

$g$  - ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ .

#### 8. Коэффициент теплоотдачи излучением

$$V_n = 4,9 \cdot 10^{-8} \frac{d_{cm} + 1}{2} \cdot d \cdot T_m \cdot \frac{1 - (T_{cm}/T_r)^4}{1 - (T_{cm}/T_r)}, \quad (55)$$

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

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

$e$  - основание натуральных логарифмов;

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

$T_m$  - абсолютная температура потока продуктов сгорания,  $^{\circ}\text{C}$ ;

$T_{cm}$  - то же, стенки,  $^{\circ}\text{C}$ .

#### 9. Длина водосхлаждаемого патрубка, необходимая для дожига-ния $\text{CO}$ , определяется по формуле

$$l = 0,2 \cdot \delta \cdot W, \quad (56)$$

где  $\delta$  - диаметр патрубка,  $\text{м}$ ;

$W$  - скорость газа в трубе,  $\text{м/с}$ .

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

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

Неизвестным в формуле 57 является  $K_v$  - объемный коэффициент теплопередачи, ккал/м<sup>3</sup>·ч·град.

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

В формуле 57 принято:

$Q$  - производительность скруббера по теплу, ккал/ч;

$\Delta t$  - среднелогарифмическая разность температур, °С, определяемая по формуле

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_{2,в}) - (t_2 - t_{1,в})}{\ln(t_1 - t_{2,в}) / (t_2 - t_{1,в})}, \quad (58)$$

где  $t_1$  - температура газов на входе, °С;

$t_2$  - то же, на выходе, °С;

$t_{2,в}, t_{1,в}$  - температура горячей и холодной воды, °С.

Величины  $t_2$  и  $t_{1,в}$  задаются;  $t_{2,в}$  - принимается в зависимости от схемы отвода шлама, принятой в проекте.

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

$$F_{mk} = \frac{W_B}{A}, \quad \text{м}^2, \quad (59)$$

где  $W_B$  - расход воды через теплообменную камеру-скруббер,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$A$  - плотность орошения,  $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$ , по опытным данным рекомендуется принимать  $14 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$

3. Расход воды определяется по формуле

$$W_B = \frac{Q \cdot \eta_k}{C(\theta) (t_{2B} - t_{хв})}, \quad \text{л/ч}, \quad (60)$$

где  $C(\theta)$  - теплоемкость воды,  $\text{ккал}/\text{кг} \cdot \text{град}$ ;

$\eta_k$  - КПД камеры по опытам  $\eta_k \geq 0,61$ .

4. Диаметр теплообменной камеры

$$D_{mk} = \sqrt{\frac{V_{mk}}{0,785}}. \quad (61)$$

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

$$H_{mk} = \frac{V_{mk}}{0,785 \cdot D_{mk}}, \quad \text{м}, \quad (62)$$

где  $V_{mk}$  - объем скруббера,  $\text{м}^3$ ;

$D_{mk}$  - 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 Гипрогазочистка и НИИГАЗ.

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

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

где  $Q$  - производительность установки по газу при условиях, соответствующих входу его в трубу-распылитель,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $W$  - скорость газового потока во входном сечении трубы-распылителя,  $\text{м}/\text{с}$ .

2. Диаметр горловины  $d_2$  трубы-распылителя определяется по формуле

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

где  $Q_2$  - объем газа во входном сечении горловины трубы-распылителя,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;  
 $W_2$  - скорость газового потока в сечении горловины трубы-распылителя,  $\text{м}/\text{с}$ .

3. Длина конфузора трубы-распылителя определяется по формуле

$$l_1 = \frac{d_1 - d_2}{2 \operatorname{tg} \alpha_1 / 2}, \text{ м}, \quad (65)$$

где  $d_1$  - начальный диаметр конфузора,  $\text{м}$ ;  
 $d_2$  - диаметр горловины трубы,  $\text{м}$ ;  
 $\alpha_1$  - угол сужения конфузора, град.

4. Длина горловины трубы

$$l_2 = 0,15 d_r, \text{ м}, \quad (66)$$

где  $d_r$  - диаметр горловины трубы-распылителя,  $\text{м}$ .

5. Длина диффузорной части трубы-распылителя

$$l_3 = \frac{d_3 - d_2}{2 \operatorname{tg} \alpha_2 / 2}, \text{ м}, \quad (67)$$

где  $d_3$  - конечный диаметр диффузора,  $\text{м}$ ;  
 $d_2$  - диаметр горловины трубы,  $\text{м}$ ;  
 $\alpha_2$  - угол раскрытия диффузора, град.

6. Секундный расход орошаемой жидкости

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

где  $Q$  - общее количество газов,  $\text{м}^3$ ;  
 $m_1$  - удельный расход воды,  $\text{л}/\text{м}^3$ , определяемый из уравнения

$$\xi_{ж} m_1 = \frac{\gamma_1}{\gamma_{ж}} \left[ \frac{(\Delta P_{тр})_{ор} \cdot 2q}{\gamma_1 \cdot W_r} - 0,2 \right], \quad (69)$$

где  $\xi_{ж}$  - гидравлическое сопротивление трубы-распылителя;  
 $\gamma_1$  - удельный вес газа при условиях на входе в трубу-распылитель,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  
 $\gamma_{ж}$  - удельный вес жидкости,  $\text{кг}/\text{л}$ ;  
 $(\Delta P_{тр})_{ор}$  - ориентировочное значение гидравлического сопротивления трубы-распылителя,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;  
 $q$  - ускорение силы тяжести,  $\text{м}/\text{с}^2$ ;  
 $W_r$  - скорость газов в горловине трубы-распылителя,  $\text{м}/\text{с}$ ;  
 $m_1$  - удельный расход воды,  $\text{л}/\text{м}^3$ ;  
 $0,2$  - коэффициент, учитывающий качество изготовления трубы-распылителя.

7. Диаметр выходного сечения форсунки определяется по формуле

$$d_e = \sqrt{\frac{4Q_{ж}}{\pi \sqrt{2q} \rho / \gamma}}, \quad \text{м} \quad (70)$$

где  $\rho$  - коэффициент динамической вязкости жидкости,  $\text{кгс}/\text{м}^2$ .

8. Для обеспечения равномерного перекрытия сечения трубы-распылителя орошающей жидкостью форсунку ВТИ следует располагать в газопотоке перед конфузсором на расстоянии  $1-1,5 d_1$ , здесь  $d_1$  - входной диаметр конфуззора,  $\text{м}$ .

9. Диаметр каплеуловителя определяется по формуле

$$d_{ц} = 0,0168 \sqrt{Q/W_{ц}}, \quad (71)$$

где  $Q$  - количество газов на входе в аппарат,  $\text{м}^3$ ;  
 $W_{ц}$  - скорость газов в цилиндрической части аппарата,  $\text{м}/\text{с}$ .

**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

1. 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 - 1400°C.
5. Технический состав газа, %.

CO	H <sub>2</sub>	O <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	N <sub>2</sub>
16	2	4,8	12	65,2

6. Химический состав пыли, %.

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	MnO	прочие
2-14	1-13	2-3	19-65	1-22	2-38	4-12	Mn <sub>2</sub> O <sub>3</sub> ; MnO <sub>2</sub> ; P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ; NO <sub>2</sub> ; NO; CuO.

7. Гранулометрический состав пыли, %.

Размер частиц пыли в мкм				
0-5	5-10	10-20	20-44	Более 40
66-75	6-12	3-10	1-9	1-7



Расчет элементов установки

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

1. Максимальный объем газов, выделяющихся в печи при плавке I т стали - 150  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

2. Емкость печи - 7,5 т.

3. Общий объем газов, выделяющихся в печи

$$V_r = 150 \times 7,5 = 1123 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4. Максимальная температура вырывающихся из печи газов - 1400 °С.

5. Минимальная температура вырывающихся газов - 1100 °С.

6. Средняя температура - 1200 °С.

7. Состав газов принят: CO - 16%;  $\text{H}_2$  - 2%;  $\text{O}_2$  - 4,8%;  $\text{CO}_2$  - 12%;  $\text{N}_2$  - 65,2%.

8. Теоретическое количество воздуха, необходимого для дожигания CO и  $\text{H}_2$  определяется по формуле (2):

$$z_0 = 0,0476(0,5 \times 16 + 0,5 \times 2,0 - 4,8) = 0,2 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

9. Для снижения температуры горения и лучшего дожигания CO и  $\text{H}_2$  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

$$z_0 = 1123 \times 2,3 \times 0,2 = 520 \text{ м}^3/\text{ч}$$

10. Объем сухих грехатомных газов определяется по формуле (36):

$$V_{\text{го}_2} = 0,01 (16 + 12) = 0,28 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

11. Объем водяных паров при влагосодержании газов, равном 10  $\text{г}/\text{м}^3$ , определяется по формуле (37):

$$V_{\text{н}_2\text{O}} = 0,01(2 + 0,124 \times 10) + 0,0161 \times 2,3 \times 0,2 = 0,0393 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

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

$$V_{\text{N}_2}^0 = 0,79 \times 0,2 + 0,01 \times 65,2 = 0,81 \text{ м}^3/\text{м}^3.$$

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

$$V_{\text{пр}} = 0,28 + 0,81 + 0,040 + (2,3-1) 0,2 = 1,39 \text{ м}^3/\text{м}^3$$

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

$$V_r^{\text{об}} = 1123 \times 1,390 = 1560 \text{ м}^3/\text{ч}$$

15. Суммарная теплоемкость продуктов сгорания определяется по формуле  $\sum C_v = V_{\text{CO}_2} \cdot C_{\text{CO}_2} + V_{\text{H}_2\text{O}} \cdot C_{\text{H}_2\text{O}} + V_{\text{O}_2+\text{N}_2} \cdot C_{\text{O}_2+\text{N}_2}$

при  $t = 1400^\circ\text{C}$

$$\sum C_v = 0,28 \times 0,553 + 0,040 \times 0,44 + 1,07 \times 0,36 = 0,58 \text{ ккал}/\text{м}^3$$

при  $t = 1100^\circ\text{C}$

$$\sum C_v = 0,28 \times 0,534 + 0,040 \times 0,42 + 1,07 \times 0,355 = 0,55 \text{ ккал}/\text{м}^3$$

$t = 1300^\circ\text{C}$

$$\sum C_v = 0,28 \times 0,547 + 0,040 \times 0,431 + 1,07 \times 0,351 = 0,56 \text{ ккал}/\text{м}^3$$

16. Действительная температура горения определяется из уравнения (41):

$$t_q = \frac{Q_r + J_r + J_a - q_g - q_n}{V_{n_2}} = \frac{536,5 + 520 + 6,2}{1,442 \cdot 0,56} = 1310^\circ\text{C}$$

при этом  $J_b = t \cdot C_b$ ,  $J_b = 20 \times 0,31 \times 0,2 = 6,2$ ;

$q_g$  - не учитывается, так как оно оказывает существенное влияние при  $t = 1600^\circ$  и более;

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

17. Объем газов при температуре  $1310^\circ\text{C}$  по формуле (42):

$$V_{1310^\circ\text{C}} = V_r^{\text{об}} \cdot \frac{1310 + 273}{273} = 1560 \cdot \frac{1310 + 273}{273} = 9050 \text{ м}^3/\text{ч}$$

18. 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

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 0,084}{3,14}} = 0,33 \text{ м}$$

По ГОСТ 8732-70 принимаем  $D = 325 \times 8 \text{ мм}$ . Тогда действительная скорость газа

$$W_r = \frac{9050}{3600 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,31 \cdot 0,31}{4}} = 33 \text{ м/с}$$

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

426 x 9 мм

19. Отверстие в своде принято конструктивно  $d = 390 \text{ мм}$ , количество газов, вырывающихся через сводовое отверстие при  $t = 1400^\circ\text{C}$

$$V_r = 1123 \times \frac{1400 + 273}{273} = 6400 \text{ м}^3/\text{ч}$$

20. Скорость газов в сводовом отверстии будет равна:

$$W_r = \frac{6400}{3600 \cdot \frac{3,14 \cdot 0,39 \cdot 0,39}{4}} = 14,9 \text{ м/с}$$

#### Б. Тепловой расчет водоохлаждаемого патрубка

1. Средняя температура газов на входе в водоохлаждаемый патрубок  $1300^\circ\text{C}$ .

2. Температура газов на выходе из водоохлаждаемого патрубка  $1020^\circ\text{C}$ .

3. Средняя температура подаваемой воды  $20^\circ\text{C}$ .

4. Скорость воды в водоохлаждаемой рубашке  $0,8 + 1 \text{ м/с}$ .

5. Внутренний диаметр газоотводящего патрубка  $309 \text{ мм}$ .

6. Длина водоохлаждаемого патрубка  $2,2 \text{ м}$ .

7. Площадь охлаждения

$$F = \pi d l = 3,14 \cdot 0,33 \cdot 2,2 = 2,28 \text{ м}^2$$

8. Количество тепла, отдаваемого газами воде при средней

теплоемкости газов  $C_v = 0,41$  ккал/нм<sup>3</sup>·град. составит

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

9. Средняя температура охлаждающей воды

$$t_{cp}^e = 0,5 (t_n + t_k) = 0,5 (20 + 50) = 35^\circ\text{C}$$

10. Средняя температура газов

$$t_{cp}^2 = 0,5 (t_2 + t_x) = 0,5 (1300 + 1020) = 1160^\circ\text{C}.$$

11. Для средней температуры газов 1160°C определяем среднюю динамическую вязкость в зависимости от химического состава газов. Состав газов и динамическая вязкость их при 0°C:

$$\text{CO}_2 = 12\%, \text{ вязкость} - 1,402 \times 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{с/м}^2,$$

$$\text{O}_2 = 4,8\%, \text{ вязкость} - 1,98 \times 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{с/м}^2,$$

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

$$\text{H}_2 = 2\%, \text{ вязкость} - 0,866 \times 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{с/м}^2.$$

Средняя вязкость при 0°C будет  $1,5 \times 10^{-6}$  кг·с/м<sup>2</sup>.

12. Динамическая вязкость  $\mu_t$  для газов при  $t = 1160^\circ\text{C}$  определяется по формуле:

$$\begin{aligned} \mu_{1160} &= \mu_0 \cdot \frac{1 + \frac{C}{273}}{1 + \frac{C}{273}} \times \sqrt{\frac{t + 273}{273}} = \\ &= 1,5 \cdot 10^{-6} \frac{1 + \frac{120}{273}}{1 + \frac{120}{273} + 1160} \times \sqrt{\frac{1160 + 273}{273}} = \\ &= 4,57 \times 10^{-6} \text{ кг}\cdot\text{с/м}^2 \end{aligned}$$

13. Объем газов при  $t = 1160^\circ\text{C}$

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

14. Скорость газов в патрубке при  $t = 1160^\circ\text{C}$

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

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  $\gamma$  - удельный вес газов при  $t = 1160^\circ\text{C}$ , равный  $0,25 \text{ кг/м}^3$ ;

$W$  - скорость газов, м/с;

$d$  - диаметр патрубка, м;

$\mu$  - динамическая вязкость,  $\text{кг}\cdot\text{с/м}^2$ ;

$g$  - ускорение силы тяжести,  $\text{м/с}^2$ .

16. Критерий Прандтля определяется по формуле (54):

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

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

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

18. Коэффициент теплоотдачи излучением подоцтивается 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

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

где  $V$  - объем излучающего слоя,  $\text{м}^3$ ;

$F_{\text{см}}$  - площадь ограждающих поверхностей,  $\text{м}^2$ .

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

$$K_2 = \frac{0,8 + 1,6 \cdot z_{\text{H}_2\text{O}}}{\sqrt{P_n \cdot S}} \cdot \left(1 - 0,38 \frac{T}{1000}\right),$$

где  $z_{\text{H}_2\text{O}}$  - объемная доля водяных паров, %;

$P_n = P z_{\text{H}_2\text{O}}$  - суммарное парциальное давление трехатомных газов ата;

T - абсолютная температура потока продуктов сгорания, °C.

Объемная доля водяных паров

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

$$P_n = P \tau_n = I (\tau_{H_2O} + \tau_{CO_2}) = 0,029 + \frac{0,28}{1,39} = 0,231 \text{ ата}$$

$$K_2 = \frac{0,8 + 1,6 \cdot 0,0288}{0,231 \cdot 0,12} (1 - 0,38 \cdot \frac{1433}{1000}) = 3$$

Коэффициент ослабления луча в объеме, заполненном золотой 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 = I будет равна

$$d = 1 - e^{-K P S} = 1 - 2,72^{-3 \cdot 0,12} = 0,29$$

$$\text{Тогда } d_n = 4,9 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{0,82 + 1}{2} \cdot 0,29 \cdot 1433^3 \times$$

$$\times \frac{1 - \frac{373}{1433}}{1 - \frac{373}{1433}} = 47,2 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

Суммарный коэффициент теплоотдачи от газов к стенке

$$d_o = d_k + d_n = 35 + 47,2 = 82,2 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

19. Коэффициент теплопередачи от газов к охлаждающей воде определяется по формуле (48):

$$K = \frac{82,2}{1 + 0,0022 \cdot 82,2} = 70 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$$

20. Количество тепла, переданного через водоохлаждаемый патрубок при площади охлаждения  $2,28 \text{ м}^2$ , коэффициент теплопередачи  $70 \text{ ккал/м}^2 \cdot \text{ч} \cdot \text{град}$ , средней температуре газов  $\frac{1300+1020}{2}$  =  $1160^\circ\text{C}$  и средней температуре воды  $\frac{50+20}{2}$  =  $35^\circ\text{C}$  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.

$$e = 0,2 \cdot d \cdot W ; \quad d \cdot W = 0,2 \cdot 0,309 \cdot 30 = 1,85 \text{ м}$$

$d$  - диаметр патрубка;  $W$  - скорость газа в трубе, м/с.

Г. Расчет охлаждения газов в скруббере

1. Определяем полезный объем скруббера по формуле (57):

$$V = \frac{Q}{\kappa \cdot V \cdot \Delta t} = \frac{480000}{1800 \cdot 525} = 0,5 \text{ м}^3$$

где  $Q$  - производительность скруббера по теплу в ккал/ч при условии охлаждения газов от  $t = 1020^\circ\text{C}$  до  $t = 250^\circ\text{C}$ .

$$Q = z \cdot c \cdot \Delta t_2 = 1560 \cdot 0,40 \cdot 770 = 480000 \text{ ккал/ч},$$

где  $z$  - количество газа,  $\text{м}^3/\text{ч}$ ;

$c$  - теплоемкость газа в интервале температур  $1020-250^\circ\text{C}$ , равная  $0,40 \text{ ккал/м}^3 \cdot \text{град}$ ;

$\Delta t_2$  - температурный перепад, равный  $400^\circ\text{C}$ ;

$\kappa_p$  - объемный коэффициент теплопередачи, равный  $1800 \text{ ккал/ч} \cdot \text{м}^3 \cdot \text{град}$ ;

$\Delta t$  - среднелогарифмическая разность температур,  $^\circ\text{C}$ , определяемая по формуле (26):

$$\Delta t = \frac{(t_1 - t_{2в}) - (t_2 - t_{1в})}{\ln \frac{t_1 - t_{2в}}{t_2 - t_{1в}}}$$

$$\Delta t = \frac{(1020 - 50) - (250 - 20)}{\frac{1020 - 50}{250 - 20}} = 525^\circ\text{C}$$

2. Находим сечение теплообменной камеры по формуле (59):

$$F_{\text{т.к.}} = \frac{W_{\text{воз}}}{A} = \frac{9,5}{14} = 0,68 \text{ м}^2$$

3. Определяем расход воды по формуле (60):

$$W_в = \frac{Q}{c(в) (t_{2в} - t_{1в})} = \frac{480000 \cdot 0,6}{1000 \cdot 30} = 9,5 \text{ м}^3/\text{ч}$$

4. Диаметр теплообменной камеры скруббера находим по формуле (61):

$$d_{\text{т.к.}} = \sqrt{\frac{0,68}{0,785}} = 910 \approx 900 \text{ мм}$$



5. Полезная высота скруббера по формуле (62):

$$H_{\text{м.к.}} = \frac{V_{\text{м.к.}}}{0,785 \cdot D_{\text{м.к.}}^2} = \frac{0,5}{0,785 \cdot 0,9^2} = 1,0 \text{ м}$$

6. Общий расход газа составит при  $t = 250^\circ\text{C}$

$$V_{r250^\circ} = \frac{1560 (250 + 273)}{273} = 3000 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Для дальнейших расчетов объем газов принимаем равным 3000 м<sup>3</sup>.  
При условии качественного изготовления скруббера можно пренебречь подсосом воздуха через его неплотности.

Диаметр газохода после скруббера принимаем

$$219 \times 6 \text{ (по ГОСТ 8732-58)}$$

Скорость газов будет равна:

$$V_r = \frac{3000}{3600 \cdot 0,030} = 27,7 \text{ м/с}$$

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  $W = 125 \text{ м/с}$ .

б) Путем подбора находим такое значение удельного расхода воды  $m_1$ , при котором гидравлическое сопротивление трубы-распылителя равно 300 кг/м<sup>2</sup>.

Произведение  $\xi_{\text{рк}} \cdot m_1$  будет равно

$$\xi_{\text{рк}} \cdot m_1 = 0,85 \cdot \left( \frac{300 \times 19,6}{0,825 \times 125^2} - 0,2 \right) = 0,85 (0,456 - 0,2) =$$

$$= 0,85 \times 0,256 = 0,218.$$

Откуда  $m_1 = 0,3$  и  $\xi = 0,63$

3. Определение диаметра входного сечения трубы-распылителя.

а) Количество газов при входе в трубу-распылитель равно 3000 м<sup>3</sup>/ч.

б) Диаметр входного сечения трубы-распылителя принимаем равным диаметру подводящего патрубка  $D = 202$  мм.

в) Скорость в начальном сечении трубы

$$W = \frac{3000}{3600 \times 0,300} = 27,7 \text{ м/с}$$

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  $D = 202$  мм.

5. Определение диаметра горловины трубы Вентури.

а) При скорости  $W_r = 125$  м/с в сечении горловины площадь сечения составит

$$V_r = 1560 \cdot \frac{60 + 273}{273} = 1900 \text{ м}^3/\text{ч}$$

$$F = \frac{1900}{3600 \times 125} = 0,0042 \text{ м}^2$$

$$\text{Откуда } d = \sqrt{\frac{4 \times 0,0042}{3,14}} = 75 \text{ мм.}$$

б) По данным НИИОГАЗа принимаем угол сужения конфузора трубы-распылителя  $\alpha = 25^\circ$ , определяем длину конфузора

$$l_1 = 2,25 (202 - 75) = 2,25 \times 127 = 286 \text{ мм.}$$

в) Длина горловины трубы составит

$$l_2 = 0,15 \times 75 = 14 \text{ мм.}$$

г) Оптимальный угол раскрытия диффузора принимаем по данным НИИОГАЗ  $7^\circ$ .

д) Длина диффузорной части трубы-распылителя составит

$$l_3 = \frac{202 - 75}{2 \times 0,064} = \frac{127}{0,128} = 0,95 \text{ мм.}$$

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

$$d_e = \sqrt{\frac{4 Q_{ж}}{\pi \cdot \sqrt{2g} P / \gamma}} = \sqrt{\frac{4 \times 0,25}{0,73 \cdot 3,14 \sqrt{2 \cdot 9,8 \cdot 20000}}} = 3,0 \text{ мм}$$

г) Для обеспечения равномерного перекрытия сечения трубы-распылителя орошающей жидкостью форсунки ВТИ следует располагать в газоходе перед конфузуром на расстоянии  $1+1,5 d_1$ , 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

$$z = 1560 \left( \frac{60 + 273}{273} \right) = 1900 \text{ м}^3/\text{ч}$$

Скорость газов в аппарате

$$W_r = \frac{1900}{3600 \times 0,19} = 2,78 \text{ м/с}$$

По табл. I "Руководящих указаний по проектированию, монтажу и эксплуатации турбулентных промывателей" определяется высота цилиндрической части циклонно-пенного аппарата:

$$H_{ц} = 2,5 \cdot d_{ц} \cdot 2,5 \cdot 0,5 \cdot 1,25 \text{ м.}$$

РАСЧЕТ СКОРОСТИ ФИЛЬТРАЦИИ И ПЕРИОДИЧНОСТИ  
РЕГЕНЕРАЦИИ РУКАВНОЮ ФИЛЬТРА

Величина гидравлического сопротивления запыленной ткани в рукавном фильтре (Н/м<sup>2</sup>) [28] определяется по формуле

$$\Delta P = \frac{817 \cdot \mu \cdot \omega (1 - m)}{d^2 \cdot m^3} \left[ 0,82 \cdot 10^{-6} \cdot d^{0,25} \cdot m_T^3 (1 - m) \cdot h^{2/3} + \frac{\omega \cdot t \cdot \xi}{\rho} \right], (72)$$

- где  $\mu$  - вязкость газа, Н·с/м<sup>2</sup>;  
 $\omega$  - 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;  
 $m_T$  - пористость ткани, доли;  
 $\rho$  - плотность пыли, кг/м<sup>3</sup>;  
 $\xi$  - запыленность газа, кг/м<sup>3</sup>;  
 $t$  - время между регенерациями (период регенерации), с;  
 $h_0$  - удельное гидравлическое сопротивление ткани в чистом виде, отнесенное к толщине, равной 1 м, при скорости воздуха 1 м/с, Н/м<sup>2</sup>.

Значения величин  $m_T$ ,  $h_0$ ,  $h'_0$  для некоторых тканей

Ткань	$m_T$	Гидравлическое сопротивление, Н/м <sup>2</sup>
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

<sup>x</sup>Числитель -  $h_0 \cdot 10^5$ , знаменатель -  $h'_0$  (мм.вод.ст).

1	2	3
Нитрон 5303	0,77	4,7/0,8
Нитрон термофиксированный	0,72	7,2/1,2
Полифен	0,66	8,8/1,5
Ткань из стекловолокна сатин С <sub>2-5/3</sub>	0,55	27/4,5
Четырехремизный сатин из стекла № 7	0,49	88/14,8

П р и м е р ы:

1. С какой газовой нагрузкой можно работать при фильтрации газа запыленностью  $\lambda = 1,4 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>, если известно, что плотность пыли  $\rho = 6400$  кг/м<sup>3</sup>, а дисперсность  $d_0 = 0,35 \cdot 10^{-6}$  м; пористость слоя пыли  $m = 0,94$ ; температура газа  $T = 90^\circ\text{C}$ ; время между регенерациями  $t = 15$  мин.; в фильтре применяют рукава НЦМ. Пористость ткани  $m_t = 0,83$ ;  $h_0 = 1,8 \cdot 10^5$ . Желательно, чтобы сопротивление ткани фильтра составляло около 90 мм.вод.ст. (900 Н/м<sup>2</sup>).

При  $90^\circ\text{C}$   $\mu = 22 \cdot 10^{-6}$  Н·с/м<sup>2</sup>.

Подставляем эти данные в формулу (72).

$$900 = \frac{817 \cdot 22 \cdot 10^{-6} \cdot \omega \cdot 0,06}{(0,35 \cdot 10^{-6})^2 \cdot 0,94^3} \left[ 0,82 \cdot 10^{-6} (0,35 \cdot 10^{-6})^{0,25} \times \right. \\ \left. \times (1 - 0,94) \cdot 0,83^3 (1,8 \cdot 10^5)^{\frac{2}{3}} + \frac{\omega \cdot 15 \cdot 60 \cdot 1,4 \cdot 10^{-3}}{6400} \right] = \\ = 10600 \cdot \omega \quad (2,18 + 197\omega).$$

Отсюда находим, что  $\omega = 0,016$  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  $\lambda = 14 \cdot 10^{-3}$  кг/м<sup>3</sup>. Скорость фильтрации  $\omega = 0,9/60$  м/с; плотность вельцоокси  $\rho = 5400$  кг/м<sup>3</sup>; средний размер частиц  $d_0 = 1,3 \cdot 10^{-6}$  м; температура газа около  $90^\circ\text{C}$ ; пористость осевшей пыли  $m = 0,85$ . Сопротивление ткани желательно иметь порядка  $\Delta P = 40$  мм.вод.ст. (400 Н/м<sup>2</sup>).

При температуре  $90^\circ\text{C}$  вязкость газа  $\mu \approx 22 \cdot 10^{-6}$  Н·с/м<sup>2</sup>.

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.

РАСЧЕТ ФРАКЦИОННОЙ СТЕПЕНИ УЛАВЛИВАНИЯ ЧАСТИЦ  
ПЫЛИ В ТУРБУЛЕНТНОМ ГАЗОПРОМЫВАТЕЛЕ (ТРУБА  
ВЕНТУРИ)

Средний диаметр капли при распылении воды газовым потоком определяется по эмпирической формуле

$$d_k = \frac{4870}{\omega} + 28,18 q^{1,5} \quad (73)$$

где  $\omega$  - скорость газов в горловине, м/с;

$q$  - расход воды на 1 м<sup>3</sup> газа, м<sup>3</sup>.

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

$$St = \frac{d^2 \cdot \omega \cdot \rho_n}{18 \mu \cdot D} \quad (74)$$

где  $d$  - диаметр частицы, м;

$\omega$  - скорость частицы относительно тела осаждения, м/с;

$\rho_n$  - плотность вещества частицы, кг/м<sup>3</sup>;

$\mu$  - динамическая вязкость газа, н·с/м<sup>2</sup>;

$D$  - диаметр тела осаждения, м.

П р и м е р.

Требуется определить эффективность улавливания частиц пыл размером 1, 2, 3 мкм при следующих условиях: скорость газа в горловине составляет  $\omega = 60$  м/с; плотность пылевых частиц  $\rho_n = 3500$  кг/м<sup>3</sup>; плотность газа  $\rho_r = 1$  кг/м<sup>3</sup>; кинематическая вязкость газа  $\mu = 20 \cdot 10^{-6}$  м<sup>2</sup>/с; удельный расход воды на орошение распылителя:

$$L = 0,0006 \text{ м}^3/\text{м}^3 \text{ газа}$$

Средний размер капель равен:

$$d_k = \frac{4870}{60} + 28,18 q^{1,5}$$

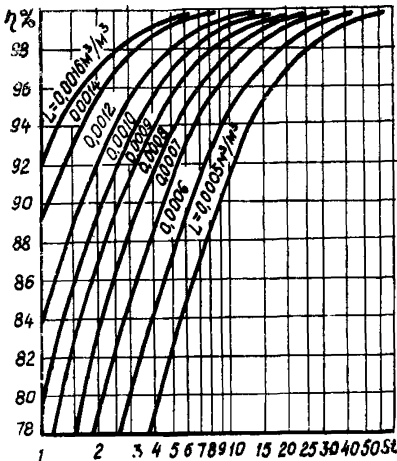
$$d_k = \frac{4870}{60} + 28,18 \cdot 0,0006^{1,5} = 94 \cdot 10^{-6} \text{ м}$$

Критерий\* St равен:

$$St = \frac{d^2 \cdot \omega \cdot \rho}{18 \mu \cdot D}$$

Для частиц диаметром 1 мкм ( $1 \cdot 10^{-6}$  м) St равен:

$$St = \frac{60 \cdot 3500 \cdot 10^{-12}}{18 \cdot 20 \cdot 10^{-6} \cdot 1 \cdot 94 \cdot 10^{-6}} = 6,2$$



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 1 мкм будет 93,1%; 2 мкм - 99,6%; 3 мкм - 99,9%.

Рис. 64. Зависимость фракционной степени улавливания пыли ( $\eta$ ) от критерия Стокса (St) и удельного расхода жидкости (L)



Таблица 60

ПРЕДЕЛЬНО ДОПУСТИМЫЕ КОНЦЕНТРАЦИИ ВРЕДНЫХ  
ВЕЩЕСТВ В ВОЗДУХЕ НАСЕЛЕННЫХ МЕСТ [30]

Наименование вещества	В атмосферном воздухе населенных мест, мг/м <sup>3</sup>	
	максимально разовая	среднесуточная
Пыль не токсичная	0,5	0,15
Сернистый ангидрид	0,5	0,05
Оксид углерода	3	1
Оксиды азота в пересчете на диоксид азота	0,085	0,085

Перечень и основные характеристики пылеулавливающего оборудования

№ п/п	Наименование показателей	Производительность, м³/ч	Сопротивление, кг/м²	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, г/м³	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава фильтра, мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты			Масса, кг	Вспомогательное оборудование		Ориентировочная стоимость пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
									длина, мм	ширина, мм	высота, мм		вентиль-тор	электродвигатель			

циклоны, Батарейные циклоны

I. Циклоны НИИОГАЗ

ЦН-15	ОСТ 26-14-1385 и ОСТ 26-14-1268-75																	
ЦН-15-300П	630-1000						300	1	692	692	2493	208			80			
ЦН-15-400П	1100-1800						400	1	692	692	3000	275			100			
ЦН-15-500П <sup>X</sup>	1800-2800						500	1	790	790	3666	385			110			
ЦН-15-600П <sup>X</sup>	2500-4100						600	1	930	930	4382	520			142			
ЦН-15-700П	3500-5500						700	1	1032	1032	5088	660			167			
ЦН-15-800П <sup>X</sup>	4500-7200						800	1	1115	1115	5704	825			190			
ЦН-15-900П	5700-9200						900	1	1230	1230	6510	1010			240			
ЦН-15-1000П	7100-11300						1000	1	1330	1330	6926	1195			385			
ЦН-15-1200П	10200-16200						1200	1	1530	1530	8248	1630			-			
ЦН-15-1400П	13900-22200						1400	1	1720	1720	9470	2180			720			
ЦН-15-300x2УП	1270-2000						300	2	795	638	2643	277			122			
ЦН-15-400x2УП	2300-3600						400	2	890	724	3350	456			163			
ЦН-15-500x2УП <sup>X</sup>	3500-5600						500	1	1225	880	4066	680			194			
ЦН-15-600x2УП <sup>X</sup>	5100-8100						600	2	1336	988	4682	890			245			
ЦН-15-700x2УП	6900-11100						700	2	1555	1020	5488	1140			297			
ЦН-15-800x2УП <sup>X</sup>	9000-14400						800	2	1750	1118	6204	1475			367			
ЦН-15-900x2УП	11400-18300						900	2	1920	1180	6910	1830			-			
ЦН-15-400x4УП	4500-7200						400	4	1006	1170	3450	850			305			

Для улавливания взвешенных твердых частиц из газов. Рекомендуется для улавливания: золы из дымовых газов котельных установок; пыли из резинового типа сушилок; зернистого катализатора в процессах каталитического крекинга; пыли, удаляемой после помола; зернистых и пылевидных продуктов, перемещающихся пневмотранспортом; пыли, уносимой из аппаратов со взвешенным слоем; пыли,

Характерный завод-строитель

Продолжение таблицы 61

№ п/п	Наименование показателя	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, г/м <sup>3</sup>	Расход воды, л/с	Диаметр цилиндра или рукава фильтра, мм	Число шпатов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты			Масса, кг	Вспомогательное оборудование		Ориентация готовящаяся цена пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
									длина, мм	ширина, мм	высота, мм		вентильатор	электродвигатель			
	ЦН-15-500x4УП <sup>X</sup>	7000-11300					500	4	1100	1330	4166	1225			370	выбрасываемой вентиляционными установками.	
	ЦН-15-600x4УП <sup>X</sup>	10200-16300					600	4	1335	1605	4882	1700			450		
	ЦН-15-700x4УП	13800-22000					700	4	1490	1855	5588	2210			572		
	ЦН-15-800x4УП <sup>X</sup>	18100-28900					800	4	1705	2070	6304	2870			710		
	ЦН-15-900x4УП	22800-36600					900	4	1904	2324	7010	3610			-		
	ЦН-15-500x6УП	10600-16900					500	6	1765	1765	4216	1960			565		
	ЦН-15-600x6УП	1530-24400					600	6	2075	2075	5032	2720			672		
	ЦН-15-700x6УП	20800-33100					700	6	2350	2350	5688	3550			860		
	ЦН-15-800x6УП	27100-43300					800	6	2555	2630	6504	4640			1052		
	ЦН-15-900x6УП	34300-54900					900	6	2860	2950	7360	5810			1245		
	ЦН-15-1000x6УП	42600-67800					1000	6	3180	3275	8226	7100			-		
	ЦН-15-500x8УП	14100-22600					500	8	2300	2024	4366	2720			760		
	ЦН-15-800x8УП	36000-57500					800	8	3468	3092	7204	6650			1472		
	Циклоны типа СК-ЦН-34	ОСТ 26-02-759-73															
	СКЦН-34БП-600	2540					600	I	900	895	2405	205			660	Для очистки газовоздушной смеси систем пневмотранспорта, аспирации и пневмоуборки	Кузнецкий завод по лирированию машиностроения
	СКЦН-34БП-700	3460	350--450		1000		700	I	990	915	2620	230			-		
	СКЦН-34БП-800	4520					800	I	1100	976	2950	270			1270		
	СКЦН-34БП-900	5730					900	I	1245	1142	3590	446			-		
	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			-		

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	I	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	23000	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	1100	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	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, г/м <sup>3</sup>	Расход воды, л/с	Диаметр цлона или рукава фильтра, мм	Число аппаратов или рукавов фильтра, шт.	Габариты			Масса, кг	Вспомогательное оборудование		Ориентировочная стоимость пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
									длина, мм	ширина, мм	высота, мм		вентиль-тор	электродвигатель			
	ЦН-15 во взрыво-безопасном исполнении	ОСТ 24.838.13-73															
	ЦН-15-1120	11000-13000			от пыли		1120		1430		7058	1548					
	ЦН-15-1250	13000-17000			$d_m = 10$ мм		1250		1555		7802	1913					
	ЦН-15-1400	17000-20000			плотность 2,7 г/см <sup>3</sup>		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															
		50000	80	98,5	до 95	-	2360		2360	2360	9000	5544					
		75000	80	98,5	до 95	-	2700		2700	2700	12000	5800					

Для очистки запыленных газов на сушильных установках обогатительных фабрик

Кызыл-Кия ЦЭММ по "Средаз-уголь"

3. Батарейный циклон БЦ											Для сухого улавливания золы, уносимой дымовыми газами из топок паровых стационарных котлов при сжигании твердых топлив	Кузнецкий машиностроительный завод
БЦ-2-4х(3+2)	15000-17400	45-60	85-90	254	20	2120	1810	4020	3510	790		
БЦ-2-5х(3+2)	18900-21900				25	2400	1810	4120	4140	990		
БЦ-2-5х(4+2)	22600-26100				30	2600	2090	4120	4830	1190		
БЦ-2-6х(4+2)	27200-31400				36	2880	2090	4220	5600	1430		
БЦ-2-6х(4+3)	31600-36500				42	2880	2370	4220	6360	1660		
БЦ-2-6х(5+3)	36200-41900				48	3180	2650	4420	7050	1900		
БЦ-2-7х(5+3)	42200-48900				56	3460	2650	4520	7950	2230		
4. Батарейный циклонный пылеуловитель типа БЦУ-М												
БЦУ-12М	6000-8500				12	1310	1600	3500	1800	1400	Для улавливания золы в промышленных котельных и на тепловых электростанциях, для очистки пыленных газов на сушильных установках	Ангренинские терские управления "Средазэнергоуголь"
БЦУ-16М	8500-11000				16	1660	1600	4000	2000	1800		
БЦУ-20М	11000-14000				20	1660	1930	4200	2200	2200		
БЦУ-25М	14000-18000				25	2010	1930	4600	2700	2800		
БЦУ-30М	18000-23000				30	2010	2260	5000	3200	3300		
БЦУ-42М	23000-30000				42	2360	2590	5500	4200	4650		
БЦУ-49М	30000-38000				49	2710	2590	5500	7000	5400		
БЦУ-64М	38000-47000	100-125	95,5-99,8		64	3060	2920	6300	8000	7100		
БЦУ-81М	47000-60000				81	3410	3250	7000	9000	9000		
БЦУ-100М	60000-75000				100	3760	3580	8000	10500	11000		
БЦУ-130М	75000-95000				130	4810	3580	9000	16000	14300		
БЦУ-156М	95000-120000				156	4810	4240	10000	18500	17200		
БЦУ-210М	12000-150000				210	5510	4900	11000	22000	23100		
5. Пылеуловитель батарейный типа БПР	ТУ 12-44-556-77	ОУТ	24.070.01								Для сухой технологической очистки газов сушильных установок	Карагандинский машиностроительный завод им. Пархоменко, Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Средазуголь"
БПР-50А	50000	до 100		-	800	8	4810	1740	10420	8245		
БПР-75А	60000-75000	90-110	90-95	-	800	12	5060	4250	8280	13100	ВАО 22-6	6670
БПР-100А	100000	до 110		-	800	16	6000	3640	10420	17115		9400

Продолжение таблицы 61

№ п/п	Наименование показателя	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, г/м <sup>3</sup>	Расход воды, л/с	Диаметр цилиндра или рукава фильтра; мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре; шт.	Габариты			Масса, кг	Вспомогательное оборудование		Назначение	Завод-изготовитель
									длина, мм	ширина, мм	высота, мм		вентиль-тор	электродвигатель		

6. Пылесудитель батарейный циклонный типа ПБЦ

ТУ 24-7-651-73

ПБЦ-15	12000-15000	130-150	95,5-99,8	75	230	2	3130	2470	5270	4000						
ПБЦ-25	25000-30000	130-150		75		3	3130	2470	5760	5000						
ПБЦ-35	35000-40000	130-150		75		4	3130	2470	6400	6100						
ПБЦ-50	50000-60000	130-150		75		4	4630	3130	6550	12500						

3500 Для очистки пылевых газов на сушилках обогатительных фабрик  
 3800  
 4850  
 7600

Каргандинский машиностроительный завод им. Пархоменко, Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Среднеуголь"

Мокрые пылесудители

7. Аппарат мокрого пылеудливания МПР

ОСТ 24.070.01

МПР-75	75000-85000	150	99	15	2,604 2,951	2500	3000	3000	10000	5000						
МПР-100	100000-125000	150-180	99		3,889 4,816	3000	3350	3300	10500	6300						

19700 Для окончательной очистки пылевых газов на сушилках обогатительных фабрик и на аспирационных системах

Каргандинский машиностроительный завод им. Пархоменко, Кызыл-Кия, ЦЭММ ПО "Среднеуголь"

8. Скоростные промыватели СИОТ

СИОТ-5 12500-17500

0,556

2110 2520 6100 1680

-

СИОТ-6	17500-25000				0,778	2540	2800	6570	1980		- Для очистки воздуха в вытяжных вентиляционных системах от различных видов смачивающей пыли, за исключением цементирующей и волокнистой, а также конденсационных аэрозолей	По индивидуальным заказам
СИОТ-7	25000-35000				1,084	2840	3080	7145	2445			
СИОТ-8	35000-50000	80-150	98-99	5	1,529	3860	4160	7840	3405			
СИОТ-9	50000-70000				2,141	4480	4670	8680	5025			
СИОТ-10	70000-100000				3,058	5140	5190	9660	6560			
СИОТ-11	100000-140000				4,309	5850	5780	10800	8500			
СИОТ-12	140000-200000				6,116	6800	6490	12170	11770			
СИОТ-13	200000-280000				8,618	8050	7430	13850	18620			
9. Пылеуловитель вентиляционный мокрый ПВМ												
ПВМ-3С	3000				0,08-0,14	1250	1100	2794	676	ЦПЗ-50 № 3,2	Для очистки аспирационного воздуха и вентиляционных выбросов от неслипающихся и нецементирующихся пылей	Мингечаязский завод дорожных машин (г. Мингечаяз, Азербайджанской ССР)
ПВМ-3К	3000				-	-	-	-	-	ЦПЗ-50 № 3,2		
ПВМ-5С	5000	88	99		0,17-0,28	1650	1110	3085	815	ЦП7-40 № 5		
ПВМ-5К	5000				-					ЦП7-40 № 5		
ПВМ-10С	10000			15	0,33-0,56	2500	1514	3412	1395	ЦП7-40 № 6		
ПВМ-10К	10000				0,01-0,03	3683	1800	3585	1700	ЦП7-40 № 6		
ПВМ-20С	20000				0,67-1,11	2510	2314	3680	1942	ЦП7-40 № 8		
ПВМ-20К	20000				0,03-0,06	3683	2500	4060	2300	ЦП7-40 № 8		
ПВМ-40С	40000				1,33-2,22 <sup>x</sup>	4750	2416	4110	4737	Ц4-76 № 10		
ПВМ-40К	40000				0,06-0,11	5900	2500	4200	-	Ц4-76 № 10		
10. Пылеуловитель коагуляционный мокрый типа КМП												
КМП-2,5	7100-12400				0,514	1000	2314	1420	2250	1060	Для очистки воздуха от крупно-средне- и частично мелкодисперсной аэристой пыли.	По индивидуальным заказам



Продолжение таблицы 61

№ п/п	Наименование показателя	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Сопро-тивле-ние, кг/м <sup>2</sup>	Степень очистки, %	Допус-тимая запы-лен-ность газа, г/м <sup>3</sup>	Рас-ход воды, л/с	Диаметр ци-клона или рука-ва филь-тра, мм	Число аппаратов рука-вов филь-тра, шт.	Габариты			Мас-са, кг	Вспомога-тельное оборудование		Ориен-тиро-воч-ная огто-вая цена пыле-улав-лива-ющего уст-рой-ства, руб.	Назначение	Завод-изгото-витель
									дли-на, мм	шири-на, мм	высо-та, мм		вен-тиля-тор	элек-тро-двиг-атель			
	КМП-3,2	16300-28600				0,695	1200			2800	1845	4990	1260			- Применяется на	
	КМП-4,0	18100-31700				0,917	1500			3540	2240	5630	1777			- аспирационных	
	КМП-5,0	28300-49500				1,111	1900			3980	2705	7866	3949			- доподготови-	
	КМП-6,3	44900-78500	120-350	99	30	1,583	2300			4620	3190	8656	5495			- тельных пред-	
	КМП-7,1	57000-99700				1,777	2700			5240	3695	9496	7353			- приятий и аста-	
	КМП-8,0	72300-126600				2,056	3000			5720	4105	10086	10759			- кад доменных	
																- цехов черной	
																- металлургии	
I1.	Ротоклон "Урэл"	10000-15000 30000-40000 60000-80000	до 1000	99-99,9	100	0,6- -6,0 м <sup>3</sup> /ч				2800 4350 5800	1200 1550 -	3160 3350 5700	- 1872 9986		600	Для очистки газов доменных печей и аспирационных систем	По индивидуальным заказам
I2.	Циклон с водяной пленкой типа ЦВП															Для очистки запыленного воздуха, удаляемого вентиляционными установками перед выбросом его в атмосферу и для любых видов нецементирующей пыли, в том числе образующейся при обработке и транспортировании песка, глины, угля, известняка, взрывчатых и различных руд	По индивидуальным заказам
	ЦВП-3 с повышенной скоростью	1300-2000 1300-1700	36-91,5 94-176			1,24 0,67	315			603	315	2434	64				
	ЦВП-4 с повышенной скоростью	2000-3200 2000-2700	36-91,5 94-178			1,37 0,69	400			705	400	3014	107				
	ЦВП-5 с повышенной скоростью	3200-5000 3200-4200	36-91,5 94-178	98-99	10	1,61 0,81	500			809	500	3684	161				
	ЦВП-6 с повышенной скоростью	5000-8000 5000-6700	36-91,5 94-178			1,87 0,94	630			1080	630	4554	237				

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	2,5м³/ч 0,06 л на 1 м³/ч очищаемого воздуха		2945	2500	6984	5830	ВАО-101-4 125квт	4500	Для санитарной очистки загрязненного воздуха систем промышленной вентиляции	Артемовский машиностроительный завод (г.Артемовск Свердловской области)	
<u>Рукавные фильтры</u>															
14. Многосекционный рукавный фильтр РФГ															
одинарный															
РФГ-4	11200														
РФГ-6	18900					56	3003	2250		6320		5000	Для сухой очистки загрязненных газов в технологических и аспирационных системах промышленной вентиляции	Куйбышевский завод "Строммашина"	
РФГ-8	22300					84	4503	2250		9600		6900			
РФГ-10	28000	80-90				112	6003	2250		12300		8700			
сдвоенный			99			220	140	7503	2250	8975	15400	10500			
РФГ-8	22300														
РФГ-12	33500						112	3003	4500		14212		9800		
РФГ-16	44700						168	4503	4500		19792		13600		
РФГ-20	56000						224	6003	4500		25344		17200		
							280	7503	4500		31575		20600		
15. Фильтры рукавные типа ФРКИ	ОСТ 26-14-2004-77														
ФРКИ-30	1700-3600														
ФРКИ-60	3500-7100														
ФРКИ-90	5300-10600														
			99	50			135	4140	2060	3620	3690		1545	Для улавливания мелкодисперсных пылей, не являющихся токсичными, пожаро- и взрывоопасными	Семибратовский экспериментальный завод газоочис-
								2820	2060	3620	2560		2441		
								4140	2060	3620	3690		3318		

Продолжение таблицы 6I

№ п/п	Наименование показателя	Производительность, м <sup>3</sup> /ч	Сопротивление, кг/м <sup>2</sup>	Степень очистки, %	Допустимая запыленность газа, г/м <sup>3</sup>	Расход воды, л/с	Диаметр циклона или рукава в фильтре, мм	Число аппаратов или рукавов в фильтре, шт.	Габариты			Масса, кг	Вспомогательное оборудование		Ориентировочная стоимость пылеулавливающего устройства, руб.	Назначение	Завод-изготовитель
									длина, мм	ширина, мм	высота, мм		вентильатор	электродвигатель			
	ФРКИ-160	10600-21300							5480	2060	4620	5680			4892		
	ФРКИ-360	21300-42700							5850	4370	4880	11130			9216		тительной аппаратуры
16.	Фильтр всосывающий рукавный ФВК															Для сухой очистки запыленных газов в цементно-технологических и аспирационных системах промышленной вентиляции	Киевский завод цементно-го машиностроения имени Кадмина
	ФВК-30	1500						36	1700	1690	3910	1050	АОЛ2-11-4		820		
	ФВК-60	3000	80-90	99	20	-	135	72	2800	1690	3910	1690			1830		
	ФВК-90	4500						108	3900	1690	3910	2300			1830		
17.	Фильтр рукавный высоковакуумный ФВС-45	3000	120-150	99	-	-	172	48	4230	2720	4502	4778	АОЛ2-22-6 АОЛ2-11-4			Для очистки воздуха от пыли	Дзержинский завод "Химмаш"

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Отчет "Разработать каталог-справочник основных схем и оборудования для очистки от аэрозолей отходящих газов" (отчет 1307 03.01.00). Научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт обогащения твердых горючих ископаемых (ИОТТ), г.Люберцы, 1977.

2. Временное руководство по применению средств борьбы с пылью на углеобогажительных фабриках и сортировках шахт. М., "Недра", 1971.

3. Временная методика по расчету количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу при сжигании топлива, сушке угля и плавке металла на предприятиях угольной промышленности. Пермь, НИИСУголь, 1976.

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", 1974.

5. Б о б р и к о в В.В., Ф и л и п п о в В.А. Защита воздушного бассейна от загрязнения промышленными газами. М., 1975.

6. Нормы технологического проектирования углеобогажительных фабрик и поверхности шахт. Раздел - комплекс обеспыливания. Минуглепром СССР, М., 1976.

7. Отчет ИГИ по теме I201, 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., 1975.

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. Д у г о в с к о й С.И., А н д р и а н о в И.С. Очистка газов, отходящих от вагранок и электросталеплавильных печей. М., "Машиностроение", 1972.

10. Р у с а н о в А.А., У р б а х И.И., А н а с т а с и - а д и 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. Родатиса 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 НИИСТАЗ. Руководящие указания по проектированию, изготовлению, монтажу и эксплуатации. Ярославль, 1971.

16. Газоочистное оборудование. Циклоны. Каталог, ЦИНТИХИМ-НЕФТЕМАШ. 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-

ренной 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.Д. 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 . . . . .

Часть I.

Характеристика вредных выбросов и схемы очистки

Характеристика вредных выбросов в атмосферу углеобога-  
тительными фабриками. . . . . 4

Характеристика вредных выбросов в атмосферу котельными  
установками . . . . . 9

Характеристике вредных выбросов в атмосферу плавильны-  
ми 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 углеобогати-  
тельных фабрик. . . . . 39

Часть II.

Оборудование

Сухие инерционные пылеуловители . . . . .

Циклоны НИИОГАЗа и ИОТТ. . . . . 43

Батарейные циклоны типа БЦ . . . . . 72

Батарейный циклонный пылеуловитель типа БЦУ-М. . . . 75

Батарейные пылеуловители ББР . . . . . 77

Батарейные циклоны типа ПБЦ. . . . . 78

Мокрые пылеуловители

Аппараты мокрого пылеулавливания типа МНР. . . . . 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 НИМОГАЗ. . . . .	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. 60х90 I/16 Печ.л-ов I2  
ЛБ 50006 Тираж 500 экз. Цена 87 коп. Зак. 902

---

Типография ПВВКУ