ЦНИИПромзданий
Госстроя СССР

Рекомендации

по проектированию очистки воздуха от пыли в системах вытяжной вентиляции



Москва 1985

gost.e-ecolog.ru

ЦЕНТРАЛЬНЫЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
И ПРОЕКТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ЗДАНИЙ И СООРУЖЕНИЙ
(ЦНИИПРОМЗДАНИЙ) ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
ПО ПРОЕКТИРОВАНИЮ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА ОТ ПЫЛИ В СИСТЕМАХ ВЫТЯЖНОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ



Москва Стройиздат 1985

УДК 697.921.42 : 621.928.9

Рекомендованы к изданию секцией по проблемам отопления, вентиляции, кондиционирования и очистки воздуха Научно-технического совета ЦНИИПромзданий Госстроя СССР.

Рекомендации по проектированию очистки воздуха от пыли в системах вытяжной вентиляции/ЦНИИПромзданий. — М.: Стройиздат, 1985. — 36 с.

Даны классификация и основные технические и экономические показатели пылеуловителей, рекомендации по их выбору, расчету и применению в системах вытяжной вентиляции, методика оценки экономической эффективности.

Для научно-технических работников научно-исследовательских и проектных организаций.

Табл. 4, ил. 6.

Разработаны ЦНИИПромзданий под руководством д-ра техн. наук *А. И. Пирумова.* При работе над Рекомендациями учтены замечания НИИОГАЗ, Сантехпроекта, Гинцветмета, ВНИИОТ (г. Свердловск).

Р $\frac{3206000000-331}{047\ (01)-85}$ Инструкт.-нормат., II вып. — 57 — 84.

© Стройиздат, 1985

ПРЕДИСЛОВИЕ

Рекомендации распространяются на очистку от пыли и других аэрозолей, в том числе аэрозолей масел и маслянистых жидкостей, кислот и щелочей, воздуха, удаляемого вытяжными вентиляционными системами из помещений через вентиляционные укрытия, непосредственно сообщающиеся с объемом помещения, перед его выбросом в атмосферу или с целью возвращения в помещения для рециркуляции.

Даны основные определения и классификация, рекомендации по выбору и расчету уловителей пыли и других аэрозолей (в дальнейшем пылеуловители), а также по выбору экономичных технических решений, унификации, повышению надежности достижения проектных показателей очистки, что будет способствовать защите от загрязнения воздушной среды. В целях экономии топливных ресурсов предусматривается максимальное использование очищенного воздуха для рециркуляции в холодный период года без ухудшения гигиенических показателей воздушной среды в помещениях и с обеспечением пожаро- и взрывобезопасности предприятий.

1. ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ

Классификация аэрозолей

1.1. Аэрозолями называются дисперсные системы, состоящие из твердых или жидких аэрозольных частиц (дисперсной фазы), взвешенных в воздушной (дисперсионной) среде.

1.2. Пыли — аэрозоли с твердыми частицами диспергационного происхождения, образовавшиеся при измельчении твердых тел, например при дроблении руд, механической обработке металлов и т. п. или при распылении порошков.

1.3. Дым — аэрозоли с твердыми частицами, образовавшимися при горении или возгонке, в результате конденсации перенасыщенных паров, например при плавке металлов и их сварке, при химических и фотохимических реакциях некоторых веществ.

1.4. Туманы — аэрозоли с жидкими частицами, образовавшимися в результате объемной конденсации перенасыщенных паров жидкостей или при диспергировании жидкостей.

Примечание. В инженерной практике обычно называют пылью частицы различного происхождения, а также среду со взвешенными частицами и осевшие твердые частицы — порошки. Эта установившаяся терминология частично сохранена в дальнейшем изложении.

Свойства аэрозолей, подлежащие учету при проектировании очистки

1.5. Важнейшим свойством аэрозолей является их дисперсность. Под дисперсностью аэрозолей понимают совокупность размеров всех частиц, составляющих данную аэродисперсную систему. Дисперсность определяется положением графика фракционного состава данной системы на классификационной номограмме по ГОСТ 12.2.043—80 (рис. 1) [1]. В соответствии с зонами, выделенными на номограмме прямыми линиями, различают пять основных классификационных групп, а именно:

I — очень крупнодисперсная пыль;

II — крупнодисперсная пыль (например, песок для строительных растворов по ГОСТ 8736—77 с изм.);

III — среднедисперсная пыль (например, цемент);

IV — мелкодисперсная пыль (например, кварц молотый пылевидный по ГОСТ 9077—82);

V — очень мелкодисперсная пыль.

Пример 1. Определить классификационную группу пыли, если по опытным данным она имеет следующий дисперсный состав:

Размер частиц, мкм . . .	<5	5—10	10—20	20—40	40—60	>60
Содержание фракций по «частным остаткам» $R(d)$, % по массе . . .	10	16	24	22	12	16

Решение. Рассчитываем дисперсный состав пыли по «полным проходам»:

Размер частиц, мкм	<5	<10	<20	<40	<60
Содержание фракций по «полным проходам» $D(d)$, % по массе	10	26	50	72	84

Наносим точки, соответствующие содержанию первых пяти фракций по «полным проходам» на номограмму (рис. 1) и, соединив их, получим линию, расположенную в зоне *III*. Следовательно, данная пыль относится к III классификационной группе. Распределение дисперсности частиц за пределом интервала $5 \leqslant d \leqslant 60$ неизвестно. Оно может сохранять линейный в ВЛСК характер, например для области размеров <5 мкм, но может быть и усеченным, как показано пунктиром на рис. 1, для области размеров >60 мкм. При оценке дисперсности пыли эта область не учитывается.

Примечания: 1. Под фракционным составом пыли подразумевается содержание массы различных фракций крупности, опреде-

[1] Номограмма построена в вероятностно-логарифмической системе координат (ВЛСК).

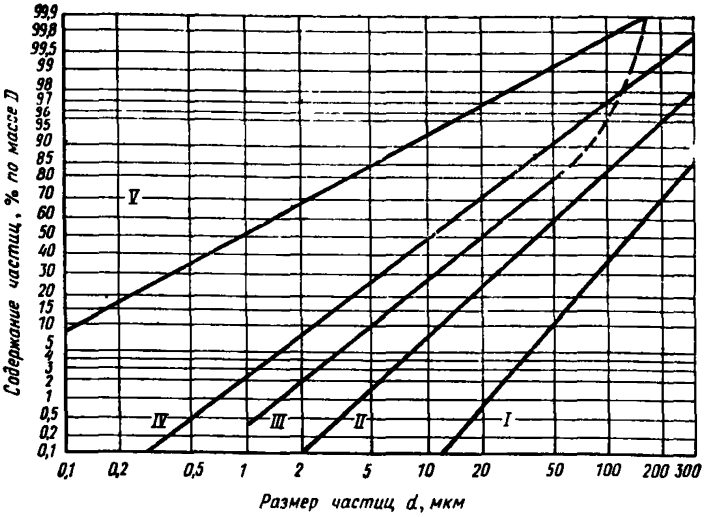

Рис. 1. Классификационная номограмма пылей по ГОСТ 12.2.043—80

ленное непосредственно в потоке, например с помощью каскадного импактора НИИОГАЗ.

В тех случаях, когда данные о фракционном составе пыли получены путем ее осаждения в пробоотборном устройстве и последующего дисперсионного анализа, они, как правило, должны рассматриваться как ориентировочные. Данные, полученные с помощью жидкостных седиментаторов (седиментационные весы, пипетки), часто характеризуются повышенным против действительного содержанием мелких фракций. Расхождение с истинным дисперсным составом больше для мелкодисперсных пылей.

Данные о фракционном составе пыли, полученные путем анализа проб порошков, взятых из бункеров пылеуловителей, не могут быть использованы для оценки дисперсности пыли, взвешенной в очищаемом воздухе, за исключением тех случаев, когда эффективность улавливания была близка к 100%.

2. В тех случаях, когда график фракционного состава аэрозоля, нанесенный на классификационную номограмму, пересекает границы зон, пыль относят к классификационной группе высшей из зон.

1.6. Дисперсность аэрозоля при использовании вероятностно-логарифмической системы координат (рис. 1) может задаваться также средним геометрическим (медианным) диаметром $d_г$ и параметром наклона $\zeta\,(2\,d_г)$ или $\zeta\,(d_г/2)$. Медианный размер $d_г$ определяется из условия, что масса частиц более крупных и более мелких, чем

$d_г$, составляет по 50%. Положение точки $d_г$ в ВЛСК определяется пересечением ординаты, соответствующей этому значению диаметра, с абсциссой $D=50\%$. Для построения наклона прямой на оси абсцисс ($D=50\%$) находят точку, соответствующую $2d_г$ (или $d_г/2$); на перпендикуляре, восставленном из этой точки, откладывают заданную величину $\zeta(2d_г)$ или, соответственно $\zeta(d_г/2)$. Определенные точки соединяют прямой.

В случае пыли, график дисперсного состава которой приведен на рис. 1, $d_г=20$ мкм, $\zeta(2d_г)=72\%$.

Примечание. Данный метод задания дисперсного состава может быть использован только в тех случаях, когда в ВЛСК он представляется в виде прямой линии.

1.7. Вследствие своей развитой поверхности аэрозольные частицы отличаются от исходного материала некоторыми важными свойствами и в первую очередь повышенной пожаро- и взрывоопасностью, слипаемостью и плохой смачиваемостью.

1.8. Взрывоопасность аэрозолей характеризуется нижним пределом массовой концентрации частиц в единице объема аэрозолей (г/м³), при которой данная аэрозоль способна взрываться при условии введения в аэродисперсную систему открытого пламени или искры достаточной мощности.

В вентиляционной практике взрывоопасной пылью считаются аэрозоли, нижний предел взрываемости которых менее 65 г/м³. Аэрозоли, нижний предел взрываемости которых более 65 г/м³, считаются невзрывоопасными и классифицируются как горючие.

Примечание. Показатели взрывоопасности должны уточняться в технологическом задании на проектирование систем аспирации.

1.9. Частицы диэлектрических материалов, главным образом синтетического и органического происхождения, при своем образовании и при движении в воздуховодах способны приобретать электрический заряд за счет трения о воздух, друг о друга и о стенки неметаллических воздуховодов. Следует учитывать, что накопление электрического потенциала при определенных условиях может привести к искровому электрическому пробою и, как следствие, к поджиганию и взрыву аэросмеси.

Электрический потенциал накопляется и в металлических воздуховодах, так как диэлектрические свойства порошка препятствуют утечке заряда.

1.10. Повышенная слипаемость пыли затрудняет эксплуатацию пылеуловителей и снижает их надежность вследствие налипания на стенки, сводообразованию в бункерах, затрудняющему разгрузку, и пр.

Слипаемость пыли зависит от следующих факторов:

а) дисперсности — чем мельче пыль, тем больше поверхность контакта в слое пыли и, соответственно, больше слипаемость. Все пыли IV и V группы дисперсности практически относятся к сильнослипающимся пылям, а пыли III группы — к среднеслипающимся (табл. 1);

б) пластичности материала пыли. Вследствие более легкой деформации поверхности пластичных частиц поверхность контакта увеличивается, что ведет к усилению слипаемости. К сильнослипающимся пылям относится глиняная пыль любой дисперсности;

в) влажности. Увлажнение частиц приводит к образованию слоя влаги на их поверхностях, что существенно увеличивает силы молекулярного взаимодействия и коагезию частиц друг к другу;

г) формы частиц. Пыли с частицами пластинчатой формы отличаются повышенной слипаемостью вследствие развитой поверхности контакта между частицами. К сильнослипающимся пылям относится также волокнистая пыль.

В табл. 1 дана условная классификация промышленных пылей по слипаемости на примере некоторых пылей, разработанная НИИОГАЗ.

Таблица 1

Классификационная группа пыли по слипаемости	Характеристика классификационной группы	Характерные пыли
I	Неслипающаяся	Шлаковая пыль; песок кварцевый
II	Слабослипающаяся	Коксовая пыль; апатитовая сухая пыль; летучая зола при слоевом сжигании углей всех видов и при сжигании сланцев; магнезитовая пыль; доменная пыль (после первичных осадителей); шлаковая пыль
III	Среднеслипающаяся	Летучая зола при пылевидном сжигании каменных углей без недожога; торфяная зола; влажная магнезитовая пыль; металлическая пыль; колчеданы; оксиды свинца, цинка и олова; сухой цемент; сажа; сухое молоко; мучная пыль; опилки

Классификационная группа пыли по слипаемости	Характеристика классификационной группы	Характерные пыли
IV	Сильно-слипающаяся	Гипсовая и алебастровая пыль; нитрофоска; двойной суперфосфат; цементная пыль, выделенная из влажного воздуха; волокнистая пыль (асбест, хлопок, шерсть и др.); все пыли с размером частиц <10 мкм

1.11. Смачиваемость пыли зависит от особенностей молекулярной структуры поверхности частиц. Смачиваемость (гидрофильность), как правило, уменьшается с увеличением дисперсности. В частности, трудносмачиваемым становится после дробления гидрофильный материал — кварц. Все частицы мельче 10 мкм, в особенности мельче 5 мкм, как правило, становятся несмачиваемыми (гидрофобными) независимо от их состава.

Смачиваемость зависит также от свойства смачивающей жидкости, ее поверхностного натяжения. Примером хорошо смачивающей жидкости является нефтяное масло (поверхностное натяжение около $30 \cdot 10^{-5}$ *Н*), плохо смачивающей — вода [$(70—72)\ 10^{-5}$ *Н*].

Примечание. Достоверных показателей о влиянии смачиваемости пыли на эффективность пылеуловителей, применяемых в вентиляционной практике, пока нет, поэтому смачиваемость пыли при проектировании очистки воздуха не учитывается.

1.12. Абразивные свойства аэрозолей (твердых пылей) зависят от твердости, формы, размера и плотности частиц; характеризуют интенсивность износа поверхностей пылеуловителей, с которыми они приходят в соприкосновение (стенки сухих циклонов, рукава рукавных фильтров), а также системы воздуховодов. Мокрые пылеуловители страдают от абразивного износа значительно меньше, чем сухие. Абразивность пыли увеличивается с повышением скорости очищаемого воздуха в степенной зависимости.

1.13. Аэрозоли кислот и щелочей, а при растворении в воде или при увлажнении и некоторые сухие аэрозоли могут оказывать существенное корродирующее влияние на пылеуловители, что должно учитываться при выборе материалов для их изготовления.

Требования к очистке воздуха, выбрасываемого в атмосферу

1.14. С целью защиты атмосферы выбросы вентиляционных систем должны очищаться с максимально возможной по технико-экономическим условиям полнотой.

1.15. Концентрация аэрозолей c_k в выбросах не должна превышать величины

$$c_k = 100k \text{ мг/м}^3, \qquad (1)$$

где k — коэффициент, принимаемый в зависимости от предельно допускаемой концентрации (ПДК) аэрозолей в воздухе рабочей зоны производственных помещений, согласно ГОСТ 12.1.005—76, мг/м³:

ПДК	До 2	2—4	4—6	6—10
k	0,3	0,6	0,8	1,0

1.16. Концентрацию аэрозолей в выбросах объемом менее 15 тыс. м³/ч с учетом трудности организации надлежащего обслуживания небольших очистных устройств и меньшего влияния на загрязнение атмосферы допускается принимать несколько большей по формуле

$$c_k = (160 - 4L)\,k \text{ мг/м}^3, \qquad (2)$$

где L — объем выброса, тыс. м³/ч.

Пример 2. Объем выброса 2,5 тыс. м³/ч. В выбросе содержится пыль минерального происхождения с содержанием кристаллической двуокиси кремния в количестве 8%.

Определить допускаемую концентрацию пыли в выбросе.

Решение. Согласно ГОСТ 12.1.005—76, ПДК данной пыли в воздухе рабочей зоны производственных помещений равна 4 мг/м³. Соответственно: $k = 0{,}6$ и $c = (160 - 4 \cdot 2{,}5)\,0{,}6 = 90$ мг/м³.

1.17. Концентрация, рассчитанная по формуле (1) или (2) проверяется на условие, что в результате рассеивания выброса в атмосфере концентрация аэрозолей с учетом фоновой загрязненности атмосферы не превышает:

а) в приземном слое атмосферы населенных пунктов — концентраций, указанных в СН 245-71;

б) в воздухе, поступающем в производственные и вспомогательные здания и сооружения через приемные отверстия систем приточной вентиляции и через открывающиеся проемы,— 30% ПДК тех же аэрозолей, в рабочей зоне помещений — по ГОСТ 12.1.005—76.

Валовой выброс каждого источника не должен превышать установленного для него ПДВ.

1.18. При наличии в выбросе частиц твердой пыли размером более 20 мкм последние должны улавливаться с эффективностью не

менее 90—95% независимо от ПДК пыли для предупреждения глазных травм у людей, находящихся в районе выброса, образования пылевых отложений на кровлях зданий и загрязнения территорий.

Требования к очистке воздуха, возвращаемого в производственные помещения для рециркуляции

1.19. Рециркуляция воздуха, очищенного от аэрозолей до допустимой остаточной концентрации, позволяет экономить тепло, расходуемое на подогрев наружного воздуха, который подается в помещения для компенсации вытяжки через местные отсосы в холодный и переходный периоды года, а в некоторых случаях утилизировать технологические тепловыделения. Возможность рециркуляции воздуха обязательно должна проверяться в каждом отдельном случае.

Учитывая тенденцию к росту цен на топливо, возможность рециркуляции рекомендуется предусматривать в проектах, также в тех случаях, когда на время составления проекта ее использование не дает существенного экономического эффекта.

1.20. Для рециркуляции следует использовать до 90% объема воздуха, удаляемого через вентиляционные укрытия; 10% указанного объема, но не менее объема, определенного по прил. 13 СНиП II-33-75 *, должно компенсироваться подачей наружного воздуха. Эффективность очистки воздуха, возвращаемого для рециркуляции, должна быть выбрана из такого расчета, чтобы концентрация аэрозолей в воздухе, поступающем в помещения, не превышала 30% ПДК тех же аэрозолей в воздухе рабочей зоны.

1.21. Для очистки от пыли воздуха, предназначенного для рециркуляции, рекомендуется, как правило, применять пылеуловители III класса эффективности и выше (см. табл. 2).

В случаях когда концентрация твердой пыли в очищенном воздухе превышает 0,15 мг/м^3, рекомендуется в целях предупреждения забивания пылью калориферов в холодное время года производить подогрев только добавленного наружного воздуха или пользоваться не калориферным подогревом воздуха, а, например, контактным.

1.22. Не рекомендуется предусматривать рециркуляцию очищенного воздуха в помещениях, в воздух которых выделяются аэрозоли I и, как правило, II класса опасности независимо от их количества, содержащегося в технологическом оборудовании и способного одновременно выделяться в воздух помещений. При выделении аэрозолей III класса опасности рекомендуется очистку воздуха производить в мокрых непроточных пылеуловителях III класса эффективности и выше или в воздушных электрических фильтрах II класса

эффективности и выше, предусматривая блокировку, автоматически превышающую доступ очищенного воздуха в помещения при нарушении установленного режима очистки. Должна быть исключена возможность одновременного выделения в воздух помещений такого количества аэрозолей, находящихся в технологическом оборудовании, при котором их концентрация, при неработающей вентиляции, превысит ПДК, установленные для рабочей зоны помещений.

Примечание. Требования к рециркуляции воздуха на предприятиях черной металлургии с 1985 г. определяются в соответствии с Указаниями для объектов черной металлургии (См.: БСТ, 1985, № 4, с. 14).

1.23. Режим работы пылеуловителей при использовании воздуха, очищенного в них для рециркуляции, следует контролировать по следующим параметрам:

а) мокрые пылеуловители:

рабочий уровень залива воды в непроточных пылеуловителях с внутренней циркуляцией воды, так как этот параметр при выполнении проектного или налаженного воздушного режима эксплуатации пылеуловителей определяет эффективность пылеуловителя;

сопротивление пылеуловителей или расход воздуха через них, так как изменение этих параметров может вызвать снижение эффективности пылеулавливания и при соблюдении проектного или налаженного водного режима;

б) электрические пылеуловители:

силу тока, расходуемого в фильтрах, и напряжение, подаваемое на коронирующие и осадительные электроды, так как снижение этих параметров вследствие накопления чрезмерно большого количества уловленной пыли и неполадок в электрическом питании фильтров приводит к снижению эффективности пылеулавливания.

1.24. Применение рециркуляции воздуха в системах вентиляции воздушного отопления, кондиционирования воздуха помещений с производствами категорий А, Б и Е, а также рециркуляция воздуха из систем местных отсосов взрывоопасных пылей, размещенных в помещениях с производством других категорий опасности, не допускается, за исключением тех согласованных с компетентными органами случаев, когда для очистки воздуха от пыли растительного или животного происхождения используются мокрые пылеуловители, конструкция которых обеспечивает надежную преграду распространению огня на воздуховоды, через которые очищенный воздух возвращается в цех, при любых производственных ситуациях, а также при соблюдении требований, предусмотренных в пп. 1.20 — 1.22.

1.25. При использовании для рециркуляции воздуха аспирационных систем, очищенного от пыли III класса опасности, следует пре-

дусматривать регулярный контроль остаточной запыленности очищенного воздуха по массе содержащейся пыли.

Примечание. Очистку рециркуляционного воздуха от пыли растительного и животного происхождения следует производить в пылеуловителях ПВМБ и от электросварочных аэрозолей в электрических фильтрах типа ФЭ.

2. ВЫБОР И РАСЧЕТ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЕЙ

Классификация и номенклатура пылеуловителей, используемых в вентиляционной технике

2.1. Для очистки воздуха, удаляемого вытяжными аспирационными системами от аэрозольных частиц, применяются пылеуловители пяти классов (табл. 2).

Таблица 2

Класс пылеуловителя	Размер эффективно улавливаемых частиц пыли, мкм	Группа пыли по дисперсности	Эффективность пылеуловителей, %
I	Более 0,3—0,5	V IV	<80 99,9—80
II	Более 2	IV III	92—45 99,9—92
III	» 4	III II	29—80 99,9—99
IV	» 8	II I	99,9—95 >99,9
V	» 20	I	>99

Примечания: 1. Под названием «Пылеуловитель» подразумеваются уловители как пыли, так и других аэрозолей.

2. Под эффективным улавливанием подразумевается улавливание с эффективностью, близкой к 100% (более 95%).

3. При большой концентрации пыли в очищаемом воздухе (бо-

лее 3—5 г/м³) зависимость эффективности от размера частиц может проявляться менее отчетливо.

4. Пылеуловители I класса отличаются большим расходом энергии (высоконапорные пылеуловители Вентури), сложностью и дороговизной эксплуатации (многопольные электрофильтры, рукавные фильтры и пр.) и в системах вентиляции применяются редко. В случаях их использования необходимо руководствоваться специальными инструкциями, относящимися к конкретным видам оборудования.

2.2. В табл. 2 указаны границы эффективности пылеуловителей каждого из классов на основе классификации аэрозолей по рис. 1. Первое из значений эффективности относится к нижней границе соответствующей зоны, вторые — к верхней. Эффективность рассчитана из условия отделения от воздуха только практически полностью (эффективно) улавливаемых частиц, размер которых указан в табл. 2. Действительная эффективность пылеуловителей больше за счет частичного улавливания частиц по размеру меньших, чем указано в табл. 2.

2.3. Номенклатура конкретных пылеуловителей, рекомендуемых для очистки аспирационного воздуха, приведена в табл. 3.

Таблица 3

Тип	Вид	Класс эффективности	Область целесообразного применения		
			Классификационная группа аэрозолей по дисперсности		Сопротивление, Па
			I	II III IV V	
Гравитационные	Пылеосадочные камеры (произвольной конструкции)	V	+	+ — — —	100—200
Инерционные	Циклоны большой пропускной способности:				
	одиночные циклоны ЦН-15, ЦН-24	V	+	+ — — —	600—750
	групповые циклоны ЦН-15	V	+	+ — — —	600—750
	Циклоны высокой эффективности:				
	одиночные циклоны СКЦН-34	IV	—	+ + — —	1000—1200
	мокропленочные циклоны ЦВП,	IV	—	+ + — —	600—800

Продолжение табл. 3

Тип	Вид	Класс эффективности	Область целесообразного применения					Сопротивление, Па
			Классификационная группа аэрозолей по дисперсности					
			I	II	III	IV	V	
	ВТИ-ПСП скоростные промыватели СИОТ	III	—	+	+	—	—	900—1100
	Струйные, мокрые: ПВМ	III	—	—	+	+	—	1200—1950
	ПВМК, ПВМС, ПВМБ	II	—	—	+	+	—	2000—3000
	капельные, типа Вентури КМП	II	—	—	+	+	—	3000—4000
Тканевые	Рукавные пылеуловители СМЦ-101, СМЦ-166Б, ФВК (ГЧ-1БФМ), ФРКИ	II	—	—	+	+	—	1200—1250
	Сетчатые капроновые, металлические сетки для улавливания волокнистой пыли	V	+	—	—	—	—	150—300
Волокнистые	Уловители туманов кислот и щелочей ФВГ-Т	II	—	—	—	+	—	800—1000
	Уловители аэрозолей масел (ротационные)	II	—	—	—	+	—	800—1000
Электрические	Уловители туманов масел и маслянистых жидкостей УУП	II	—	—	—	+	+	50—100

Примечания: 1. Должно быть предварительно согласовано применение в проектах следующего оборудования:

рукавных фильтров ФРКИ и уловителей ФВГ-Т (с институтом Гипрогазоочистки);

уловителей УУП (с Серпуховским механическим заводом);

уловителей масел ротационных (с НИИОГАЗ).

Должно быть предусмотрено изготовление собственными силами

строительно-монтажных организаций и действующих предприятий следующего оборудования:

по типовым проектам — сухие циклоны ЦН-11 и СИОТ, циклоны с водяной пленкой ЦВП, мокрые пылеуловители ПВМС, ПВМК, КМП;

по чертежам разработчиков — циклоны ЦН-15, ЦН-24, СКЦН-34, СДКЦН-33 (институт Гипрогазоочистки);

мокрые пылеуловители ПВМБ (ЦНИИПромзданий).

2. Кроме перечисленных в таблице могут применяться циклоны ЦН-11, СДКЦН-33, СИОТ, а также другое оборудование, по которому Госстроем СССР утверждены типовые проекты, организовано серийное производство или имеется техдокументация, согласованная с Госстроем СССР.

2.4. Пылеуловители применяются главным образом для улавливания из воздуха аэрозольных частиц II, III и IV группы дисперсности Аэрозоли V группы в пылеуловителях, как правило, эффективно не улавливаются вследствие их высокой дисперсности.

Примечание. Для очистки с $E=95\%$ воздуха от аэрозолей V группы, например конденсационных аэрозолей свинца, как видно из рис. 1, должны полностью улавливаться частицы крупнее 0,1 мкм. Такая эффективность в настоящее время возможна только в воздушных фильтрах I класса. В связи с этим для улавливания аэрозолей свинца в системах вентиляции применяются двух- и более ступенчатые уловители, последняя ступень которых включает фильтры ФяЛ.

2.5. В табл. 3 указана область применения пылеуловителей применительно к группе дисперсности аэрозолей. Дана номенклатура пылеуловителей, предназначенных для использования в вентиляционных системах или проверенных в этих системах.

Следует учитывать, что применение пылеуловителей IV и V группы обеспечивает очистку воздуха до допустимых концентраций в указанных областях целесообразного применения, только при сравнительно небольших начальных запыленностях. Вследствие этого сухие пылеуловители указанных классов преимущественно следует применять в качестве первой ступени, при наличии соответствующего обоснования, например, перед мокрыми пылеуловителями более высоких классов — для уменьшения количества образующегося шлама, а перед сухими — когда по технологическим соображениям целесообразно отделение крупнодисперсных фракций.

Общие положения по выбору и расчету пылеуловителей

2.6. Основной задачей проектирования является удовлетворение требований к эффективности очистки выбросов по остаточной концентрации с наименьшими затратами и с обеспечением надежности работы пылеуловителей и удобства их эксплуатации.

2.7. При возможности удовлетворения требований к эффективности очистки пылеуловителями нескольких классов из них выбирается пылеуловитель низшего класса. В тех случаях, когда требованиям к эффективности соответствует несколько пылеуловителей IV и V класса, из них выбирают пылеуловители сухого типа. Из пылеуловителей III и более высоких классов рекомендуются мокрые, с наименьшим расходом воды.

2.8. При очистке воздуха от взрывоопасной пыли рекомендуется, как правило, применять мокрые пылеуловители с автоматическим контролем заполнения и непрерывности поступления воды.

Примечание. Применение мокрых пылеуловителей для очистки воздуха от пыли, при контакте которой с водой образуются взрывоопасные газы, допускается при условии обеспечения надлежащей эвакуации газов из объема пылеуловителя и воздуховодов.

2.9. Эффективность пылеуловителя или суммарная эффективность многоступенчатой пылеулавливающей установки должна быть не менее величины E:

$$E = (c_н - c_к)/c_н \cdot 100\%, \qquad (3)$$

где $c_н$ — концентрация аэрозолей в очищаемом воздухе, мг/м³; $c_к$ — *конечная концентрация в очищенном воздухе*, мг/м³.

Величина $c_к$ должна быть не меньше допускаемой остаточной концентрации, определяемой в соответствии с пп. 1.16 и 1.17.

Пример 3. Определить необходимую эффективность пылеуловителя для условий примера 2. Начальная запыленность очищаемого воздуха 10 г/м³ (10 000 мг/м³).

Решение. Из условий выполнения требований п. 1.16 ($c_к$ = =90 мг/м³)

$$E = (10\,000 - 90)/10\,000 \cdot 100\% = 99{,}1\%.$$

Предварительный выбор пылеуловителей

2.10. Предварительный выбор пылеуловителя необходимой эффективности можно производить на основе данных о дисперсности улавливаемой пыли с помощью табл. 2 и 3.

Примечание. Возможное увеличение эффективности при повышенных концентрациях (см. примеч. 3 п. 2.1) не учитывается.

Пример 4. Произвести предварительный выбор сухого пылеуловителя для очистки воздуха от пыли II группы дисперсности с эффективностью не менее 94%.

Решение. В соответствии с табл. 2 с помощью пылеуловителей IV класса пыль II группы может улавливаться с эффективностью от 95 до 99,9%. Предварительно выбираем циклон СКЦН-34.

Пример 5. Произвести предварительный выбор мокрого пыле-

уловителя для очистки воздуха от пыли, график дисперсного состава которой приведен на рис. 1 с эффективностью не менее 93%.

Решение. Как видно из графика дисперсного состава пыли (рис. 1), около 93% данной пыли по массе составляют частицы размером более 4 мкм. Следовательно, выбираемый пылеуловитель должен обеспечить эффективное улавливание пылевых частиц крупнее 4 мкм. Этому требованию удовлетворяют пылеуловители III класса эффективности. Пользуясь табл. 3, выбираем мокрый пылеуловитель ПВМ.

2.11. Окончательный выбор производится на основе достоверных данных о дисперсном составе пыли, содержащейся в очищаемом воздухе, и о фракционной эффективности используемых инерционных пылеуловителей. При отсутствии таких данных исходят из опыта применения пылеуловителей в таких же или близких по условиям пылеулавливания (в первую очередь по дисперсности аэрозолей) случаях.

Примечание. Показатели общей эффективности, получаемые при лабораторных испытаниях, как правило, завышены в связи с неполной дезагрегацией пыли, и пользоваться ими не рекомендуется.

Расчет прямоточных пылеосадительных камер

2.12. Расчет эффективности пылеосадочных камер носит оценочный характер. Лабиринтные камеры В. В. Батурина с перегородками расчету не поддаются.

2.13. Оценку эффективности прямоточных камер производят в следующей последовательности:

определяется скорость витания v_s наименьших по размеру частиц из числа полностью оседающих в данной камере

$$v_s = wH/l \text{ м/с}, \quad (4)$$

где w — средняя скорость воздуха в поперечном сечении камеры, м/с; H — высота камеры, м; l — длина камеры, м;

определяется размер частиц d, мкм, соответствующих определенной скорости витания;

по известному дисперсному составу или группе дисперсности оценивается ориентировочная эффективность камеры (см. п. 2.10);

вычисляется критерий Рейнольдса по формуле

$$\mathrm{Re} = wH\rho_в/\mu,$$

где μ — динамическая вязкость воздуха в заданных условиях, Па·с; $\rho_в$ — плотность воздуха, кг/м^3;

оценивается характер течения: если полученные значения Re

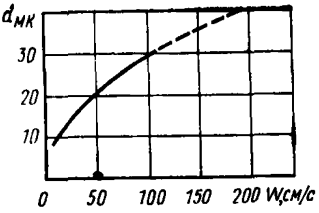

Рис. 2. Зависимость граничного размера оседающих частиц от средней скорости турбулентного потока в пылеосадочной камере

значительно меньше 2300, то течение ламинарно и проведенный ориентировочный расчет справедлив. Если Re$>$ $>$2300, то течение турбулентно и оседание частиц затруднено поперечными пульсациями скорости. В этом случае размер наименьших частиц из числа полностью оседающих в данной камере определяется по графику на рис. 2, а ориентировочная эффективность — по графику дисперсного состава исходя из полного улавливания частиц более крупных, чем определено по рис. 2.

Примечания: 1. Размер частицы, соответствующей значению скорости витания, определенной по формуле (4), находят по графику (см. Справочник проектировщика «Вентиляция и кондиционирование воздуха». — М.: Стройиздат, 1977. — (с. 76) или для частиц размером $<$60 мкм вычисляют по формуле

$$d = \sqrt{\frac{18 v_s \mu}{\rho g}}, \qquad (5)$$

где g — ускорение силы тяжести, м/с^2; ρ — плотность частиц, кг/м^3.

2. Предполагается, что все сечение камеры заполнено выравненным потоком. Для обеспечения этого условия необходимо предусматривать воздухораспределительные устройства в виде вертикальных завес из подвешенных металлических цепей, стержней и т. п.

Коэффициент местного сопротивления воздухораспределительной решетки должен быть не меньше величины, определяемой по формуле И. Е. Идельчика:

$$\zeta = (F_к/F_в)^2 - 1, \qquad (6)$$

где $F_к$, $F_в$ — площадь поперечного сечения соответственно камеры и подводящего воздуховода, м^2.

Пример 6. Рассчитать эффективность прямоточной пылеосадительной камеры на производительность 5000 м^3/ч. Размеры камеры: высота 1 м; ширина 2 м; длина 2,5 м; температура очищаемого воздуха 20°С; $\mu = 1{,}81 \cdot 10^{-6}$ Па·с; пыль минеральная; плотность материала пыли 2,5 г/см^3; дисперсный состав дан графиком на рис. 1.

Решение. Определяем по формуле (4) скорость витания частиц, полностью оседающих в камере из ламинарного потока, скорость которого равна:

$$w = 5000/2 \cdot 1 \cdot 3600 = 0{,}7 \text{ м/с};$$

$$v_s = 0{,}7 \cdot 1/2{,}5 = 0{,}28 \text{ м/с}.$$

По формуле (5) находим размер частицы, соответствующей полученному значению:

$$d = \sqrt{\frac{18 \cdot 0{,}028 \cdot 1{,}81 \cdot 10^{-6}}{2500 \cdot 9{,}81}} = 19{,}2 \cdot 10^{-6} = 19{,}2 \text{ мкм}.$$

Согласно графику на рис. 1, находим, что масса частиц размером более 19 мкм составляет около 50%. Следовательно, эффективность улавливания в случае ламинарного течения должна несколько превышать 50%.

Вычисляем число Re течения ($t = 20°C$, $\rho_в = 1{,}205$ кг/м^3)

$$\text{Re} = 0{,}7 \cdot 1 \cdot 1{,}205 / 1{,}81 \cdot 10^{-6} = 0{,}46 \cdot 10^6.$$

Полученное значение Re$>$2300, что свидетельствует о турбулентном характере течения. Согласно графику на рис. 2, находим, что в заданных условиях на полное осаждение частиц размером меньше 35 мкм в данной камере рассчитывать нельзя. Соответственно эффективность улавливания составит около 40% (см. рис. 1).

Примечание. Пыль, улавливаемая в условиях данного примера, относится к III группе дисперсности (пыль средней дисперсности). В случае пыли II группы дисперсности эффективность составит от 60 до 95%, а I группы — более 95%.

2.14. Сопротивление прямоточных камер определяется расширением потока при входе в камеру и сужении на выходе. Коэффициенты местного сопротивления принимаются по Справочнику. При наличии воздухораспределительной решетки добавляются потери, определяемые согласно формуле (6). Потерями на трение в прямоточных камерах можно пренебречь ввиду небольшой величины скорости течения.

Расчет инерционных пылеуловителей

2.15. Расчет остаточной концентрации пыли в очищенном воздухе при использовании инерционных пылеуловителей производят на основе данных о дисперсном составе и плотности пыли и фракционной эффективности применяемых пылеуловителей.

2.16. Фракционная эффективность улавливания любой фракции пыли выражается формулой

$$E_ф = (Ф_н - Ф_к)/Ф_н \cdot 100\%, \qquad (7)$$

где $E_ф$ — фракционная эффективность, %; $Ф_н$, $Ф_к$ — масса частиц пыли данной фракции в воздухе соответственно до и после очистки, г/м^3.

Примечание. $E_ф$ может быть выражена также в долях единицы.

2.17. Общая эффективность пылеулавливания E, %, выражается формулой

$$E = \Phi_1 E_{\Phi_1} + \Phi_2 E_{\Phi_2} + \Phi_3 E_{\Phi_3} + \ldots, \qquad (8)$$

где Φ_1, Φ_2, Φ_3, . . . — содержание фракций 1, 2, 3 в долях единицы; $E_{\Phi 1}$, $E_{\Phi 2}$; $E_{\Phi 3}$, . . . — фракционная эффективность улавливания фракций 1, 2, 3, %.

2.18. Расчет эффективности пылеулавливания непосредственно по формуле (8) возможен в том случае, когда значения Φ и E_Φ определены для одних и тех же интервалов, что на практике встречается редко.

Фракционная эффективность пылеуловителей, как правило, принимается по данным справочной литературы, где она описывается в виде непрерывной функции $E_\Phi(d)$, изображаемой гладкой кривой в системе прямоугольных декартовых координат или прямой линии в ВЛСК.

Дисперсный состав пыли в каждом конкретном случае задается по содержанию фракции по частным остаткам (см. п. 1.5) в табличной форме, или соответствующим ступенчатым или гладким графиком, или по содержанию фракций по «полным проходам» $D(d)$ [или по обратной зависимости «полных остатков» $R(d)$] в табличной форме, или соответствующими интегральными графиками дисперсного состава, которые имеют вид гладких кривых в прямоугольных системах координат, или прямых линий в ВЛКС.

2.19. Расчет по формуле (8) производится графическим методом. В тех случаях, когда и дисперсный состав пыли, и фракционная эффективность заданы или могут быть представлены в ВЛСК прямыми линиями, используется графоаналитический метод.

Пример 7. Рассчитать графическим методом эффективность улавливания циклоном ЦН-15 пыли, дисперсный состав которой задан содержанием фракций по «частным остаткам» в п. 1.5. Фракционная эффективность циклона ЦН-15 дана на рис. 3 *а*. Условия пылеулавливания (плотность пыли, температура воздуха и пр.) идентичны с теми, при которых определялась эффективность циклона. Предполагается, что при нанесении дисперсного состава пыли на ВЛСК график не спрямляется.

Р е ш е н и е. Строят ступенчатый график $\Phi(d)$ распределения дисперсности на миллиметровой бумаге (рис. 4 *а*). При построении на оси ординат откладывают значения $\Phi(d)$ в единицах, полученных делением соответствующих значений $R(d)$ на разность между наибольшим и наименьшим размерами частиц данной фракции. В результате такого построения получают ступенчатую гистограмму, образованную прямоугольниками, площадь каждого из которых определяет содержание соответствующей фракции,

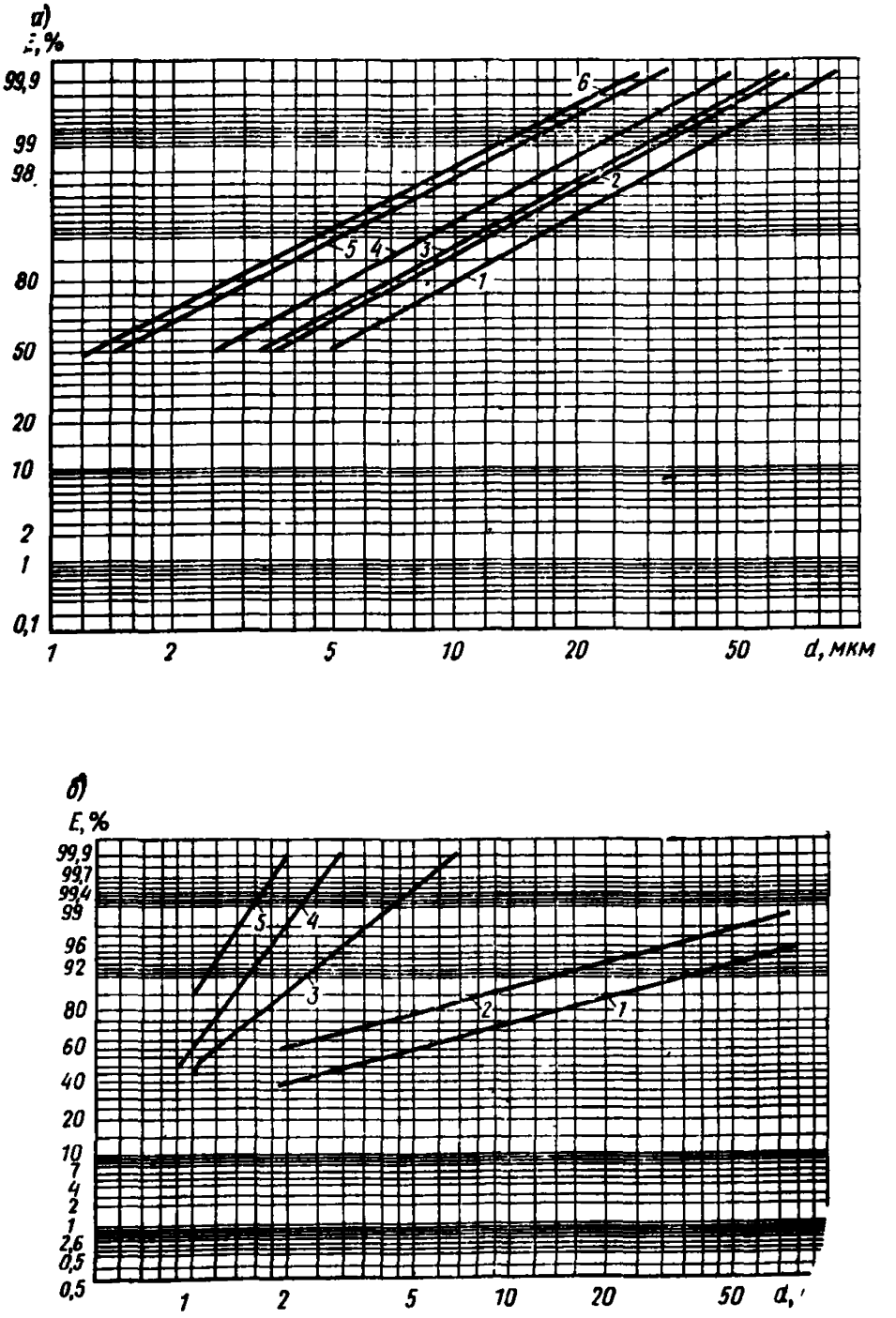

Рис. 3. Фракционная эффективность инерционных пылеуловителей

а — эффективность циклонов ЦН различного типа диаметром 300 мм при улавливании пыли, плотностью ρ=2,6 г/см³; *1* — ЦН-24; *2* — ЦН-15У; *3* — ЦН-15; *4* — ЦН-11; *5* — СКЦН-34; *6* — СДКЦН-33; *б* — эффективность мокрых пылеуловителей: *1* — мокропленочные циклоны ВТИ-ПСП, ЦВП при входной скорости 15 м/с; *2* — то же, при скорости 28 м/с; *3, 4, 5* — пылеуловителей ПВМ при уровне залива воды соответственно 10, 200 и 300 мм

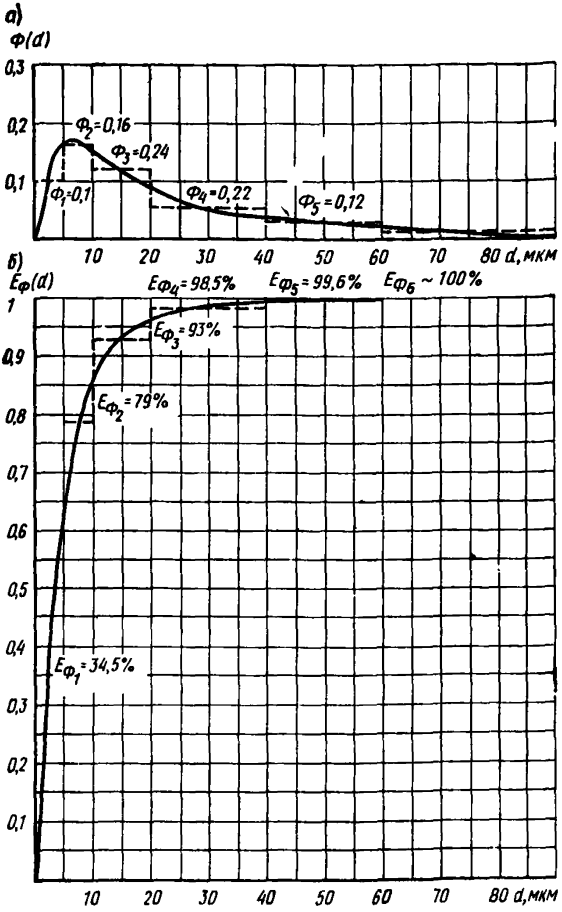

Рис. 4. Пример расчета эффективности циклона ЦН-15 при задании дисперсного состава пыли содержанием фракций по частным остаткам

а общая площадь равна единице. Основания прямоугольников равны разности размеров частиц фракции, а высоты равны: первого — 10/(5—0)=2 единицы масштаба оси ординат; второго — 16/(10—5)=3,2; третьего — 24/(20—10)=2,4; четвертого — 22/(40—20)=1,1; пятого — 12/(60—40)=0,6 единиц. Фракцию размером >60 мкм (16%) условно относят к диапазону 60—90 мкм, что не вносит в расчет существенной погрешности, так как эти частицы относятся к эффективно (полностью) улавливаемым. Далее перено-

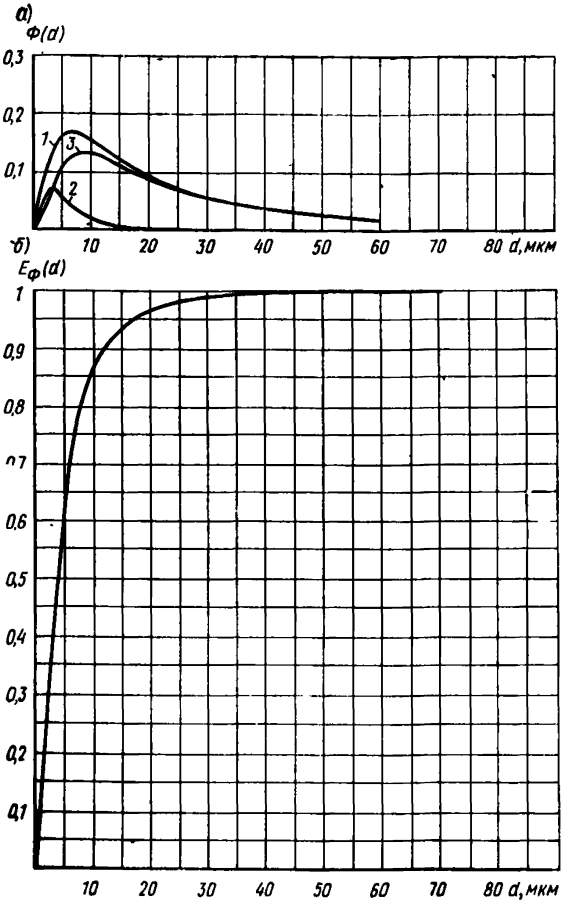

Рис. 5. Пример расчета эффективности циклона ЦН-15 при задании дисперсного состава пыли в виде графика

сят по точкам график $E_Φ$ (d) из рис. 3 (см. рис. 4 *б*) и перестраивают ее в ступенчатую функцию. Ординаты ступенек функции $E_Φ$ выбирают так, чтобы площади, образованные горизонтальными отрезками над кривой $E_Φ$ и под нею, были равны.

В соответствии с формулой (8) перемножают соответствующие ординаты фракций $Φ$ (d) и $E_Φ$ (d).

$$E=0{,}1\cdot 34{,}5+0{,}16\cdot 79{,}0+0{,}24\cdot 93{,}0+0{,}22\cdot 98{,}5+0{,}12\cdot 99{,}6+0{,}16\cdot 100=$$
$$=88{,}03\%.$$

Примечания: 1. Если распределение дисперсности в улавливаемой пыли задано в виде плавной кривой $\Phi(d)$ (рис. 4 *а*), то ее можно перестроить в ступенчатый график. Пример обращения функций показан на рис. 4.

2. Расчет циклонов можно производить также по рекомендациям «Справочника по пыле- и золоулавливанию» (М.: Энергия, 1983).

Пример 8. Рассчитать графическим методом эффективность улавливания циклоном ЦН-15 пыли, дисперсный состав которой задан графиком $\Phi(d)$ в виде плавной кривой *1* на рис. 5 *а*.

Решение. Переносим на нижнюю часть рис. 5 график фракционной эффективности циклона ЦН-15 в виде плавной кривой $E_\Phi(d)$.

Непосредственным измерением определяем, что площадь, ограниченная кривой *1* и осью абсцисс, составляет 1918 мм². Перемножая ординаты одинаковых значений кривых $\Phi(d)$ и $E_\Phi(d)$, строим кривую *2* (верхний график). Измерением устанавливаем, что площадь, ограниченная кривой *2* и осью абсцисс, равна 1745 мм². Отношение вычисленных площадей дает значение эффективности пылеулавливания:

$$E = 1745/1918 \cdot 100 = 90{,}98\%.$$

Примечания: 1. Число и расположение перемножаемых ординат выбирается так, чтобы можно было построить плавную кривую *2*.

2. Вычитая ординаты кривых *1* и *2*, можно построить кривую *3*. Отношение площадей кривых *3* и *1* представляет проскок. В данном случае площадь кривой равна 206 мм² и соответственно проскок равен:

$$1 - E = 206/1918 \cdot 100 = 10{,}74\%,$$

что удовлетворительно совпадает с ранее вычисленным значением E.

Пример 9. Рассчитать графоаналитическим методом эффективность того же циклона ЦН-15 в случае, когда фракционный состав пыли задан также прямой линией (рис. 1).

Решение. Наносим на ВЛСК прямую линию $E_\Phi(d)$ фракционной эффективности циклона ЦН-15 с рис. 3. На эту же сетку (рис. 6) наносим прямую линию дисперсного состава пыли в виде графика «полных остатков», т. е. в виде $R(d) = 1 - D(d)$. Пересечение линии E_Φ с линией $R = 50\%$ обозначим точкой A, пересечение прямой $R(d)$ с линией $R = 50\%$ — точкой D, пересечение прямых $E_\Phi(d)$ и $R(d)$ — точкой F. Через точку F проведем вертикальную линию FBK, отложив на ее продолжении от точки B отрезок $BK = BD$. На линии $R = 50\%$ откладываем отрезок $AC = AK$, через точку C проводим вертикаль $CQ = FB$. Через точки A и Q проводим прямую линию, продолжение которой пересекает в точке E верти-

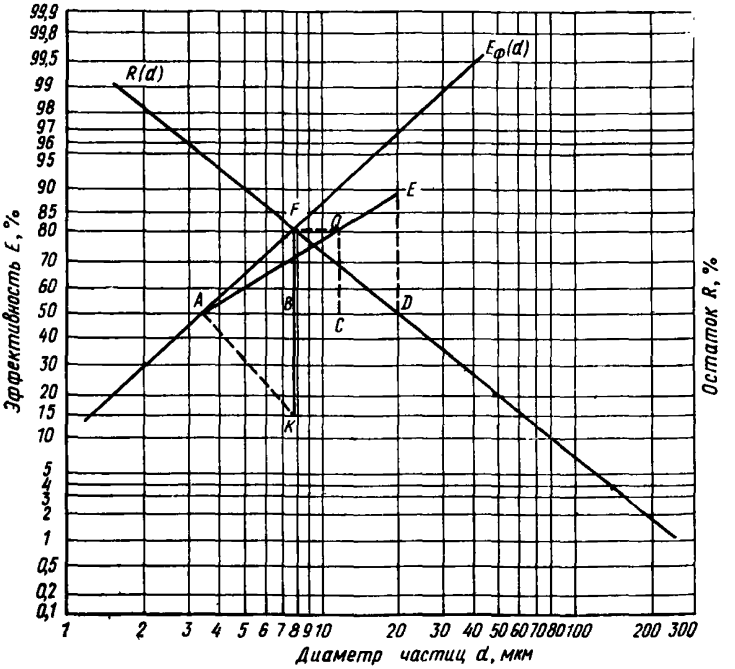

Рис. 6. К примеру расчета циклона ЦН-15 графоаналитическим методом

каль, восстановленную в точке *D*. Ордината *E* дает величину эффективности, % (в данном случае $E=89\%$).

Примечание. Усечение графика дисперсного состава за пределами $d=60$ мкм во внимание не принималось, что не вносит в расчет существенной погрешности, так как эти частицы относятся к эффективно улавливаемым.

2.20. Расчет эффективности других инерционных пылеуловителей проводят аналогично расчетам, данным в примерах 8, 9, 10. Наряду с графиками фракционной эффективности, приведенными на рис. 3, могут быть использованы другие, полученные более совершенными методами.

2.21. В тех случаях, когда условия экспериментов, при которых были получены графики фракционной эффективности, не соответствуют условиям применения рассчитываемых пылеуловителей, необходимо производить пересчет графиков для учета плотности пыли, диаметра применяемого циклона и пр.

2.22. Сопротивление пылеуловителей принимается по справочным данным, относящимся непосредственно к выбранным пылеуловителям.

Расчет пылеуловителей других видов

2.23. Эффективность рукавных пылеуловителей зависит от качества использованной для изготовления рукавов ткани и дисперсности пыли. При больших концентрациях пыли (более 3—5 г/м^3) она иногда не зависит от фракционного состава пыли. Остаточная концентрация пыли в воздухе при этом не зависит от начальной концентрации и составляет 30—50 мг/м^3.

При выборе типоразмера рукавного пылеуловителя необходимо учитывать регулярное отключение части секций на встряхивание и обратную продувку.

Примечание. При очистке воздуха от волокнистой пыли в специализированных фильтрах текстильной промышленности остаточная концентрация принимается по данным практики в зависимости от участка производства, качества сырья и т. п.

2.24. Эффективность уловителей аэрозолей, масел, кислот и щелочей принимается в соответствии с данными паспортов на уловители.

3. ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПЫЛЕУЛАВЛИВАЮЩИХ УСТАНОВОК И СИСТЕМ

Выбор и расчет многоступенчатых установок

3.1. При большом начальном пылесодержании применяют многоступенчатые пылеулавливающие установки из двух, трех и в случае необходимости большего числа ступеней, причем в каждой из последующих ступеней применяется пылеуловитель более высокого класса, чем в предыдущей. Обычно преследуется цель достигнуть допускаемой концентрации пыли в выбросе путем применения пылеуловителей, обладающих меньшей по сравнению с требуемой эффективностью, или получить из первых ступеней очистки, как правило сухих (пылеосадочные камеры, циклоны), крупнодисперсный порошок, пригодный для использования в технологии и более удобный для транспортирования, чем шлам мокрых пылеуловителей.

Примечание. При использовании рукавных пылеуловителей предварительное отделение части пыли обосновано, как правило, при начальных концентрациях более 20 г/м^3 или при необходимости фракционирования уловленного материала выделением более крупных фракций в первой ступени очистки.

3.2. Суммарная эффективность многоступенчатой установки в долях единицы определяется по формуле (3):

$$E = (c_н - c_к)/c_н,$$

где $c_н$ и $c_к$ — начальная и конечная концентрация пыли.

Значение $c_н$ принимается по заданию на проектирование, а $c_к$ определяется в соответствии с п. 1.15.

Эффективность отдельных ступеней, например двухступенчатой установки, определяется формулами:

первой ступени

$$E_1 = (c_н - c_1)/c_н; \qquad (9)$$

второй ступени

$$E_2 = (c_1 - c_к)/c_1, \qquad (10)$$

где E_1 и E_2 — эффективность соответственно первой и второй ступеней; c_1, $c_к$ — концентрация пыли в воздухе, выходящем из пылеуловителей, соответственно, первой и второй (конечной) ступеней.

Эффективность отдельных ступеней выбирается согласно п. 1.15, после чего вычисляется c_1 и $c_к$.

Из (9) и (10) находим: $c_1 = c_н - c_н E_1$; $c_к = c_1 - c_1 E_2$. После подстановки и преобразований

$$c_к = c_1 + c_н(E_1 E_2 - E_2). \qquad (11)$$

Подставляя $c_к$ в (9), получим для общей эффективности установки формулу

$$E_{1,2} = E_1 + E_2(1 - E_1). \qquad (12)$$

Аналогично для трехступенчатой установки:

$$E_{1,2,3} = E_{1,2} + E_3(1 - E_{1,2}). \qquad (13)$$

С помощью полученных формул на стадии проектирования можно оценить, например, эффективность пылеуловителя последней ступени очистки, необходимую для обеспечения нормированной остаточной запыленности очищенного выброса.

Пример 10. Определить необходимую эффективность второй ступени двухступенчатой установки, если задано, что $E_{1,2} = 0{,}997$. Первая ступень очистки осуществляется с помощью сухого пылеуловителя IV класса (циклон СКЦН-34), $E_1 = 80\%$.

Решение. Из формул (9) и (10) находим, что эффективность второй ступени должна составлять не менее

$$E_2 = (E_{1,2} - E_1)/(1 - E_1) = (0{,}997 - 0{,}8)/(1 - 0{,}8) = 0{,}985;$$

$$E_2 = 98{,}5\%$$

3.3. При расчете общего сопротивления многоступенчатых систем очистки к величинам сопротивления пылеуловителей следует добавлять сопротивление соединительных участков.

Общие требования к проектам установок и систем очистки воздуха

3.4. Вентиляционные пылеуловители, как правило, являются непродуктивным оборудованием. Вследствие этого при проектировании необходимо особенно тщательно продумывать удобства эксплуатации и ремонта пылеуловителей.

3.5. Пылеуловители могут устанавливаться как на всасывание, так и на нагнетание, если улавливаемая пыль не обладает абразивными свойствами и не является взрывоопасной.

3.6. При установке вентилятора перед пылеуловителем последней ступени многоступенчатой установки, если очистка в ней производится мокрым способом, оборудование пылеуловителя каплеуловителем необязательно, если небольшой вынос воды не создает трудностей для эксплуатации.

3.7. Скорость в каналах, подводящих воздух к пылеуловителям, должна подбираться с учетом справочных данных о скоростях, рекомендуемых для предупреждения выпадания пыли в воздуховодах.

3.8. Рекомендуется избегать устройства поворотов и других местных сопротивлений на участках воздуховодов, по которым воздух подводится к инерционным пылеуловителям на расстоянии, равном не менее 10 диаметров воздуховодов. Перед сухими и мокропленочными циклонами допускаются повороты воздуховодов в направлении вращения воздуха в циклонах.

3.9. При проектировании систем аспирации взрывоопасной пыли объемы отсоса воздуха следует принимать достаточно большими, чтобы избежать образования в пылеуловителях и воздуховодах взрывоопасных концентраций.

3.10. При проектировании систем аспирации диэлектрической пыли необходимо особенно тщательно заземлять воздуховоды и предупреждать возможность оседания и накопления частиц в воздуховодах.

3.11. Отвод воздуха от циклонов всех видов допускается производить без раскручивающих элементов. Целесообразность установки на выхлопах защитных колпаков следует рассматривать в каждом отдельном случае.

3.12. Выброс очищенного воздуха следует предусматривать на высоте не менее 1 м над высшей точкой кровли здания, удаляя его от приемных устройств для забора наружного воздуха систем приточной вентиляции на расстоянии не менее 20 м по горизонтали или

на 6 м выше воздухоприемных устройств при горизонтальном расстоянии меньше 20 м (за пределами циркуляционных зон).

3.13. Выбросы в атмосферу воздуха, удаляемого аспирационными системами и содержащего аэрозоли I и II класса опасности, горючие жидкие аэрозоли, а также дурно пахнущие аэрозоли следует предусматривать выше уровня циркуляционных зон, создаваемых зданиями, с помощью высоких труб или высокоскоростными струями (факельный выброс).

3.14. Пыль, осажденная в сухих пылеуловителях, должна собираться в проектируемых для этого бункерах. Использовать для этой цели имеющиеся в конструкции пылеуловителей бункера и емкости не следует. Сборные бункера должны быть соединены с бункерами пылеуловителей с помощью герметичных соединений и снабжены герметическими пылевыгрузочными устройствами в виде барабанных лопастных затворов, мигалок и пр.

Угол наклона стенок сборных бункеров следует выбирать, используя справочные данные о естественном откосе данного сыпучего материала. При отсутствии таких данных рекомендуется принимать угол в 60°. В случае необходимости должны приниматься меры по предупреждению зависания пыли в бункерах.

Емкость сборных бункеров должна соответствовать количеству улавливаемой пыли и установленному режиму их разгрузки. Необходимо предусматривать удобную и беспыльную разгрузку пыли в транспортную тару и ее механизированное удаление. Горючие и взрывоопасные пыли необходимо удалять непрерывно, используя барабанные затворы и шнеки.

3.15. При проектировании сухих пылеуловителей для улавливания горючей и взрывоопасной пыли необходимо следовать соответствующим указаниям СНиП II-33-75 *.

3.16. При применении в проектах мокрой очистки воздуха расход воды и схема водоснабжения пылеуловителей должны быть согласованы с соответствующими территориальными организациями.

Использование водопроводной питьевой воды в пылеуловителях проточного типа (ЦВП, ВТИ-ПСП, СИОТ, КМП), а также в пылеуловителях других типов с непрерывным сливом воды в количестве более 150 г/м^3 следует допускать только в порядке исключения, при наличии обоснования.

Сточные воды мокрых пылеуловителей должны, как правило, очищаться и возвращаться в пылеуловители или в общую систему оборотного водоснабжения предприятия.

Требования к очистке вод сточных проточных пылеуловителей, в которых распыление воды производится с помощью форсунок, сопел, отражательных дисков и других элементов, подверженных из-

носу частицами, взвешенными в воде, определяются в соответствии с технической документацией на пылеуловители.

3.17. При использовании воздуха, очищенного в мокрых пылеуловителях для рециркуляции, заполнение пылеуловителей и их системы оборотного водоснабжения, а также долив для компенсации потерь воды производятся водой питьевого качества. Эффективность очистки оборотной воды, подаваемой в пылеуловители, должна быть достаточно высокой для того, чтобы исключать возможность загнивания органических примесей и появление в воздухе неприятного запаха.

3.18. При проектировании установки мокрых пылеуловителей для улавливания горючей и взрывоопасной пыли, специальных требований к их размещению в здании не предъявляется.

Оценка надежности систем очистки воздуха

3.19. Надежность систем очистки воздуха является важнейшим показателем качества, вследствие чего целесообразно оценивать ее на стадии проектирования. Особенно велико значение этого показателя для оценки качества работы систем, предназначенных для очистки рециркуляционного воздуха, возвращаемого в помещения.

3.20. Под надежностью систем очистки воздуха понимается безотказность систем, т. е. их способность непрерывно находиться в работоспособном состоянии и выполнять заданные функции в течение установленного времени, сохраняя значения установленных эксплуатационных показателей в заданных пределах, соответствующих принятым режимам и условиям эксплуатации и технического обслуживания.

Примечание. Отказом называется нарушение работоспособности пылеуловителя или всей системы очистки, например при отказе вентилятора.

3.21. Надежность пылеуловителей и других видов оборудования систем может достаточно полно оцениваться по формуле

$$P(t) = \exp(-\lambda t),$$

где t — необходимая продолжительность работы оборудования, ч. В системах с рециркуляцией воздуха и в системах вентиляции, совмещенных с отоплением, время t принимается не менее продолжительности отопительного периода. В системах для очистки воздуха от взрывоопасной пыли t принимается равной продолжительности непрерывной работы технологического оборудования; λ — интенсивность отказов:

$$\lambda = 1/T_0,$$

где T_0 — наработка на отказ данного вида оборудования.

Значения λ или T_0 принимаются по стандартам или техническим условиям на данное оборудование.

3.22. Надежность многоступенчатой системы, в состав которой входят несколько пылеуловителей, установленных последовательно, оценивается по формуле

$$P_{об}(t) = P_1(t)\,P_2(t), \ldots, P_n(t) = \prod_{i=1}^{n} P_i(t),$$

где $P_1(t)$; $P_2(t)$ и т. д. — надежность каждого из пылеуловителей, определенная согласно п. 3.21; n — число установленных последовательно пылеуловителей.

3.23. Расчетную надежность рекомендуется выбирать на уровне величин:

для предприятий, на которых прекращение очистки воздуха вызывает необходимость останавливать выпуск продукции,— не ниже надежности технологического оборудования — 90—99%;

в случаях, когда отказ пылеуловителей рециркуляционной системы вызывает существенное снижение температуры, в частности в результате забивания теплообменников,— не ниже 80%;

в других случаях — в зависимости от последствий прекращения очистки воздуха.

4. ЭКОНОМИКА СИСТЕМ ОЧИСТКИ ВОЗДУХА

Оценка экономических показателей систем очистки

4.1. Расчет экономических показателей системы (установки) производится для выявления удельной годовой стоимости очистки (на единицу производительности системы по воздуху), а также размера затрат энергии и воды на очистку воздуха по объекту. Наличие таких показателей позволяет более обоснованно выбирать оптимальный вариант устройства очистных сооружений, а также их эксплуатации, вследствие чего их рекомендуется выявлять во всех проектах.

При расчете экономических показателей должны быть определены и учтены капитальные затраты, затраты на эксплуатацию и амортизационные расходы.

4.2. К капитальным затратам относится стоимость пылеуловителей, вентиляторов и занимаемой ими площади или объема здания, причем в расчет принимается тот из двух показателей, стоимость которого выше, а также стоимость сопутствующих строительных работ.

В случае мокрых пылеуловителей в капитальные затраты включается стоимость оборудования для очистки сточных вод и системы

оборотного водоснабжения, а также соответствующих помещений. Если сточные воды запроектированных пылеуловителей передаются на имеющуюся очистную станцию, в расчете учитывается часть ее стоимости, пропорциональная количеству сточных вод пылеуловителей.

Примечание. Основой расчета капитальных затрат должна являться смета, составленная проектной организацией по рабочим чертежам. Если расчет производится на стадии выбора технического решения, то допускается определять стоимость элементов по укрупненным показателям. Стоимость пылеуловителей, на которые не имеется утвержденных сметных цен, может рассчитываться по массе использованного металла и цене на единицу применительно к ближайшему аналогу, имеющемуся в ценниках.

4.3. К эксплуатационным затратам относится стоимость расходуемой электроэнергии, воды, сменных элементов пылеуловителей (например, фильтровальных рукавов), зарплата обслуживающего персонала, транспортные расходы на вывоз уловленного материала и другие текущие расходы.

Стоимость водопроводной воды принимается по данным, относящимся к району, в котором располагается проектируемый объект. К стоимости водопроводной воды добавляется стоимость услуг канализационных сетей на полный объем расходуемой воды.

Стоимость воды в системах оборотного водоснабжения принимается по данным калькуляции себестоимости проектируемого или сходного с ним объекта.

Примечание. Для ориентировочных расчетов можно принимать стоимость воды, равной 0,10 руб/м^3.

Затраты на электроэнергию, расходуемую в пылеуловителях, рассчитывают в соответствии со справочными данными о ее себестоимости, относящимися к району расположения проектируемого объекта.

Примечание. Потери энергии во всасывающих и нагнетательных воздуховодах пылеуловителей не учитываются. Сопротивление пылеуловителя принимается по паспортным данным.

Затраты на сменные элементы пылеуловителей принимаются в соответствии с паспортными данными пылеуловителей.

Примечание. Сменными считаются элементы конструкции пылеуловителей, срок амортизации которых меньше, чем пылеуловителя в целом. К сменным элементам относятся рукава тканевых пылеуловителей, волокнистые слои уловителей кислотных и щелочных туманов, коронирующие электроды и изоляторы электрических туманоуловителей и т. п.

4.4. В тех случаях, когда уловленный материал представляет некоторую ценность, его стоимость, с учетом транспортных и других

расходов, связанных с его утилизацией, вычитается из суммы эксплуатационных затрат.

4.5. В тех случаях когда в результате очистки воздуха оказывается возможным его возвращение на рециркуляцию, определяется достигаемая годовая экономия тепла (холода) и его стоимость вычитается из суммы эксплуатационных затрат. Одновременно капитальные затраты уменьшаются на величину затрат, которые были бы необходимы для расширения мощности ТЭЦ, тепловых сетей и т. д.

Методика сравнения экономичности вариантов систем очистки

4.6. Сравнение экономичности вариантов систем очистки производится по разности приведенных затрат. Экономический эффект рассчитывается по формуле

$$П = (C_1 - C_2) - 0{,}12\,(K_1 - K_2)\ \text{руб/год}, \qquad (14)$$

где C_1 и C_2 — сумма эксплуатационных затрат по новому (НВ) и базовому (БВ) вариантам; K_1 и K_2 — сумма капитальных затрат для тех же вариантов; 0,12 — нормативный коэффициент эффективности капитальных вложений.

Пример 11. Определить экономическую эффективность замены пылеуловителей ЦВП на пылеуловители ПВМК. Объем очищаемого воздуха 20 т·м³/ч. Предприятие расположено в Москве. Системы оборотного водоснабжения не имеется.

Решение. Расчет ведется путем сопоставления стоимости обеспыливания воздуха в пылеуловителях ПВМК с циклонами с водяной пленкой ЦВП по вышеуказанной формуле.

Ввиду того, что эффективность ЦВП в обычном исполнении меньше, чем ПВМК, для сопоставления берется установка двух ЦВП-8 по варианту с повышенной скоростью воздуха. Сопротивление этих пылеуловителей при расходе воздуха 10 т·м³/ч составляет 140 Па, что несколько больше сопротивления ПВМК при одинаковой эффективности (115—130 Па).

В качестве базового варианта принимается циклон ЦВП-8, нового варианта — ПВМ20К.

Капитальные затраты

Стоимость пылеуловителей определяется согласно прейскуранту, исходя из цены за 1 т конструкции — 350 руб. Масса ПВМ20К без вентилятора и двигателя — 2300 кг.

Стоимость ПВМ20К составляет:

$$2{,}3 \cdot 350 = 805\ \text{руб.}$$

Масса ЦВП-8 — 369,7 кг, соответственно стоимость двух циклонов, эквивалентных по расходу воздуха одному ПВМ20К,

$$2 \cdot 0{,}37 \cdot 350 = 260 \text{ руб.}$$

Дополнительные затраты на установку ЦВП-8 (изготовление и установка постамента, крепление и т. п.) принимаются равными 25% стоимости циклона, что составит 65 руб.

Стоимость площади, занимаемой пылеуловителями, определяется по следующим данным:

размеры ПВМ20К — 3683×2500 мм; занимаемая площадь — 9,2 м²; размеры ЦВП-8 — 1425×2100 мм; занимаемая площадь двумя ЦВП-8, с учетом расстояния между ними (0,7 м) — 3,9 м².

Стоимость 1 м² производственной площади, согласно табл. 4 Инструкции по определению экономической эффективности нового оборудования для кондиционирования воздуха и вентиляции (М.: ЦНИИТЭстроймаш, 1978), принимается 110 руб.

Стоимость площади, занимаемой пылеуловителями, равна:

ЦВП-8 — $3{,}9 \cdot 110 = 429$ руб.;

ПВМ20К — $9{,}2 \cdot 110 = 1012$ руб.

Таким образом, общие капитальные затраты по базовому варианту составят $260 + 65 + 429 = 754$ руб., по сравниваемому варианту — $805 + 1012 = 1817$ руб.

Эксплуатационные затраты

Эксплуатационные затраты учтены на изменяющиеся элементы, т. е. по расходу воды и амортизационным отчислениям, прочие эксплуатационные затраты являются одинаковыми и в данном расчете не учитываются.

А. Затраты на обеспыливание воздуха

В циклонах ЦВП-8, по данным разработчиков, вода расходуется в количестве 0,126 л на 1 м³ обеспыливаемого воздуха.

Применение пылеуловителей ПВМ20К с механическим удалением шлама позволяет сократить расход потребляемой воды. Вода расходуется на залив бункера пылеуловителя и подпитку его для восполнения потерь на испарение и с удаляемым шламом. Удельный расход воды в пылеуловителях типа ПВМК составляет 0,005 л на 1 м³ обеспыливаемого воздуха.

Стоимость потребляемой воды составляет 15 коп. за 1 м³ и стоимость услуг канализации — также 15 коп. за 1 м³.

Общие затраты на водоснабжение составят 30 коп. на 1 м³ подаваемой воды.

При производительности 20 000 м³/ч, продолжительности трехсменной работы в год 6231 ч стоимость потребляемой воды составит:

в ЦВП-8 $-20\,000 \cdot 0{,}126 \cdot 0{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot 6231 = 4711$ руб.;
в ПВМ20К $-20\,000 \cdot 0{,}005 \cdot 0{,}3 \cdot 10^{-3} \cdot 6231 = 187$ руб.

Б. Амортизационные затраты

Амортизационные отчисления принимаются в размере 12,5% стоимости пылеуловителей согласно нормам амортизационных отчислений по основным фондам народного хозяйства (раздел — «Вентиляционные машины и оборудование»): для ЦВП-8 — 41 руб.; для ПВМ20К — 101 руб.

Таким образом, годовые эксплуатационные затраты по изменяющимся элементам затрат составляют:

по базовому варианту

$$4711 + 41 = 4752 \text{ руб/год;}$$

по сравниваемому варианту

$$187 + 101 = 288 \text{ руб/год.}$$

Сравнительные экономические показатели обеспыливания воздуха по базовому и новому вариантам представлены в табл. 4.

Таблица 4

Затраты	Стоимость, руб.	
	базовый вариант ЦВП-8	новый вариант ПВМ20К
Капитальные:		
стоимость пылеуловителя	325	805
стоимость занимаемой площади	352	1012
Всего	677	1817
Эксплуатационные:		
стоимость воды	4711	187
амортизационные отчисления	41	101
Всего	4752	288

Подставляя полученные величины затрат в формулу (14), получим, что экономический эффект от применения одного ПВМ20К производительностью 20 т·м³/ч составляет в год:

$$E = (4752 + 0{,}12 \cdot 677) - (288 + 0{,}12 \cdot 1817) = 4327 \text{ руб/год.}$$

Приведенный пример иллюстрирует недопустимость использования водопроводной питьевой воды для очистки воздуха без возвращения воды в систему оборотного водоснабжения.

СОДЕРЖАНИЕ

Стр.

Предисловие 3
1. Основные положения 3
Классификация аэрозолей 3
Свойства аэрозолей, подлежащие учету при проектировании очистки 4
Требования к очистке воздуха, выбрасываемого в атмосферу 9
Требования к очистке воздуха, возвращаемого в производственные помещения для рециркуляции 10
2. Выбор и расчет пылеуловителей 12
Классификация и номенклатура пылеуловителей, используемых в вентиляционной технике 12
Общие положения по выбору и расчету пылеуловителей . . 15
Предварительный выбор пылеуловителей 16
Расчет прямоточных пылеосадительных камер 17
Расчет инерционных пылеуловителей 19
Расчет пылеуловителей других видов 26
3. Проектирование пылеулавливающих установок и систем .
Выбор и расчет многоступенчатых установок 26
Общие требования к проектам установок и систем очистки воздуха 28
Оценка надежности систем очистки воздуха 30
4. Экономика систем очистки воздуха 31
Оценка экономических показателей систем очистки 31
Методика сравнения экономичности вариантов систем очистки 33

ЦНИИПРОМЗДАНИЙ ГОССТРОЯ СССР

РЕКОМЕНДАЦИИ
по проектированию очистки воздуха
от пыли в системах вытяжной
вентиляции

Редакция инструктивно-нормативной литературы
Зав. редакцией Л. Г. Бальян
Редактор И. А. Баринова
Мл. редактор Л. И. Месяцева
Технический редактор Г. Н. Орлова
Корректор О. В. Стигнеева

Н/К

Сдано в набор 16.01.85. Подписано в печать 16.07.85. Т-13572.
Формат 84×108¹/₃₂. Бумага тип. № 2. Гарнитура «Литературная»
Печать высокая. Усл. печ. л. 2,10. Усл. кр.-отт. 2,31. Уч.-изд. л. 2,20.
Тираж 20 000 экз. Изд. № XII—1020 Заказ № 1209. Цена 10 коп.

Стройиздат, 101442, Москва, Каляевская, 23а
Московская типография № 8 Союзполиграфпрома
при Государственном комитете СССР
ательств, полиграфии и книжной торговли.
а, Центр, Хохловский пер., 7.

gost.e-ecolog.ru