

## **РАЗДЕЛ 6. ФАКТОРЫ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ РАЗЛИЧНЫХ СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ И УТИЛИЗАЦИИ УЛОВЛЕННЫХ ПРОДУКТОВ**

### **ТЕМА 18. ВЫБОР ТИПА УСТАНОВОК СИСТЕМ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ВЫБРОСОВ**

При выборе пылеочистного оборудования, как правило, отдают предпочтение сухим методам пылеочистки. Мокрую пылеочистку применяют, когда используют оборотную воду для пылеулавливания в виде пульпы, шлама при одновременной абсорбции газовых примесей, охлаждении и увлажнении газов и в производствах при обеспыливании взрывоопасных и токсичных газов, так как аппараты мокрой пылеочистки герметичны.

В случае грубой очистки выбрать пылеуловитель не представляет трудностей. При улавливании тонкодисперсной пыли часто используют многоступенчатую очистку. В начале применяют один или несколько аппаратов предварительной очистки, а затем - аппарат тонкой, окончательной пылеочистки. К последнему предъявляют наиболее высокие требования. Им обычно является рукавный фильтр или электрофильтр, также вихревые аппараты, которые занимают наименьшую производственную площадь. Электрофильтр по сравнению с ними имеет значительно большие габариты, а рукавный фильтр той же производительности занимает еще большую площадь. Те же соотношения сохраняются и при оценке их стоимости. Однако эффективность и устойчивость в работе выше у рукавных фильтров, чем у электрофильтров. Самым стабильным является вихревой аппарат, он может работать при значительных колебаниях запыленности и расхода газа, сохраняя высокую степень пылеочистки, однако степень очистки таких аппаратов уменьшается с увеличением их диаметра, как и у циклонов. Обслуживание электрофильтров и рукавных фильтров обходится дороже, чем вихревых аппаратов.

Если при выборе пылеуловителя можно считать, что вихревой аппарат предпочтительнее циклона аналогичных параметров, то для сравнения его с рукавными фильтрами и электрофильтрами необходимо рассмотреть каждый конкретный случай, а затем уже выбрать наиболее эффективный аппарат тонкой очистки.

Большое влияние на этот выбор оказывают свойства улавливаемой пыли. Так, при высокой температуре отходящих газов энергоустановок

применять рукавные фильтры становится невозможным, поэтому, например, для тонкой очистки в тепловых электростанциях используют электрофильтр. Максимальную температуру газов выдерживают рукавные фильтры из стеклоткани (до 230 °С). Сухие электрофильтры применяют для очистки невзрывоопасных газов с температурой до 400 °С.

Важным параметром газопылевого потока является влагосодержание. При сухой пылеочистке газов с влагосодержанием, близким к точке росы, на стенках аппарата конденсируются пары и налипают пыль. Для мокрого пылеулавливания этот параметр не является лимитирующим. При пылеулавливании в электрофильтрах влагосодержание газов оказывает на нее сильное влияние. Так, очистка от пыли аспирационного воздуха при температуре выше 70 °С с влагосодержанием менее 15 - 20 г/м<sup>3</sup> существенно затруднена. Очистка горючих газов с влагосодержанием ниже 60 г/м<sup>3</sup> в электрофильтрах также не может быть реализована.

Содержание серных соединений в пыли, хотя и вызывает коррозию оборудования, но повышает температуру точки росы и заметно улучшает работу электрофильтров.

*Многоступенчатая очистка*, как правило, эффективнее, чем *одноступенчатая*. Однако вследствие изменения свойств пыли эффективность пылеулавливания может быть выше при меньшем числе ступеней. Так, при двухступенчатой очистке агломерационных газов от пыли степень улавливания системы батарейный циклон – электрофильтр составила 92 – 95 % (степень улавливания циклона 87 %), в то время как при одноступенчатой очистке – 99,5 %. Это происходит вследствие улавливания в циклоне более крупных частиц, имеющих низкое удельное электрическое сопротивление. Толщина тонкодисперсной (трудноотраживаемой) пыли на отдельных электродах достигает 20 мм, что ухудшает работу электрофильтра. При одноступенчатой очистке обеспечивается более эффективная регенерация как осадительных, так и коронирующих электродов.

Оптимальная схема установки пылеулавливания может быть разработана только с учетом всех влияющих факторов.

***Схемы одноступенчатой пылеочистки.*** Простые схемы включают один пылеуловитель. Так, при мокром способе производства цемента применяют схему, представленную на рис. 18.1, а. Источником пыли является печь обжига клинкера.

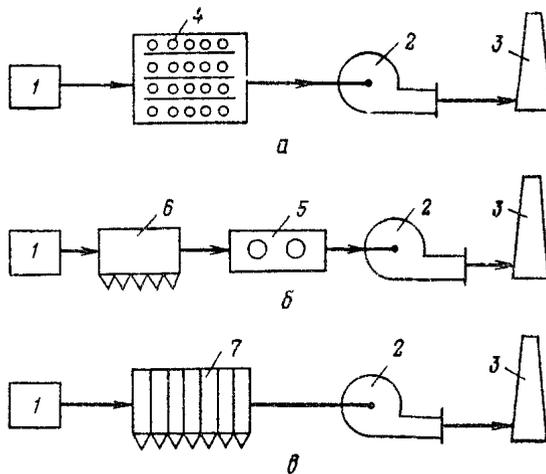


Рис. 18.1. Схемы одноступенчатой пылеочистки: а – с электрофильтром; б – с циклоном; в – с рукавным фильтром; 1 – источник пылеобразования; 2 – дымосос; 3 – дымовая труба; 4 – электрофильтр; 5 – батарейный циклон; 6 – коллектор; 7 – рукавный фильтр

Запыленный воздух проходит очистку в электрофильтре и с помощью дымососа удаляется через дымовую трубу в атмосферу. При запыленности на входе в электрофильтр  $10 - 20 \text{ г/м}^3$  эффективность очистки составляет  $98 - 99 \%$ ; концентрация пыли в выбросах  $0,1 - 0,5 \text{ г/м}^3$ . Электрофильтр используют также при очистке газов в сушильно-дробильных и сушильно-помольных установках сухого способа производства цемента.

В металлургии при очистке газов агломерационного производства используют схему пылеочистки, представленную на рис. 18.1, б. На агломерационной машине спекается агломерат. Коллектор имеет зоны спекания и охлаждения, откуда отводят запыленные газы через батарейный циклон посредством тяги дымососа в дымовую трубу. Выход агломерационных газов на 1 т агломерата составляет  $2,5 - 4 \text{ тыс. м}^3/\text{ч}$  с концентрацией в них пыли от  $5$  до  $60 \text{ г/м}^3$ , которая в очищенном газе не должна быть более  $70 \text{ мг/м}^3$ . В схеме пылеочистки того же производства с батарейным циклом степень очистки составляет  $70 - 80 \%$ .

В схемах пылеочистки газов агломерационного производства, где вместо батарейного циклона (см. рис. 18.1, б) установлен мокрый пружковый скруббер ВТИ, который, однако, быстро зарастает отложениями, воз-

никает необходимость создания водошламового хозяйства, что удорожает установку, создает проблему сброса стоков.

Для одноступенчатой пылеочистки агломерационных газов можно применять рукавный фильтр (рис. 18.1, в). Запыленность газа на входе 4 – 5 г/м<sup>3</sup>. При скорости фильтрации 1 м/мин эффективность пылеулавливания составляет 98,7 %. В работе установки использовано свойство пыли адсорбировать диоксид серы, находящийся в газах. При прохождении через слой пыли из газа извлекается около 62 % диоксида серы.

Примером одноступенчатой очистки газов в рукавном фильтре является очистка газов электросталеплавильных печей. Производительность установки 1 млн. м<sup>3</sup>/ч, запыленность газов 2 г/м<sup>3</sup>. Эксплуатационные и капитальные затраты примерно в 2 раза выше, чем в электрофильтрах. Очистка запыленных газов тканевыми фильтрами очень распространена также в текстильной промышленности.

**Схемы многоступенчатой пылеочистки.** Схемы двухступенчатой пылеочистки, наиболее часто используемые в промышленных установках пылеулавливания, представлены на рис. 18.2. В качестве первой ступени, как правило, используют аппарат грубой очистки (например, циклон), а в качестве второй – аппарат тонкой очистки (рукавный фильтр или электрофильтр).

Так, в химической промышленности и в металлургии на агломерационных фабриках используют схему пылеочистки, показанную на рис. 18.2, а. Источниками пыли являются обжиговые печи, узлы пересыпки, транспортеровки и т. д. Газы, отводимые от источников пылеобразования, после коллектора поступают на очистку в одиночные или батарейные циклоны, а затем в электрофильтр.

Такую же схему пылеочистки используют в производстве фосфоритной муки, где газы, отходящие после сушильных барабанов, сначала очищаются в батарейном циклоне, а затем в электрофильтре. Степень улавливания на первой ступени составляет 85 – 86 %, а на второй – 92 %. Для получения концентрации пыли в выбросах, соответствующей санитарным нормам, устанавливают пенный скруббер.

При очистке газов цементных мельниц применяют двухступенчатую схему, включающую циклон ЦН-15 и электрофильтр УГ-3-15. Концентрация пыли в газах до очистки составляет 55 г/м<sup>3</sup>, а после – 0,1 г/м<sup>3</sup>.

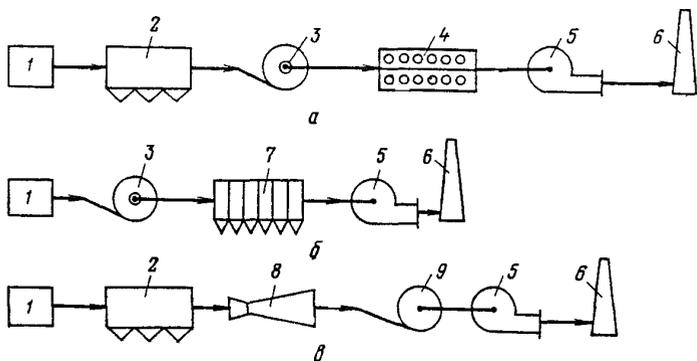


Рис. 18.2. Схемы двухступенчатой пылеочистки: а – с циклоном и электрофильтром; б – с циклоном и рукавным фильтром; в – с трубой Вентури и сепаратором; 1 – источник пылеобразования; 2 – коллектор; 3 – циклон; 4 – электрофильтр; 5 – вентилятор-дымосос; 6 – труба; 7 – рукавный фильтр; 8 – труба Вентури; 9 – сепаратор

Схема очистки газов от пыли в производстве технического углерода по сухому способу представлена на рис. 18.2, б. На первой ступени очистки применяют четыре циклона СК-ЦН-34. Последующая тонкая очистка осуществляется в рукавном фильтре. В качестве ткани в нем используют стеклоткань. Эффективность очистки на первой ступени составляет 80 – 85 %, на второй – 96 – 99 %.

Схема мокрой очистки в трубе Вентури и центробежном скруббере (каплеуловитель) представлена на рис. 18.2, в. Ее применяют в случае отсутствия места для установки электрофильтра при очистке газов образующихся при обжиге железных окатышей, очистке доменного газа, газа мартеновских печей и конвертеров, газов ТЭС и на других производствах. Так, при очистке дымовых разов ТЭС, работающих на угле, эффективность мокрой очистки (см. рис. 18.2, в) составляет 95 – 96 %, расход воды 0,00013 м<sup>3</sup> воды/м<sup>3</sup> газа.

Распространена в промышленности также двухступенчатая схема пылеочистки циклон - мокрая очистка. Так, для очистки газов аспирации пневмотранспорта и силосов от пылей бентонита и известняка применяют циклон ЦН-15 и мокрый центробежный скруббер. Эффективность улавливания циклона составляет 80 – 85 %, в целом установки – 95 – 98 %.

При очистке газов от костной муки на клеевых заводах используют два циклона и пенный аппарат. Концентрация пыли до очистки 15 г/м<sup>3</sup>, по-

сле – 0,2 г/м<sup>3</sup>. Аналогичную схему применяют на асфальтобетонных заводах. Концентрация пыли в результате очистки снижается с 350 до 0,3 г/м<sup>3</sup>, что несколько выше, чем при применении на последней стадии электрофильтра.

Таким образом, выбор схемы очистки в конкретном производстве определяется свойствами пыли, экономикой процесса и требованиями к готовому продукту.

При проведении испытаний и пуске пылеулавливающей установки составляют таблицу показателей, которая включает также основные оптимальные параметры эксплуатационного режима. С ее помощью сравнивают эффективность работы различных пылеулавливающих установок.

### **Вопросы для самопроверки**

1. Что представляют собой многоступенчатая и одноступенчатая системы очистки газовоздушных выбросов?
2. Приведите схемы одноступенчатой пылеочистки.
3. Приведите схемы многоступенчатой пылеочистки.
4. От каких факторов зависит выбор схемы очистки газовоздушных выбросов?

## ТЕМА 19. ОЦЕНКА ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТНЫХ УСТРОЙСТВ

Использованный в производственном цикле воздух вследствие необратимости реальных процессов невозможно восстановить в исходном качестве, обрабатывая его каким то ни было образом. Поэтому очистные сооружения не могут защитить биосферу от производственных выбросов, а в состоянии лишь понизить уровень загрязнения.

Экологическое совершенство очистного оборудования определяется отношением достигаемого уровня обезвреживания и экологически приемлемого уровня загрязнения биосферы. Объективным критерием последнего служит темп естественного изменения качества атмосферы, характеризующий **параметром изменчивости  $R$**

$$R = \frac{dC}{(C_b \cdot d\tau)}, \quad (19.1)$$

где  $C_b$  и  $\tau$  – начальная концентрация вещества и время наблюдения за ее изменением соответственно.

Параметры изменчивости могут быть определены для большинства веществ, входящих в состав антропогенных загрязнителей, т. к. они или сходные по свойствам соединения, поступают в атмосферу и естественным путем. Параметры изменчивости достоверно определены только для некоторых ингредиентов атмосферы. Нормативы загрязнения атмосферы в виде ПДК известны для широкого круга химических соединений. Поэтому оценка эффективности очистных устройств по ПДК более удобна, хотя экологически малоинформативна.

**Санитарно-гигиенический метод** оценки эффективности очистных устройств основан на сравнении достигаемого уровня обезвреживания с ПДК. Обработка выбросов современными методами позволяет уменьшить концентрации вредных примесей более чем на 95 %, и все же их значения остаются на 4...5 и более порядков выше нормативов ПДК. Дальнейшее понижение концентраций загрязнителей до уровня, сопоставимого с ПДК, приведет к увеличению стоимости процесса очистки.

Энергетические затраты на удаление одинакового количества загрязнителя посредством конденсации логарифмически возрастают с понижением его концентрации. Аналогичная зависимость характерна и для *сорб-*

*ционных методов* очистки, основой которых также является конденсация примесей.

Удельные затраты энергии на удаление дисперсных примесей возрастают пропорционально снижению концентрации взвешенных в потоке частиц, поскольку степень очистки в пылеулавливающих аппаратах практически не зависит от начальной концентрации загрязнителя. В дополнение к этому затраты растут и с уменьшением размеров частиц.

*Химические методы* обработки выбросов характеризуются ростом затрат энергии с понижением начальных концентраций загрязнителей как на единицу обрабатываемой массы, так и на процесс в целом, вследствие уменьшения скорости реакции.

В ряде случаев для очистки пылегазовых выбросов применяют *термохимические, термокаталитические, хемосорбционные* и другие способы обработки, которые являются комбинированными. Процессы, происходящие при этом, имеют еще более сложный характер, однако принцип возрастания энергии с увеличением глубины очистки справедлив и для них.

По этой причине уровень обезвреживания пылегазовых выбросов устанавливается из экономических соображений, а не по экологическим или санитарно-гигиеническим требованиям.

В экономически допустимых пределах совершенство современных пылегазоочистных устройств принято оценивать по степени очистки (см. формулы (2.1) – (2.3)). Если отбросные газы последовательно обрабатываются в нескольких аппаратах, то коэффициент очистки определяют по выражению (2.6).

Выражения (2.1) – (2.3) и (2.6) справедливы для выбросов, содержащих монофракционные взвешенные частицы или один гомогенный загрязнитель, при обработке которого не образуется новых токсичных соединений. Для полидисперсных или многокомпонентных смесей эти формулы можно применять, если способ обезвреживания имеет одинаковые коэффициенты очистки по всем ингредиентам. Однако на практике приходится иметь дело с селективностью очистных устройств по загрязнителям.

Возможность использования того или иного типа устройства для обезвреживания выбросов определенного состава устанавливается по полному коэффициенту очистки, для подсчета которого необходимы данные о селективных коэффициентах очистки рассматриваемого аппарата. ***Селективную способность*** пылеосадительных устройств по отношению к полидисперсным примесям газовых выбросов принято характеризовать *фракционными и парциальными коэффициентами очистки*.

Степени осаждения частиц, усредненные в пределах фракций, т. е. по интервалам размеров, представляющих фракцию, выражаются **фракционными коэффициентами очистки**. Если для усреднения принимают произвольные интервалы размеров частиц, то коэффициенты очистки называются **парциальными**.

Получить достоверные сведения о фракционных и парциальных долях уловленных ингредиентов расчетным путем невозможно, поскольку процессы происходящие в очистных установках, как правило, не поддаются математическому описанию. Поэтому при проектировании приходится полагаться на эмпирические параметры более или менее сходных процессов, а затем корректировать работу аппарата при пусконаладочных испытаниях и в течение всего срока эксплуатации.

После решения вопроса о фракционных и парциальных коэффициентах очистки подсчитывают полные коэффициенты очистки.

Менее всего разработана проблема оценки совершенства способов обработки, связанных с химическими превращениями загрязнителей. Практикуемое в таких случаях формальное применение формулы (2.3) может привести к грубым ошибкам. Игнорирование конкретных свойств исходных реагентов и термодинамически возможного набора конечных продуктов может обернуться тяжелыми последствиями, поскольку зачастую продукты реакции не безвредны, а иногда и более токсичны, чем исходные компоненты.

Ошибки такого рода типичны при оценке метода термического обезвреживания. Если термообезвреживанию подвергаются токсичные органические вещества – альдегиды, кетоны, органические кислоты, ароматические соединения, молекулы которых содержат только атомы *C*, *H* и *O*, то при правильной организации процесса сжигания они почти полностью окисляются до практически безвредных  $CO_2$  и  $H_2O$ . Вместе с тем в процессе горения образуются оксиды азота  $NO$  и  $NO_2$ , которые сами по себе менее токсичны, чем исходные соединения, но по воздействию на биосферу сравнимы с формальдегидом, оксидами серы и др. соединениями, участвующими в образовании сульфатных и фотохимических смогов. Формальный расчет степени обезвреживания по исходным загрязнителям может показать картину глубокой очистки вредных выбросов, в то время как учет в формуле (2.3) образовавшихся оксидов азота поможет выявить реальную ситуацию. Если степень очистки выбросов окажется при этом недостаточной, то может возникнуть вопрос о двухступенчатой очистке и, следовательно, о дополнительных затратах средств. При таком варианте

решения задачи полный коэффициент очистки можно подсчитать по формуле (2.6), учитывающей результаты обеих ступеней обезвреживания.

Еще менее удачной окажется попытка оценки по начальным и конечным концентрациям исходных загрязнителей эффективности процесса термообработки соединений, содержащих металлы, фосфор, серу, галогены и др. элементы. Так, например, процесс термообработки хлорорганических продуктов можно организовать так, что исходных загрязнителей в продуктах сгорания не окажется. Следовательно, расчеты коэффициентов очистки по формуле (2.3) обеспечат положительную оценку результатов обезвреживания. В то же время в продуктах сгорания неизбежно появятся новые виды загрязнителей: сравнительно мало токсичные, но обладающие высокой коррозионной активностью кислые соединения – хлороводород  $HCl$  и хлорные кислоты, высокотоксичные соединения типа  $Cl_2$ ,  $Cl_2O$  и др., и, наконец, особоопасные соединения типа фосгена  $COCl_2$ , относящиеся к группе боевых отравляющих веществ. Учет всей совокупности конечных продуктов однозначно покажет непригодность методов термообработки для обезвреживания подобных выбросов.

Приведенные примеры показывают, что причины ошибочного выбора средств обезвреживания следует искать не в методике подсчета коэффициентов очистки, а в их некомпетентном использовании. Безусловно, метод оценки очистных устройств по коэффициентам очистки имеет малую экологическую или санитарно-гигиеническую ценность. Коэффициент очистки служит прежде всего показателем интенсивности процессов, протекающих в очистном устройстве.

### Вопросы для самопроверки

1. Что характеризует параметр изменчивости  $R$ ?
2. На чем основан санитарно-гигиенический метод оценки эффективности очистных устройств?
3. Как оценить совершенство пылегазоочистного устройства?

## ТЕМА 20. ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ КАПИТАЛОВЛОЖЕНИЙ В ГАЗООЧИСТНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Технико-экономическое сравнение различных схем пылеулавливания может производиться лишь при сопоставимой эффективности рассматриваемых вариантов, обеспечивающей соблюдение норм предельно допустимых концентраций (ПДК). Этим обусловлены специфические особенности сравнительной экономической оценки капитальных затрат на газоочистные сооружения.

*Технико-экономическая оценка газоочистных сооружений* строится в основном на базе сравнительных данных. Объект газоочистки, подлежащий оценке, сравнивается по технико-экономическим показателям с лучшим действующим или запроектированным аналогичным объектом (аналогом). Аналог приводится в сопоставимые условия с оцениваемым объектом по мощности, степени очистки газов, условиям производства. Сравнение производится по капитальным вложениям, численности обслуживающего персонала, производительности труда, эксплуатационным затратам, уровню приведенных затрат.

Если сравниваемые варианты отличаются по производительности и долговечности, то следует использовать *коэффициенты эквивалентности по производительности*  $k_{II}$  и *по долговечности*  $k_{\delta}$

$$k_{II} = \frac{\Pi_n}{\Pi_{\delta}}, \quad (20.1)$$

где  $\Pi_n$  – производительность нового варианта;

$\Pi_{\delta}$  – производительность базового варианта (аналог).

$$k_{\delta} = \frac{(1/T_{\delta} + E)}{(1/T_n + E)}, \quad (20.2)$$

где  $k_{\delta}$  – коэффициент эквивалентности по долговечности;

$E$  – коэффициент эффективности;

$T_{\delta}$ ,  $T_n$  – сроки службы соответственно базисного и нового оборудования, принимаемые с учетом морального износа.

В каждом отдельном случае необходимо выбирать аппарат, учитывая данные конкретные условия.

Наиболее трудно выбрать тип пылеуловителя при больших объемах очищаемых газов. В этих случаях размеры аппарата и энергетические затраты могут быть столь значительными, что они существенно влияют на себестоимость основного производства и могут изменить размеры и компоновку цеха. В этом случае приходится детально учитывать возможности предприятия (наличие места, возможность снабжения электроэнергией, потребления воды и спуска сточных вод и т.п.).

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

При применении мокрых методов пылеулавливания следует особое внимание уделять возможности утилизации полученных пульп и антикоррозийной защите аппаратуры. Определяя эффективность капиталовложений в газоочистные сооружения, необходимо учитывать также следующие основные показатели различных аппаратов.

Пылевые камеры, циклоны и другие инерционные пылеуловители по капитальным и эксплуатационным затратам наиболее дешевы, но они улавливают только крупные частицы, поэтому самостоятельно их применяют на старых предприятиях или на объектах малой мощности для улавливания крупной пыли. Чаще их применяют в качестве первой ступени пылеулавливания как аппараты предварительной очистки перед электрофильтрами, рукавными фильтрами, вентиляторами для защиты от сильной эрозии лопаток роторов, а также в тех случаях, когда необходимо уловленную пыль разделить на фракции.

Большинство мокрых пылеуловителей может работать достаточно эффективно при пыли средней дисперсности (более 2 – 5 мкм). Улавливание более мелких частиц обычно связано с повышенным расходом электроэнергии (в скоростных турбулентных пылеуловителях).

В электрофильтрах можно получить высокую степень очистки, в том числе от высокодисперсных частиц. Однако для этого часто требуется предварительно подготавливать газ, так как для каждой пыли в зависимости от ее электрических свойств, слипаемости, дисперсности и химического состава газа выбирают оптимальные технологические условия (температуру, влажность, скорость газа) работы электрофильтра.

Рукавные тканевые фильтры дают наиболее высокую степень очистки от пыли любого дисперсного состава, но требуют поддержания температуры газов в определенных пределах. Эти аппараты по капитальным затратам несколько дешевле, чем электрофильтры, но расходы на их эксплуатацию выше.

За обобщающий показатель эффективности капиталовложений в газоочистку принимается *уровень приведенных затрат*  $C + E_H \cdot K$ , где  $C$  – эксплуатационные затраты;  $E_H$  – нормативный коэффициент сравнительной эффективности капитальных вложений, равный 0,15;  $K$  – капитальные вложения или сумма производственных основных и оборотных фондов. Лучшими по экономическим факторам считаются объекты или варианты с минимальными приведенными затратами. Чем ниже уровень приведенных затрат, тем экономичнее и эффективнее объект, вариант, мероприятие. *Экономический эффект* определяют по формуле

$$\mathcal{E} = (C_1 + E_H \cdot K_1) - (C_2 + E_H \cdot K_2), \quad (20.3)$$

где  $\mathcal{E}$  – годовой экономический эффект;

$C_1$  и  $C_2$  – годовые эксплуатационные расходы соответственно аналога и оцениваемого объекта;

$K_1$  и  $K_2$  – капитальные вложения или сумма производственных основных и оборотных фондов соответственно аналога и оцениваемого объекта.

Расчет эксплуатационных затрат производится с учетом стоимости улавливаемых веществ, если они возвращаются в производство или реализуются как готовый товарный продукт. В случае реконструкции, а также в тех случаях, когда оцениваемый объект имеет большие капитальные затраты при небольших эксплуатационных расходах, *срок окупаемости* дополнительных капитальных вложений определяется по формуле

$$T = \frac{(K_2 - K_1)}{(C_1 - C_2)}. \quad (20.4)$$

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

## **Вопросы для самопроверки**

1. В чем заключается технико-экономическая оценка газоочистных сооружений?
2. Что необходимо учитывать при экономической оценке любого метода очистки?
3. Что такое показатель эффективности капиталовложений?
4. Как определить годовой экономический эффект?
5. Как определить срок окупаемости капитальных вложений?