

**Самохвалов Николай Митрофанович,**

к.т.н., доцент, Ангарский государственный технический университет,

e-mail: snm4186@mail.ru

**Зыкова Юлия Александровна,**

преподаватель, Иркутский национальный исследовательский технический университет,

e-mail: ulya2279@mail.ru

## **ПРОБЛЕМЫ ОЧИСТКИ ГАЗОВ ОТ ПРОМЫШЛЕННОЙ ПЫЛИ**

**Samokhvalov N.M., Zykova U.A.**

## **PROBLEMS OF CLEANING GAS FROM INDUSTRIAL DUST**

**Аннотация.** Рассмотрены задачи, которые должны решаться при улавливании пыли на промышленных предприятиях. Описаны современные методы очистки запыленных потоков и пылеулавливающая аппаратура. Обозначены проблемы, существующие при промышленной очистке запыленных газов, и возможные пути их решения.

**Ключевые слова:** пылеулавливание, экологическая безопасность, эффективность очистки, фильтрование, осаждение.

**Abstract.** The tasks that should be solved when collecting dust at industrial enterprises are considered. Describes the modern methods of cleaning dust streams and dust removal equipment. The problems that exist during the industrial cleaning of dusty gases, and possible solutions to them, are indicated.

**Keywords:** dust collection, environmental safety, cleaning efficiency, filtration, sedimentation

На многих промышленных предприятиях используются технологические процессы, связанные с дроблением и измельчением твердых сыпучих материалов, сжиганием твердого топлива, обжигом и сушкой сыпучих материалов, пневмотранспортом, псевдооживлением и т.д., в результате чего образуются пылевидные неоднородные системы. Необходимость очистки запыленных потоков связана с экологической безопасностью окружающей среды и человека, с уменьшением потерь ценных продуктов, снижением абразивного износа технологического, дутьевого и аспирационного оборудования, с обеспечением «тонкой» очистки воздушных и газовых потоков для использования их в различных технологических процессах.

Уменьшение потерь ценных продуктов направлено на увеличение производительности и прибыли производства, и влияет на себестоимость продукции. Снижение абразивного износа повышает долговечность и надежность работы оборудования. Тонкая степень очистки воздуха требуется на фармацевтических, микробиологических предприятиях и в других случаях.

Экологическая безопасность зависит от экологической эффективности, в качестве показателя которой в России используется ГОСТ «Экологический менеджмент. Оценка экологической эффективности. Руководство по оценке экологической эффективности» [1]. В нем рассматриваются: прямые измерения или расчеты выбросов в атмосферу; относительные измерения или расчеты валового выброса загрязняющего вещества, приходящиеся на единицу произ-

веденной продукции или торгового оборота; индексированное по контрольной точке (вехам) соотношение выбросам загрязнителей в текущем и базовом годах; агрегированные данные по общим выбросам загрязняющих веществ, определяемые как суммарный выброс от всех установок, участвующих в производстве данной продукции.

Понятие экологической эффективности можно применить и к системам пылеулавливания, так как они являются неотъемлемой частью технологических процессов. Их основное назначение – это снижение массы выбросов пыли с минимизацией энергетических затрат при очистке газовых потоков [2].

Для оценки качества работы пылеуловителей используются показатель эффективности очистки или коэффициент проскока пыли, и остаточная запыленность потока. Эффективность очистки показывает долю уловленной пыли по отношению к вошедшей в аппарат пыли, а коэффициент проскока – долю пыли, унесенной очищенным потоком, по отношению к вошедшей. Однако, эти показатели не отражают загрязненность выбросов. Это учитывается показателем остаточной запыленности, который позволяет количественно оценить проскок пыли и сравнить его с ПДК или ПДВ.

Источниками загрязнений окружающей среды, в том числе рабочих территорий и рабочих мест, являются огромное количество промышленных предприятий. В первую очередь, это предприятия по выпуску различных строительных материалов, химические и металлургические предприятия, нефтеперерабатывающие заводы, тепловые электростанции и тепловые котельные установки, угледобывающие и углеперерабатывающие, деревообрабатывающие предприятия, производства пищевых продуктов и многие другие [3–6].

Особую проблему создают химические, металлургические предприятия, производства строительных материалов, тепловые электростанции, на которых образуются абразивные, коррозионно-агрессивные и высокотемпературные пылевые продукты. Только в России при производстве строительных материалов в атмосферу попадает свыше 2 млн. т. неорганической пыли. Мировое потребление цемента растет до 4,5 % в год. В России к 2020 г. рост его производства составит до 9% в год. Объем производства цемента в мире составляет около 4 млрд. т/год [4, 7]. Только в Сибирском регионе цемент получают в г.г. Ангарск, Новокузнецк, Магнитогорск, Новотроицк, Ачинск, Красноярск, Норильск и др.

Источником большой запыленности в производствах цемента являются стадии обжига сырья для получения клинкера, при подготовке угольного топлива при его дроблении, стадии помола клинкера в цементных мельницах, цементные силосы при загрузке в них цемента с помощью пневмотранспорта и места затарки цемента в мешки и другие участки предприятия.

Несмотря на высокую эффективность очистки в электрофильтрах (до 99 % и более), запыленность газа на выходе из электрофильтров после печей об-

жига составляет от 8,0 до 30,0 г/с. Выбросы в атмосферу шламовой пыли по предприятию составляют до 120 кг/ч. Выбросы в атмосферу цементной пыли по цеху помола составляют до 6 кг/ч на каждый рукавный фильтр, гипсовой пыли – 2,5 кг/ч, а по золе – 2 кг/ч. В целом по предприятию выбросы цемента после помола клинкера могут превышать 20 т/ месяц [8].

Вредными пылеобразующими источниками являются и предприятия пищевой промышленности. На пищевых предприятиях вредность пылевых выбросов, также как и многих других источников, зависит не только от агрессивности и химического состава частиц, но и от их дисперсного состава. Особенно опасными для здоровья человека представляются мелкодисперсные частицы, размеры которых меньше 5 мкм, так как они не задерживаются в верхних дыхательных путях, а проникают внутрь организма человека. Снижение выбросов пищевой продукции важно и с экономической точки зрения. Участки повышенной запыленности пищевых предприятий часто возникают при проведении операций по разгрузке продуктов после сушки и операции по развесу и упаковки в мешки. Для очистки во многих случаях используются циклоны, которые плохо улавливают мелкодисперсную пыль размером менее 10-15 мкм, а эффективность очистки составляет 60–90 % [9].

Многие процессы нефтепереработки связаны с использованием твердых шариковых или микросферических катализаторов (например, процессы каталитического крекинга на установках 1-А/1-М, ГК-3, Г 43-107). В них используются реакторы и регенераторы с циркулирующим, движущимся или псевдоожиженным катализатором. При этом процессы регенерации (обжига) катализатора происходят в жестких условиях при температурах до 600-650 °С и кратности циркуляции катализатора до 25–30. В результате происходит истирание и разрушение катализаторов. Внутри реакторов и регенераторов отделение продуктов крекинга и дымовых газов от катализаторов осуществляется в циклонах и зачастую с высокой эффективностью, которая может достигать величины 99,995 %. Однако циклоны плохо улавливают мелкую пыль, которая с дымовыми газами проходит через котел-утилизатор, либо без него, выбрасываются в атмосферу. Часть не уловленной пыли, поступает с продуктами крекинга на ректификацию [10].

Представленные примеры проблем по очистке запыленных потоков – это малая толика из большого массива информационного материала по недостаточной эффективности пылеулавливания промышленной пыли. В большей части случаев предприятия снабжены пылеочистными устройствами, но они не всегда обеспечивают требуемые условия очистки. Причины этого весьма разнообразны. Среди них можно назвать несколько наиболее распространенных причин: неправильный выбор пылеулавливающего оборудования (не тот способ очистки); пылеуловитель эксплуатируется с нарушением технологических условий процесса (температура, давление, концентрации потоков, скорость по-

тока, колебания расходов и т.д) или обслуживается не надлежащим образом; при выборе не учтены физико-химические свойства пыли (размер, дисперсный состав, сыпучесть или слипаемость, влажность, абразивность и др.).

Несмотря на многообразие пылеулавливающего оборудования, в основе их работы лежат следующие промышленные способы очистки - гравитационное, инерционное и центробежное осаждение, фильтрование, электроосаждение и мокрая очистка. Каждый из этих способов имеет определенные достоинства, но и недостатки, которые регламентируют сферы их использования [3, 11].

Гравитационное и инерционное осаждение используется, в основном, для предварительной очистки потоков с высокой концентрацией пыли и частицами относительно крупного размера, более 20-40 мкм. При этом эффективность очистки низкая и, часто, составляет порядка 40-50 %. Аппараты просты по устройству, не требуют больших капитальных затрат, обладают малым гидравлическим сопротивлением, но достаточно громоздки. Гравитационное осаждение протекает под действием силы тяжести, а инерционное осаждение происходит за счет изменения скорости запыленного потока по величине и по направлению.

Отечественный и зарубежный опыт показывает, что при обеспыливании промышленных выбросов широкое распространение получили сухие центробежные пылеуловители циклонного типа из-за простоты в изготовлении, монтаже и эксплуатации, компактности конструкции. Все многообразие циклонных пылеуловителей можно разделить на три основные группы – противоточные циклоны, прямоточные циклоны (ПЦ), вихревые пылеуловители (ВПУ) или пылеуловители со встречными закрученными потоками (ВЗП). Однако, у циклонов низкая эффективность улавливания пыли размером менее 15 мкм, а тем более 5 мкм, повышенные гидравлические потери – до 2000 Па и более, повышенный абразивный износ. Известны циклоны с высокой эффективностью очистки, достигающей более 99 %, но статистика показывает, что средняя промышленная эффективность в целом составляет 75-85 % [12].

Большую группу аппаратов сухой очистки составляют пылеуловители фильтрационного действия. Фильтрование является одним из высокоэффективных способов очистки запыленных газов. Для очистки запыленных газов используют фильтры из тканей и нетканых материалов, зернистые, сетчатые или щелевые перегородки. Гибкую тканевую фильтровальную перегородку имеют рукавные фильтры. Достоинством тканых фильтров является высокая степень очистки, достигающая 99,5 % и выше при начальной запыленности до 60 г/м<sup>3</sup>. Существуют рукавные фильтры, рассчитанные на очистку больших объемов газов (от 3 до 10 млн. м<sup>3</sup>/ч и более), представляющие собой уникальные пылеулавливающие установки с рабочей поверхностью свыше 200 тыс. м<sup>2</sup>, с десятками тысяч рукавов и концентрацией пыли на выходе 0,3–0,5 мг/м<sup>3</sup>.

К недостаткам относятся: необходимость периодической регенерации ткани для снижения сопротивления и недопущения «пробоя» ткани; большое гидравлическое сопротивление до 1000–3000 Па и более; склонность к пробоям; ткани подвергаются быстрому износу; большие расходы на эксплуатацию; низкая скорость фильтрования и как следствие – большие габариты аппаратов; малоприспособны для очистки горячих, абразивных и коррозионных газов [13].

К фильтрам из нетканых материалов относятся волокнистые, которые делятся на три группы: ячейковые, рулонные с каркасом из капроновой ткани сетки и панельные фильтры для кондиционеров. Волокнистые фильтры представляют собой слои различной толщины, в которых более или менее однородно распределены волокна соответствующего материала. В них происходит улавливание и накопление частиц преимущественно по всей своей глубине. Они используются для очистки газов с концентрацией частиц, в основном, от 0,5 до 5 мг/м<sup>3</sup> и подразделяются на тонковолокнистые, глубокие и грубоволокнистые.

В зернистых фильтрах можно улавливать твердые частицы практически всех размеров, в широком диапазоне концентраций запыленного газа. В качестве зернистой среды используются песок, гравий, крошка мрамора, металлическая стружка и другие насыпные материалы. Их преимущества состоят в сравнительной простоте конструкций, невысокой стоимости и доступности фильтровальных материалов, способности выдерживать значительные механические нагрузки и перепады давлений, возможность работы с горячими и агрессивными средами. Несмотря на это зернистые фильтры пока применяются сравнительно редко из-за конструктивных недостатков, периодичности действия, громоздкости, небольшой производительности, несовершенства устройств регенерации фильтрующего слоя [14].

Одним из наиболее эффективных способов очистки является электроосаждение пыли в электрофильтрах [3]. Они используются для очистки больших объемов запыленного газа с диапазоном дисперсности частиц от 0,1 до 100 мкм и концентрации в газах до 50 г/м<sup>3</sup>.

Электрофильтры имеют невысокое гидравлическое сопротивление (150–500 Па) и небольшие энергозатраты в пределах 0,1–0,5 кВт·ч на 1000 м<sup>3</sup> очищаемого газа. Эффективность очистки в них может достигать 99 %, а в ряде случаев и 99,9 %. Однако электрофильтры чувствительны к изменению условий технологического процесса (температуры, влажности, объемного расхода и т.д.), а степень очистки в них существенно зависит от электрической проводимости пыли. Электрофильтры способны обеспечить высокую степень очистки, в том числе от мельчайших частиц пыли, но часто требуют предварительной подготовки газов. Они совершенно не подходят для осаждения частиц с небольшим электрическим сопротивлением и очистки взрывоопасных газов. Электро-

фильтры требуют высоких капитальных и эксплуатационных затрат, поэтому их использование оправдано чаще всего для очистки больших количеств газа.

Мокрое осаждение является одним из высокоэффективных способов защиты окружающей среды и используется для тонкой очистки газов от пыли [15]. Улавливание в них происходит за счет тесного взаимодействия между жидкостью и запыленным газом за счет инерционного осаждения на поверхности жидкой пленки или капель, либо поверхности пузырьков газа. Такая очистка эффективна тогда, когда допускается увлажнение и охлаждение газа, а улавливаемые частицы не представляют ценным продуктом. Если улавливаемые частицы не смачиваются жидкостью, то мокрая очистка малоэффективна.

Одним из недостатков мокрого пылеулавливания является брызгоунос жидкости с газом, что часто требует дополнительных затрат на отделение газа от жидкости. Существенным недостатком мокрой очистки газов от пыли является образование шламов, что требует дорогостоящего шламового хозяйства, а образующиеся сточные воды должны подвергаться дальнейшей очистки.

Выполненный анализ показывает, что очистка газа от пыли, а особенно промышленных выбросов, является важной экологической и экономической задачей. Несмотря на широкий выбор способов пылеулавливания и многообразие конструкций пылеуловителей, высокоэффективная и экономичная очистка запыленных газов, особенно высокотемпературных, химически агрессивных и коррозионных потоков, нередко представляет сложную техническую задачу.

Известные пылеулавливающие аппараты, при таком большом разнообразии условий очистки, в равной степени качественно, с высокой эффективностью и экономично обеспечить требования к очистке не могут. Следует отметить, что до настоящего времени вопросам развития исследований теоретических основ по пылеулавливанию, принципам конструирования, инженерного расчета и проектирования высокоэффективных энергосберегающих аппаратов и установок для очистки пылевых выбросов уделяется недостаточно внимания. Разработка научно-обоснованных технических решений по усовершенствованию конструкций перспективных пылеулавливающих аппаратов, обеспечивающих повышение их эффективности и уменьшение энергозатрат на очистку, является важной задачей по интенсификации процессов пылеулавливания.

## ЛИТЕРАТУРА

1. (ПЭЭ) в ГОСТ Р ИСО 14031–2016 «Экологический менеджмент. Оценка экологической эффективности. Руководство по оценке экологической эффективности». М.: Стандартиформ, 2016.
2. Сергина Н.М. Экологическая эффективность, принципы компоновки и надежность систем пылеулавливания с вихревыми аппаратами на встречных закрученных потоках. // Вестник Волгоградского государственного архитектурно-

строительного университета. Серия Строительство и архитектура. – 2017. – Вып. 50(69). – С. 106–112.

3. Биргер М.И., Вальдберг Ф.Ю., Мягков Б.И. Справочник по пыле- и золоулавливанию. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 320 с.

4. Банит Ф.Г., Мальгин Ф.Д. Пылеулавливание и очистка газов в промышленности строительных материалов. – М.: Химия, 1979. – 352 с.

5. Бернер Г.Я. Сравнительная характеристика отечественных и зарубежных очистных устройств // Технологии и оборудование для производства огнеупоров. Использование новых видов огнеупорных изделий в металлургической промышленности: материалы междунар. конф. – Москва, 2003. – С. 84–88.

6. Буренин В.В. Очистка и обезвреживание пылегазовоздушных выбросов предприятий теплоэнергетики // Пром. энерг., 2009. № 8. – С. 49–54.

7. Кондратьев В.Б. Мировая цементная промышленность. URL:[http://www.perspektivy.info/rus/ekob/mirovaja\\_cementnaja\\_promeshlennost\\_2012-06-06.htm](http://www.perspektivy.info/rus/ekob/mirovaja_cementnaja_promeshlennost_2012-06-06.htm).

8. Сажина О.В. Анализ процесса снижения загрязнения воздуха для цементных заводов // Научное обозрение. Москва, Изд-во: Издательский дом «Наука образования». – 2017. – № 5. – С. 157–161.

9. Рудыка Е.А., Батурина Е.В. Анализ пылеочистного оборудования, используемого при производстве растворимых порошков // Вестник Воронежского государственного университета инженерной технологии. – 2016. – № 2. – С. 193-196.

10. Соляр Б.З., Глазов Л.Ш., Климцева Е.А. и др. Разработка процесса каталитического крекинга с высоким выходом легких олефинов: технология и аппаратурное оформление // Химия и технология топлив и масел. – 2010. – № 3. – С. 19–23.

11. Вальдберг А.Ю., Николайкина Н.Е. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Защита атмосферы: учеб. пособие для вузов. – 2-е изд. испр. и доп. – М.: Дрофа, 2008. – 239 с.

12. Асламова В.С. Прямоточные циклоны. Теория, расчет, практика. – Ангарск: Изд-во АГТА, 2008. – 233 с.

13. Николаев С.Д., Панин И.Н., Панин М.И. и др. Использование различных текстильных фильтров, применяемых при очистке воздуха и газов от пыли // Дизайн и технологии, 2018. – № 66 (108). – С. 84–88.

14. Самохвалов Н.М. Очистка запыленных газов зернистыми фильтрами: монография. – Иркутск: Изд-во ИрГТУ, 2007. – 152 с.

15. Ужов В.Н., Мягков Б.И., Вальдберг А.Ю. Очистка промышленных газов от пыли. – М.: Химия, 1981. – 392 с.