



ОХРАНА ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Охрана окружающей среды от загрязнения пылегазовоздушными выбросами теплоэнергетических предприятий

Буренин В. В., канд. техн. наук, Кириллов А. Н., Сова А. Н., доктора техн. наук
Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)

Представлены новые способы и усовершенствованные конструкции фильтров установок и устройств для очистки и обезвреживания пылегазовоздушных выбросов ТЭЦ, ТЭС, котельных и других предприятий теплоэнергетики и даны рекомендации по их применению. На основе анализа научно-технической литературы и патентных материалов о конструкциях фильтров-пылегазоуловителей промышленно развитых стран показаны основные тенденции их развития.

Ключевые слова: дымовые газы ТЭС, пылегазовоздушные выбросы, вредные газовые примеси, токсичные вещества, очистка, обезвреживание, фильтры, охрана окружающей среды.

Крупным источником пылегазовоздушных выбросов (дымовых газов), содержащих твердые и пластичные частицы загрязнений (производственную пыль), оксиды азота и серы, диоксид углерода и другие вредные примеси, являются теплогенераторы ТЭЦ и котельных, несмотря на то, что большинство этих теплоэнергетических предприятий в европейской части России переведено на “условно чистое топливо” — природный газ [1].

Для очистки дымовых газов от производственной пыли (зола) применяют фильтры-пылеуловители, которые по принципу действия подразделяются на силовые и механические [2]. Работа силовых фильтров основана на воздействии различных сил на частицы пыли при их извлечении из пылегазовоздушного потока. Это сила тяжести, электрическая и магнитная силы, центробежная и инерционная силы и др. В зависимости от них созданы пылеулавливающие фильтры разных конструкций (осадительные камеры, электрические и магнитные фильтры, центробежные и вихревые циклоны и др.). Очистка дымовых газов от частиц производственной пыли в механических фильтрах осуществляется с помощью жестких или гибких фильтрующих перегородок либо насыпных гранулированных фильтрующих слоев. Очистка от вредных газов, паров и токсичных веществ выполняется адсорбционным, абсорбционным, химическим, каталитическим, термическим и другими способами.

В последние годы ведущие в области фильтровальной техники российские и зарубежные фирмы разработали, запатентовали и начали выпуск новых фильтров-пылегазоуловителей различных типов и конструкций, отличающихся улучшенными характеристиками. Наиболее распространенными установками сухого пылеулавливания являются силовые фильтры-пылеуловители циклонного типа (циклоны). Осаждение в циклонах частиц загрязнений из пылегазовоздушных выбросов происходит в результате их закрутки под действием центробежного (инерционного) эффекта. С увеличением размера частиц и уменьшением диаметра циклона эффективность очистки возрастает.

Для пылеулавливания используют несколько циклонов небольшого диаметра, которые собирают в секции-батареи (батареи циклоны). К недостаткам батарейных циклонов следует отнести подверженность сильному износу, что снижает эффективность их работы. Кроме того, степень очистки пылегазовоздушных выбросов от частиц загрязнений в батарейных циклонах меньше, чем в электрофильтрах, скрубберах и механических фильтрах, поэтому их применяют для предварительной очистки дымовых газов от золы на входе основных фильтров.

Эффективно очищает пылегазовоздушные выбросы от частиц загрязнений прямоточный групповой циклон [3], состоящий из трех циклонных элементов общей пропускной

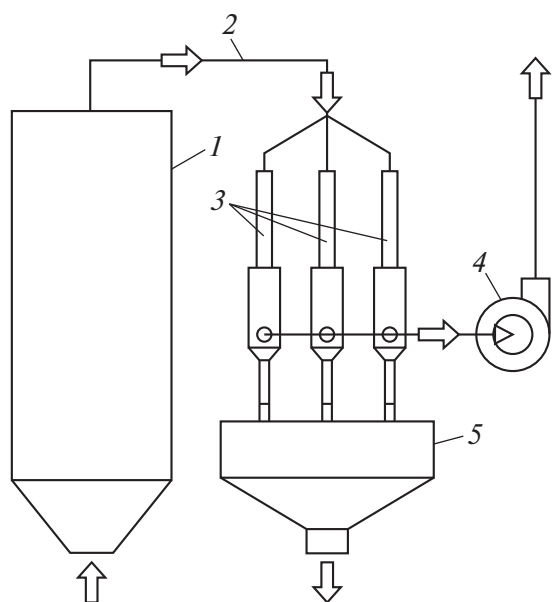


Рис. 1. Схема прямооточного группового фильтра-циклона для очистки пылегазовоздушных выбросов от пыли

способностью $9000 - 11\,500 \text{ м}^3/\text{ч}$ (диаметр сепарационной камеры циклонного элемента — 300 мм). Циклонные элементы (рис. 1) устанавливаются лапами на опору, которую монтируют на поперечных балках эстакады на открытом воздухе. Верхние концы циклонных элементов 3 соединяют с помощью фланцев с газопроводом 2. Неочищенный газ (пылегазовоздушные выбросы) из технологического агрегата 1 поступает через крестовину в три параллельно установленных циклонных элемента. Температура неочищенного газа составляет $80 - 400 \text{ }^\circ\text{C}$. Очищенный газ из циклонных элементов 3 отсасывается вентилятором 4 и через общую выпускную трубу направляется в атмосферу или на вторую ступень очистки. Нижние выходы циклонных элементов соединяют с бункером уловленной пыли 5. Герметичность при выпуске пыли обеспечивается наличием столба уловленной пыли в патрубках циклонных элементов 3. Внедрение группового циклона позволило повысить степень очистки пылегазовоздушных выбросов от пыли, улучшить экологическую обстановку, снизить стоимость обслуживания оборудования, освободить производственную площадь.

Повышенной эффективностью улавливания твердых частиц загрязнений из пылегазовоздушного потока теплоэнергетического предприятия отличается силовой многоступенчатый фильтр-пылеуловитель центробежного типа (рис. 2) [4]. Пылегазовоздушный поток поступает через тангенциальный вход-

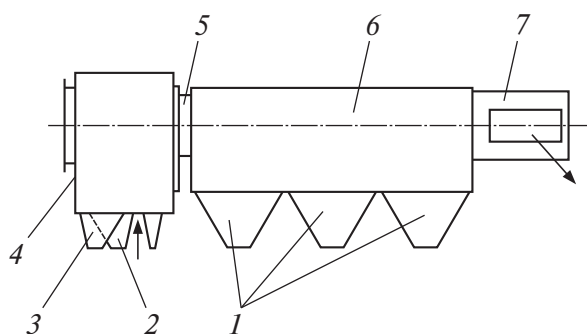


Рис. 2. Схема силового многоступенчатого фильтра-пылеуловителя центробежного типа

ной патрубком (на рис. 2 не показан) в камеру 4 первичной сепарации, имеющую спиральный канал прямоугольного поперечного сечения. В результате движения очищаемого пылегазовоздушного потока по спиральному каналу под действием центробежных сил происходит его расщепление на концентрированный периферийный пылевой слой и предварительно очищенный внутренний слой потока. Концентрированный периферийный пылевой слой через щелевой зазор выводится в бункер 3 и удаляется из фильтра-пылеуловителя. Предварительно очищенный в камере 4 (первая ступень очистки) внутренний слой пылегазовоздушного потока, двигаясь по дуге криволинейного канала камеры вторичной сепарации 5 (вторая ступень очистки), под действием центробежных сил также расслаивается на два потока: периферийный пылевой, выводимый в бункер 2, и вторично очищенный внутренний слой, направляемый в спиральный канал камеры доочистки 6 (третья ступень очистки), в котором установлен завихритель потока. Остаточные частицы загрязнений, двигаясь по спиральной траектории канала камеры доочистки 6 вместе с очищаемым пылегазовоздушным потоком, под действием центробежных сил отжимаются к внутренней поверхности канала и через специальные щели отводятся в пылесборные бункеры 1. Очищенный от твердых частиц газозагрязненный газозагрязненный поток выводится через патрубок 7 улиточной формы.

Таким образом, конструкция силового многоступенчатого фильтра-пылеуловителя центробежного типа позволяет оптимально организовать аэродинамику течения пылегазовоздушного потока, очищаемого от твердых частиц в камерах первичной 4 и вторичной 5 сепарации, а также в камере доочистки 6, предотвратить появление вторичного уноса пыли из пылесборных бункеров 3, 2, 1 и межбункерных перетоков очищаемого пыле-

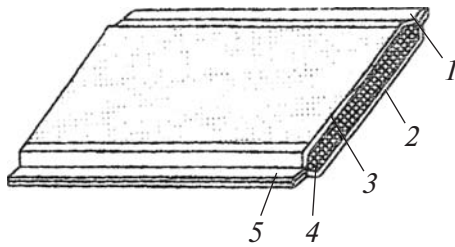


Рис. 3. Схема фильтрующего многослойного элемента механического фильтра для очистки высокотемпературных пылегазовоздушных выбросов

газовоздушного потока, а также рационально использовать энергию вращающегося очищенного газовоздушного потока с целью повышения эффективности улавливания наиболее тонких фракций пыли в камере доочистки б.

Для очистки пылегазовоздушных выбросов предприятий теплоэнергетики традиционно применяют силовые электрофильтры [5]. Они позволяют осуществлять высокоэффективную очистку больших объемов пылегазовоздушных потоков в течение длительного времени с минимальными затратами на эксплуатацию.

Эффективную очистку высокотемпературных пылегазовоздушных выбросов от взвешенных частиц загрязнений обеспечивает фильтрующий многослойный элемент [6] механического фильтра. Он состоит из наружных слоев 2 и 3 (рис. 3), изготовленных из пористого материала (наружная поверхность слоя 3 условно показана точками), промежуточного волокнистого слоя 4, охватываемого слоями 2 и 3, края которых 1 и 5 неразъемно соединены между собой. Фильтрующий элемент легко заменить новым в механическом фильтре-пылеуловителе в случае его засорения.

Большой ресурс работы имеет регенируемый фильтрующий элемент [7] механического фильтра, состоящий из трубчатого кожуха 3 (рис. 4) и сотовой структуры, выполненной из гофрированных 1 и гладких 2 слоев, изготовленных из фильтрующих материалов и образующих каналы для прохода очищаемых высокотемпературных пылегазовоздушных выбросов от взвешенных частиц загрязнений. Для придания фильтрующему элементу механической стабильности предусмотрен усиливающий участок, расположенный в краевой зоне элемента с входной стороны и защищающий его от раздувания, предотвращая разломачивание фильтрующего элемента по краю.

Для качественной очистки пылегазовоздушных потоков фирма “Melicon GmbH” (Германия) разработала фильтрующий холст

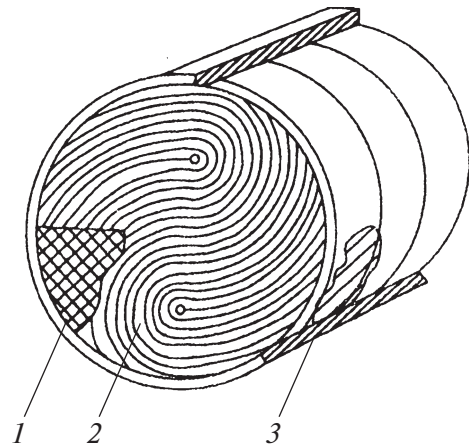


Рис. 4. Схема регенируемого фильтрующего элемента механического фильтра-пылеуловителя

MeliFil из полученных по специальной технологии волокон различных металлов — нержавеющей стали, алюминия, никелевых сплавов и др. [8]. Холсты поставляют листами размерами до 6000×1200 мм или рулонами шириной 200 мм.

Эффективно очищают пылегазовоздушные выбросы механические фильтры-пылеуловители [9] фирмы “Headline Filters GmbH” (Германия) с фильтрующими перегородками из высокопрочного пористого микростекловолокна. Фильтры обеспечивают пропускную способность по очищаемым пылегазовоздушным выбросам $2 - 700 \text{ м}^3/\text{ч}$ со степенью улавливания твердых частиц загрязнений до 99,9 %.

Фирма “Mikro Pul GmbH” (Германия) выпускает компактные механические фильтры-пылеуловители марки Everclean RPB [10], имеющие пропускную способность $1500 - 10000 \text{ м}^3/\text{ч}$ и обеспечивающие высокую степень очистки пылегазовоздушных выбросов. Их фильтрующие элементы выполнены в виде бесконечных лент, которые движутся в вертикальном направлении между шкивами. Предусмотрены регенерация фильтрующих элементов и сборник для пыли.

Фильтрующий нетканый материал механического рукавного фильтра [11], предназначенного для очистки отходящих горючих дымовых газов от взвешенных частиц загрязнений, содержит два волокнистых слоя, выполненных из смеси полиэфирных волокон 0,33 и 0,84 текс, и каркасное полотно, расположенное между ними, с соотношением волокон в смеси 80 — 20 мас. %. Слои скреплены путем иглопрокалывания и пропитаны специальной водной дисперсией с привесом по сухому остатку от 2 до 6 %. Фильтрующий материал обладает водоотталкивающими свойствами и

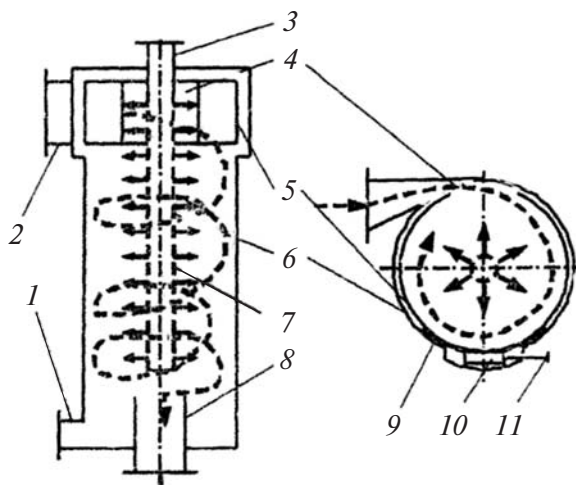


Рис. 5. Схема полового вихревого аппарата для мокрой силовой очистки пылегазовоздушных выбросов от твердых частиц загрязнений и вредных газовых примесей

обеспечивает стабильную очистку высокотемпературных дымовых влажных газов с масляными включениями (аэрозолями) в течение длительного времени.

Фирмой “Tetratrec PTFE Technologies Donaldson GmbH” (Германия) разработана высокоэффективная, удобная в эксплуатации фильтровальная установка для очистки задымленного и запыленного воздуха, отводимого от технологического оборудования [12]. Она включает в себя рукавный фильтр. Рукава из стеклоткани с покрытием политетрафторэтиленовыми пористыми мембранами обеспечивают высокую степень очистки технологического воздуха.

Силовые и механические фильтры-пылеуловители для мокрой очистки пылегазовоздушных выбросов используют в тех случаях, когда сухие фильтры-пылеуловители нельзя применять вследствие высокой температуры или взрывоопасности очищаемых газов. При мокрой очистке одновременно с взвешенными частицами загрязнений можно улавливать вредные газообразные и парообразные примеси. Однако мокрая очистка характеризуется необходимостью обработки (очистки) образующихся сточных вод, повышенным брызгоуносом и требует защиты газовых фильтров от коррозии при очистке агрессивных пылегазовоздушных выбросов.

Для качественной мокрой силовой очистки пылегазовоздушных выбросов от твердых частиц загрязнений и вредных газовых примесей разработан полый вихревой аппарат с регулируемыми геометрическими параметрами тангенциального завихрителя [13]. Принцип работы вихревого аппарата (рис. 5) за-

ключается в образовании закрученного газожидкостного потока с последующим разделением фаз в поле центробежных сил. Наличие жидкой фазы позволяет осуществить процесс очистки пылегазовоздушных выбросов от крупных и мелких (мелкодисперсных) частиц пыли.

Поток пылегазовоздушных выбросов поступает в корпус 6 вихревого аппарата через тангенциально расположенный впускной патрубок 2. Площадь входа на очистку отходящего газа регулируется с помощью подвижного кольца 5. При его повороте перекрывается входное отверстие газохода 4, в результате скорость газа на входе увеличивается. К кольцу 5 крепится сегмент червячного колеса 9, находящегося в зацеплении с червяком 10. Изменение скорости газового потока на входе в аппарат происходит при вращении регулятора 11, при этом червяк 10 смещает кольцо 5. В результате снижения скорости очищаемого газа на входе в аппарат уменьшается его гидравлическое сопротивление и повышается эффективность очистки пылегазовоздушных выбросов от загрязнений за счет увеличения времени пребывания капель жидкости в аппарате. Однако при этом ухудшается сепарация и возрастает унос жидкости, что существенно снижает эффективность аппарата. Регулируя скорость газа на входе, можно настроить вихревой аппарат на оптимальный режим работы.

Поток жидкости поступает в аппарат через патрубок 3. Из отверстий в оросителе 7 жидкость разбрызгивается в рабочую зону аппарата. Поток газа интенсивно взаимодействует с жидкостью. Вращаясь вместе с газожидкостным потоком, частицы загрязнений перемешаются на поверхность капель жидкости. Под действием центробежной силы жидкость осаждается на стенке аппарата и стекает по ней в виде пленки. При этом создается дополнительная зона контакта газовой и жидкой фаз. Проходя через слой капель, газ очищается от твердых примесей, после чего удаляется из аппарата через патрубок 8. Отработанная жидкость выводится через патрубок 1. Основное достоинство данного вихревого аппарата — высокая эффективность очистки при низком гидравлическом сопротивлении.

Фирма “Badcock-Hitachi K. K.” (Япония) разработала недорогой и удобный в эксплуатации фильтр мокрого типа (скруббер) [14] для качественной очистки высокотемпературных отходящих дымовых газов от частиц за-

грязней и диоксида серы. На внутренней поверхности цилиндрического корпуса фильтра установлены разбрызгивающие сопла, распыляющие абсорбент, представляющий собой суспензию известняка или извести, радиально под углом $50 - 80^\circ$ к направлению потока очищаемых дымовых газов. Поток дымовых газов, равномерно распределяясь по всему поперечному сечению цилиндрического корпуса, поднимается вверх навстречу потоку капель абсорбента из разбрызгивающих сопел. После контакта капля абсорбента с очищаемыми дымовыми газами отработанный абсорбент выводится на регенерацию через патрубок, находящийся в нижней части корпуса фильтра, а очищенный поток дымовых газов выходит через патрубок, расположенный в верхней части корпуса.

Фирмой "General Electric Co." (США) создан amino-силоксановый композит [15], используемый в качестве адсорбента в фильтрах для очистки потока пылегазовоздушных выбросов от углекислого газа. Реакция взаимодействия композита с углекислым газом и образования связанных форм обратима, поэтому предусматривается многоразовое использование композита после регенерации (извлечения из него углекислого газа).

Качественную очистку пылегазовоздушных выбросов от твердых частиц загрязнений и вредных газовых примесей обеспечивает фильтровальная установка [16], в корпусе которой расположены две секции: верхняя электрофильтровальная секция с электрофильтром и нижняя скрубберная. Секции разделены перегородкой с набором отверстий, через которые жидкость-абсорбент поступает в скрубберную секцию, и набором каналов для прохода очищаемых пылегазовоздушных выбросов из скрубберной секции в электрофильтровальную. Пылегазовоздушные выбросы сначала поступают на очистку в скрубберную секцию, затем в электрофильтровальную и очищенными выводятся из фильтровальной установки через выходной патрубок. Отработанная жидкость-абсорбент отводится на регенерацию из скрубберной секции по специальному трубопроводу. Установка удобна и надежна в эксплуатации.

С целью повышения степени очистки пылегазовоздушных выбросов разработана конструкция механического фильтра-пылеуловителя мокрой очистки с насыпным фильтрующим слоем в виде зерен адсорбента [17]. Фильтр-пылегазоуловитель (рис. 6) содержит корпус 1 с входным 6 и выходным 9 патрубками для

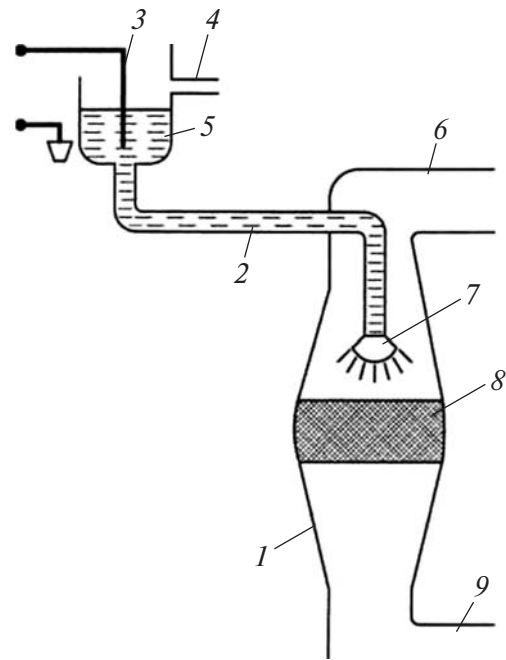


Рис. 6. Схема механического фильтра-пылеуловителя мокрой очистки с насыпным фильтрующим слоем в виде зерен адсорбента

газовоздушных выбросов и фильтрующий элемент 8 в виде заполненных зернами (гранулами) адсорбента перфорированных опорных решеток, над которыми установлена форсунка 7 аппарата электрораспыления рабочего раствора. Один конец пластмассовой трубки 2 соединен с форсункой 7, а другой — с пластмассовым баком 5, содержащим рабочий раствор, например 0,5 %-ный раствор метилметакрилата в ксиленацетилацетоне. В баке 5 расположен электрод 3, питаемый постоянным током высокого напряжения, а для пополнения бака рабочим раствором предусмотрен трубопровод 4. Гранулы (зерна) адсорбента изготавливают из диэлектрического материала, способного легко заряжаться и длительное время удерживать электрический заряд. Для высокоэффективной работы фильтра-пылеуловителя скорость потока очищаемых газозвудушных выбросов должна составлять $0,1 - 0,2$ м/с.

В устройстве [18] эффективная очистка потока пылегазовоздушных выбросов от взвешенных частиц загрязнений осуществляется путем воздействия на них упругих колебаний от излучателя, представляющего собой прямоугольную пластину со ступенчато переменной толщиной. Пластина совершает изгибные колебания относительно большей из ее осей с частотой $30 \div 20$ кГц. Колебания, образуемые обратной к потоку движущихся частиц загрязнений стороной излучателя,

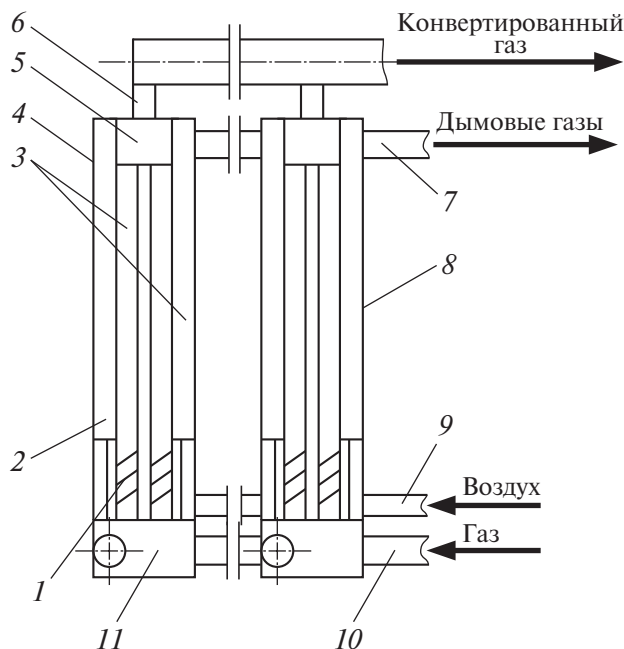


Рис. 7. Схема устройства для подготовки и сжигания газообразного топлива с каталитической конверсией углеводородов

обуславливают их поперечное движение в пылегазовоздушном потоке. При этом эффективно повышается коагуляция частиц загрязнений в потоке.

Технологичным и экономически выгодным способом обезвреживания пылегазовоздушных выбросов промышленных предприятий от оксидов и диоксидов серы, углерода, азота, а также от сероводорода, аммиака и других веществ является каталитическая очистка. Наибольшее распространение получили каталитические системы нанесенного типа [19]. В них в качестве носителей применяются термостойкие, химически инертные и механически прочные материалы, которые могут быть как природными (глины, пемза, диатомит, асбест и др.), так и синтетическими (силикагель, алюмосиликаты, оксиды алюминия и циркония, активированные угли и др.).

По совокупности положительных характеристик перспективными носителями являются высокопористые ячеистые катализаторы (ВПЯК). Технология их получения состоит из трех стадий. Первая стадия — получение керамического каркаса — высокопроницаемого ячеистого материала (ВПЯМ) методом дублирования сетчато-ячеистой полимерной матрицы, определяющей структуру носителя, вторая — получение высокопроницаемого пористого ячеистого носителя (ВПЯН), обладающего поверхностью с достаточно высокими адгезионными свойствами. Третья стадия —

получение собственно ВПЯК. Суть процесса заключается в нанесении на подготовленную внешнюю поверхность ВПЯН каталитически активного компонента (5 % по массе). Полученный катализатор обладает довольно высокой активностью.

С целью увеличения экономической и экологической эффективности теплогенерирующей установки, работающей на природном газе, и уменьшения загрязнения окружающей среды диоксидом углерода и оксидами азота разработано устройство для подготовки и сжигания газообразного топлива [20], содержащее два одинаковых конвертера. Каждый конвертер содержит корпус 8 (рис. 7), внутри которого расположена камера подготовки реакционной смеси 11. Ее обечайка снабжена тангенциальными патрубками газообразного топлива и водяного пара. Верхний торец камеры 11 соединен с трубами 3, стенки которых выполнены из жаропрочного материала. В каждой трубе 3 на входе закреплены лопатки завихрителя 1, образующие зону турбулизации, а остальная внутренняя поверхность, представляющая собой зону риформинга, где протекает каталитическая реакция конверсии природного газа и воды (парового риформинга), покрыта слоем никелевого катализатора на керамической основе. Верхний конец труб 3 соединен с камерой усреднения 5, в крышке которой предусмотрен патрубок выхода конвертированного газа 6. Над камерой подготовки реакционной смеси 11 (камера смешения) помещена кольцевая камера сгорания с тангенциальной горелкой 2, сообщающаяся с конвективной шахтой, соединенной с кольцевым коллектором, снабженным патрубком дымовых газов 7. Выходные торцы патрубков газообразного топлива (природного газа), водяного пара, конвертированного газа и дымовых газов соединены с соответствующими коллекторами, горелки 2 — с коллектором природного газа 10 и коллектором воздуха 9, а коллекторы конвертированного газа и дымовых газов, в свою очередь, — с горелками топки котла (на рисунке горелки топки котла не показаны).

Подача в зону горения некоторого количества дымовых газов (5 — 10 % по объему) позволяет также значительно снизить количество оксидов азота в уходящих дымовых газах. Процесс каталитической конверсии углеводородов (парового риформинга), происходящий в устройстве, увеличивает водородную часть углеводородного газового топлива и способ-

ствуется уменьшению расхода топлива, что повышает экономическую эффективность теплоэнергетики установки.

Универсальных фильтров-пылегазоуловителей, т. е. способных эффективно улавливать из пылегазовоздушных выбросов (отходящих дымовых газов) теплоэнергетических предприятий все виды пыли (твердые и пластичные частицы загрязнений) и вредные газовые примеси, не существует. Каждый фильтр-пылегазоуловитель эффективен лишь по отношению к определенным видам пыли и газовых примесей. При улавливании пыли с другими свойствами и газовых примесей с иным химическим составом он неэффективен, и даже может произойти нарушение его работы. Перспективны фильтры-пылегазоуловители, специально разработанные для определенных условий эксплуатации.

При современных требованиях к чистоте атмосферного воздуха одноступенчатая очистка технологического воздуха в большинстве случаев не может обеспечить необходимую степень его очистки. В основном должна применяться многоступенчатая очистка. Для этого необходим рациональный подбор фильтров-пылегазоуловителей с учетом всех факторов: требований к качеству очищенного воздуха, физико-химических свойств улавливаемой пыли и газовых включений, энергетических показателей и др.

Требования к охране окружающей среды постоянно повышаются. В связи с этим нужно целенаправленно разрабатывать и внедрять более совершенное оборудование для очистки пылегазовоздушных выбросов (дымовых газов) теплоэнергетических предприятий.

Список литературы

1. **Ежов Е. С.** Снижение выбросов диоксида углерода с одновременным повышением эффективности теплогенератора. — Экология и промышленность России, 2013, май.
2. **Новые** конструкции фильтров-пылеуловителей для очистки и обезвреживания отходящих горячих запыленных газов предприятий теплоэнергетики / В. В. Буренин, Н. П. Кириллов, В. И. Лазарев, В. И. Полянский. — Промышленная энергетика, 2012, № 4.
3. **Асламов В. С., Асламов А. А., Ляпустин П. К.** Групповой прямоточный циклон для минераловатного производства. — Экология и промышленность России, 2007, декабрь.
4. **Пат. 2394629 Россия.** МПК В01D 45/12. Многоступенчатый центробежный пылеуловитель / Н. Н. Гаркуша, В. П. Тарасов. — Изобретения. Полезные модели, 2010, № 20.
5. **Гузаев В. А., Троицкий А. А., Шастин С. Н.** Реконструкция электрофильтров на базе современных технических решений. — Экологический вестник России, 2012, № 7.
6. **Пат. 2293854 Россия.** МПК F01N 10/00. Фильтрующий многослойный элемент и фильтр для очистки потока отработавших газов / Р. Брюкк. — Изобретения. Полезные модели, 2007, № 5.
7. **Пат. 2310763 Россия.** МПК F01N 3/022. Фильтр для очистки отработавших газов с по меньшей мере одним фильтрующим элементом / Р. Брюкк, Я. Ходгзон, М. Менгельберг. — Изобретения. Полезные модели, 2007, № 32.
8. **Metallvlies.** — Cltplus, 2004, № 7.
9. **Schädliche, Ölnebel binden (Headline Filters, Speyer/R).** — Ind.-Anz., 2002, № 19.
10. **Innovation in fibrous dust filtration.** — IPW: Int. Papierwirt, 2001, № 3.
11. **Пат. 2437708 Россия.** МПК В01D 39/16. Фильтрующий материал для очистки горючих газов / С. А. Егупова, С. В. Конюхова, В. М. Горчакова и др. — Изобретения. Полезные модели, 2011, № 36.
12. **Filteranlagen mit PTFE — Membranenreinigungsrauch — undstaubhaltige Abluft.** — Maschinenmarkt, 2001, № 22.
13. **Коньков О. А., Дмитриев А. В., Николаев А. Н.** Применение вихревых аппаратов для очистки газовых выбросов при производстве и переработке пластмасс. — Экология и промышленность России, 2010, январь.
14. **Пат. 8092582 США.** МПК В01D 47/06. Мокрый десульфуризатор отходящих газов. — Оpubl. 10.01.2012.
15. **Пат. 8030509 США.** МПК С01F 7/10. Адсорбент для диоксида углерода и способ его использования. — Оpubl. 14.10.2011.
16. **Пат. 2457898 Россия.** МПК В01J 8/00. Устройство для обработки газа / Сили Эндрюс, Уэйфилд Эндрю Джеймс. — Изобретения. Полезные модели, 2012, № 22.
17. **Пат. 2286833 Россия.** МПК В01D 47/14. Зернистый фильтр / О. С. Кочетов, М. О. Кочетова, Т. Д. Ходакова и др. — Изобретения. Полезные модели, 2006, № 31.
18. **Пат. 2447926 Россия.** МПК В01D 51/08. Способ коагуляции инородных частиц в газовых потоках / В. Н. Хмелев, А. В. Шалунов, С. Н. Цыганок и др. — Изобретения. Полезные модели, 2012, № 11.
19. **Высокопористые** ячеистые катализаторы для решения экологических проблем / Е. Ю. Либерман, Т. В. Конькова, В. Н. Грунский и др. — Экология и промышленность России, 2013, апрель.
20. **Пат. 2383819 Россия.** МПК F23C 13/00. Способ и устройство для подготовки и сжигания газообразного топлива / В. С. Ежов. — Изобретения. Полезные модели, 2010, № 7.

mail: 1965@mail.ru