

## Газоочистительные установки для снижения выбросов в атмосферу

Эксплуатация автотранспорта, отопление жилых и производственных помещений, выработка электроэнергии, добыча полезных ископаемых, сельскохозяйственная деятельность, выпуск продуктов, материалов и изделий приводит к загрязнению атмосферного воздуха. Для снижения уровня выбросов используют переход на альтернативные источники энергии, применяют топлива с пониженным содержанием углерода, серы, практикуют предварительную подготовку сырья и топлива, устанавливают фильтры на источниках выбросов.

Согласно статистическим данным, в отечественной промышленности наблюдается постепенное снижение выбросов загрязняющих веществ в атмосферный воздух. Это обусловлено различными факторами, такими как оптимизация производства, переход от твердого топлива и мазута на газ при выработке тепловой энергии и электричества, в металлургии - предварительная подготовка шихты (сушка, подогрев), но самую серьезную роль играет установка на предприятиях соответствующего оборудования.

Согласно экологическим нормам и правилам ЭкоНиП 17.08.06-002-2018 «Правила эксплуатации газоочистных установок», газоочистная установка (ГОУ) - сооружение и (или) оборудование, предназначенное для очистки газов, отходящих от источника выделения загрязняющих веществ посредством физических, химических, биологических и других методов их улавливания, нейтрализации и обезвреживания.

Сооружения, расположенные внутри помещений, выбросы очищенных отходящих газов после которых не поступают непосредственно в атмосферный воздух, не являются ГОУ. Аэрационные фонари, крышные вентиляторы, дефлекторы, другие

устройства, посредством которых локализуется поступление загрязняющих веществ в атмосферу, находящиеся в производственных цехах, не выступают источниками выбросов загрязняющих веществ.

Системы возврата и (или) улавливания (рекуперации, флегматизации, абсорбции) паров нефтепродуктов - технологические стадии производственного процесса хранения и распределения нефтепродуктов - также не являются ГОУ.

Из сказанного следует, что газоочистной считается установка, перерабатывающая отходящие газы от стационарных источников выделения (печь, котел, станок и т.д.) и выбрасывающая их уже очищенными. В ее состав входит один и более аппарат очистки, оборудование для перемещения газа (газоходы, вентиляторы, насосы), для сбора уловленных загрязняющих веществ (бункеры, отстойники), теплообменники, автоматика, системы контроля. Главное условие при подборе оборудования - обеспечение высокого КПД.

ЭкоНиП 17.08.06-002-2018 разделяет аппараты очистки газов по принципу действия на следующие группы:

**С** - сухой механической очистки от твердых частиц, принцип работы которых основан на их осаждении за счет силы тяжести, центробежной силы, изменения скорости потока газа;

**М** - мокрой очистки от твердых частиц, а также жидких и газообразных загрязняющих веществ;

**Ф** - устройства фильтрующего типа;

**Э** - электрические фильтры;

**Х** - сорбционной (химической, биологической) очистки от газообразных загрязняющих веществ;

**Т** - термического, термokatалитического и каталитического способов обезвреживания газообразных загрязняющих веществ;

**Д** - других способов очистки.

Также существует разделение ГОУ по сухому и мокрому принципу действия. В первом случае аппараты работают с

конденсатами без постоянного допуска в техпроцесс жидкостей.

Жидкостные аппараты (мокрые, влажные) концентрируют пыль на заранее смоченных поверхностях.

Существуют и альтернативные системы очистки воздуха, такие как масляные ленточно-цепные фильтры, масляные с абсорбентом, установки бактериальной обработки.

В газоочистные установки сухого типа действия входит широкая группа газовоздушных фильтров. Такие аппараты показывают достойный КПД в захвате пылевых и газовых конденсатов, не содержащих или с минимумом жидкой фазы (воды, иного влажного пара, аэрозоля, тумана).

Они задействуют механизмы фильтрации, гравитационного осаждения, центробежного и инерционного улавливания пыли, и их целесообразно применять в добывающей, химической, металлургической, фармацевтической отраслях, сельском хозяйстве, пищевой промышленности, строительстве, а также при производстве бетона, цемента, асфальтобетона, резины, порошковых составов.

Аппараты сухого типа действия имеют ряд преимуществ: несложная конструкция рабочих агрегатов, минимальный объем шлама или полное его отсутствие, сохранение физико-химических характеристик загрязнителей. Из недостатков можно отметить громоздкость, требующую большого пространства при размещении на предприятии.

Среди ГОУ сухого типа действия различают циклонные пылеуловители; тканые, валянные, нетканые, картонные, бумажные и электрические фильтры, сухие адсорберы; мембранные патроны или капсулы.

**Циклонные пылеуловители** для увеличения производительности и снижения общего сопротивления формируются в батареи, играя роль инструмента по очистке газовой среды от сухой пыли, древесной стружки, опилок, сыпучих строительных смесей, крупы, лузги, шелухи, а также резиновой, полимерной, металлической, пластиковой, каменной крошки. Такое оборудование характеризуется ротационно-инерционным принципом работы и универсальностью

применения. Оно актуально на участках с крупно- или среднедисперсионной взвесью. Специфика циклонов заключается также в том, что они не фильтруют газы в привычном смысле этого слова. Воздух поступает в камеру цилиндрической формы и завихряется там настолько, что более тяжелые включения отделяются и под действием центробежной силы уходят по стенкам корпуса в нижнюю конусовидную часть, где установлен бункер-пылесборник. Циклоны могут быть левосторонними и правосторонними, в зависимости от направления, в котором они отправляют газовоздушные потоки. Допускается установка этой техники в качестве основного или дополнительного очистного оборудования.

**Тканые, валянные фильтры** широко применяются в промышленной очистке воздушных сред, преимущественно от грубых включений. Несмотря на то, что войлок, ватин и другие валянные материалы давно используются для предварительной воздухоочистки, современные технологии изготовления тонкодисперсных нетканых композитов в форме рукавов, полотен, кассет и картриджей позволяют осуществлять очистку от газокомпонентов. ГОУ на основе рукавных нетканых фильтроматериалов нередко используются для улавливания пыли и газов на АБЗ, в энергетических и металлургических предприятиях и на других участках, имеющих в качестве побочных продуктов опасные кислые газы, пары и пылемеханические взвеси. Технологии наделения рукавов жаростойкими и водостойкими свойствами позволяют применять волоконные рукава, полотна, кассеты и картриджи во всем большем количестве производственных сфер.

**Нетканые фильтрационные материалы** в основном эксплуатируют в энергетике, на асфальтобетонных заводах, а также на предприятиях, где в воздух поступают пары, кислые или токсичные газы, обычная пыль (металлургия). Несмотря на эффективность и большую долговечность таких фильтров, имеющие их в своем оснащении предприятия прово-

дят сложный комплекс регулярных очистных процедур, включающих специфическую обработку ультразвуком или инфразвуком.

**Сухие адсорберы** используют в промышленности. Эффективность таких устройств обеспечивается микропористыми твердыми адсорбентами в виде пеллет, таблеток или гранул. Фильтрационным субстратом заполнена рабочая камера газоочистной установки. Сквозь нее проникает загрязненный поток и, проходя через фильтрующий массив, выборочно «теряет» на поверхности адсорбента нежелательные или токсичные газы. Самый распространенный адсорбент-микропористый активированный уголь: прогрессивные методы активации карбона позволяют достигать КПД=100% в улавливании множества высокотоксичных и технологически неприемлемых примесей. Помимо прочего активность адсорбента может быть «усилена» катализатором, например алюминием, магнием, медью, никелем и другими металлами, металлическими и неметаллическими оксидами. В этом случае к физическому захвату присоединяется химическое действие, что еще сильнее повышает результативность технологии. Но применение адсорбционных модулей имеет некоторые ограничения. Для достижения номинального коэффициента полезного действия ГОУ у газо- потока должна быть относительная влажность не выше 70% и очистка от механической пыли.

**Мембранные патроны или капсулы** - еще один класс сухих систем фильтрации газовых смесей, имеющих специфическое применение. Мембранные капсулы представляют собой сменные цилиндры для установок абсолютной стерилизации и биологического обезпложивания газовоздушных сред. Такие фильтры используются в зонах трансплантологического, фармацевтического, пищевого назначения, в цехах оптической и микроэлектронной/интегрально-микросхемной сборки.

**Картонные и бумажные системы очистки** также способны отсекал загрязнение из воздуха. Фильтры из

картона и бумаги разной плотности применяют на участках, где нужно улавливать мелкодисперсионную взвесь. Их выполняют в виде лабиринтных систем, гофры, ячеистого и перфорированного материала, «гармошек». Обладая высоким пневмосопротивлением и не демонстрируя никакой эффективности в задержании токсичных газов, сплошные бумажные и картонные фильтры хорошо задерживают мелкодисперсный партикуллат. Иногда используются в качестве вспомогательных пылеулавливающих ступеней газоочистных установок. Фильтры в виде лабиринта имеют сопротивление не выше 5 Па и работают по инерционному принципу: струя завихряется внутри ходов и загрязнитель скапливается на стыках формирующих плоскостей и в уголках гофрированной гармошки.

Такие фильтрационные схемы применяются на предприятиях, производящих материалы для строительно-ремонтных компаний, заводах по изготовлению лакокрасочных материалов, строительных смесей, клеевых составов. К недостаткам таких систем можно отнести их одноразовость.

**Электрические фильтры** воздействуют на электрополюса элементов загрязнителя газовоздушной смеси за счет мощного электромагнитного поля, в котором происходит захват сорбата. В зависимости от типа аппарата оно может генерироваться пластинчатыми или трубчатыми электродами (коронирующими и осадительными), нитями, неравновесной холодной плазмой, газоразрядниками и иными электроизлучателями. Главное условие - обеспечить стабильное течение ионных токов между катодом и анодом.

Данные фильтры весьма эффективны на участках, где требуется захватить специфический пылегазовый сорбат из воздушной среды: пыль, мелкодисперсионный металл, анионы, катионы, другие частицы, дающие ответ на электрическое воздействие.

Такие установки представлены электростатическими и электромагнитными фильтрами, узкоспециализированными и непростыми в исполнении. И несмотря на достойный захват токсических и микробных компонентов, электрофильтры относятся к

ГОУ повышенной сложности и находят в промышленности ограниченное применение (энергетика, металлургия, химия). При практически отсутствующем пневматическом сопротивлении электростатические фильтраторы малоэффективны в процедурах очистки влажных, аэрозольных, сложносоставных газоздушных сред. Нерационально их использовать и для процессинга больших объемов газа/пыли высокой концентрации. Даже в тандеме с рукавными, кассетными и иными волоконными пылегазоосадителями они проигрывают современным, гибким и универсальным аппаратам мокрой очистки газов в части производительности и способности к самоочистке.

Установки мокрой газоочистки обрабатывают взвеси в воздушных средах водой, выполняют коагуляцию загрязнений, после чего направляют их в бункеры. Они рассчитаны на монтаж в отапливаемых помещениях и не могут применяться при минусовых температурах в силу специфики расходных материалов. Такие системы демонстрируют максимальную степень очистки, способны работать с микрочастицами, сочетаются с высокотемпературными газами. Принцип их функционирования базируется на смачивании пыли, однако способы выполнения этой работы отличаются в различных моделях.

Существует несколько классических категорий жидкостных воздухоочистителей, применяемых на производственных предприятиях и в промышленности. Среди них наиболее широкое распространение получили скрубберы и абсорберы.

Сорбционные системы наиболее многочисленны. Они включают пылегазофильтры, барботажно-пенные абсорберы, насадочные абсорберы или хемосорберы.

**Примитивные модели пылегазофильтров** работают по водно-реагентному принципу (например, промыватели СИОТ и мокрые циклоны). Как и в сухом циклоне, поток вводится в корпус аппарата и, радиально закручиваясь, устремляется к стенкам рабочей камеры.

Но, в отличие от циклонных ГОУ, полые скрубберы и СИОТ оснащены

водоподающей системой форсунок, орошающих внутреннюю полость и стенки аппарата. Газопылевые включения таким образом сорбируются в микропеночном слое установки, покрывающем внутреннюю полость агрегата (а также частично в жидкостном тумане), и непрерывно стекают в составе воды в шламоприемный бункер под силой гравитации. Небольшое отличие скоростного сепаратора от традиционного полого скруббера - высокая радиальная скорость воды на поверхности внутренних стенок, позволяющая опадать вниз лишь внешним жидкостным слоям. Внутренние же слои воды продолжают вращение по окружности, ожидая захвата и утяжеления.

**Барботажно-пенные абсорберы** преимущественно используются для улавливания комплексных пылегазовых и дымовых смесей, обладающих химической/коррозионной активностью. В качестве фильтра выступает самоподдерживающийся слой нестабильной пены или реагента, образующийся на перфорированных тарелках за счет прохождения потока через отверстия барботажных поддонов. На поверхности пузырьков эффективно нейтрализуются вредные, токсические или технологически нежелательные вещества, а также «мягкие» пылемеханические конденсаты - пепел, зола, копоть, сажа. Схлопываясь, пузырьки обращаются в более тяжелую, чем пена, жидкость и переливаются через края барботеров, уходя (вместе с загрязнителем) из активной зоны газообработки в отстойники, которые предусмотрены конструктивно. Фильтры из пены нейтрализуют токсины или загрязнения непосредственно на поверхности пузырящегося реагента.

**Насадочные абсорберы или хемосорберы** - универсальные конструкции, работающие с химическими реагентами-жидкостями и способные убирать из воздуха пары кислот, спиртов, растворителей, щелочей, галогенов, углеводородов, а также кислые газы. Имеют неподвижную (стационарную) насадку, в роли которой выступают сложные физические тела, вроде колец Рашига. Специфика этого оборудования в

том, что массивная насадка, расположенная в рабочей камере, дает максимально возможную площадь контакта с воздухом. Форсунки подают на насадку воду или реагенты, взаимодействуя с которыми газовоздушная смесь распадается на чистый воздух и загрязнения, впоследствии выводимые из рабочей камеры.

**Жидкостные абсорберы**, в свою очередь, представлены скрубберами с кипящим слоем и скрубберами Вентури.

**Скрубберы с кипящим слоем** считаются вершиной производительности в этом классе оборудования, также они называются FBS-установками или скрубберами с псевдооживленным слоем. Они имеют полные шарообразные насадки из материала PP, по случайному алгоритму передвигающиеся в жидкостной рабочей среде и обеспечивающие наилучший контакт реагента с загрязненным воздухом. Изделия демонстрируют максимальную производительность, наиболее эффективно выполняя дымоудаление.

**Скрубберы Вентури** с одноименными трубками основаны на разгоне газовоздушных потоков внутри конусовидных конструкций (труб), во время которого газы проходят водяную завесу, формируемую системой форсунок. Контакт воздуха и воды дает микротуман, помогающий вычлени из обрабатываемой среды имеющиеся в ней загрязнения. С водой в качестве расходника идеально использовать это оборудование для пылеулавливания, с реагентами - для абсорбции газов. Установки с трубами Вентури задействуют в горнодобывающей и металлургической отраслях, на предприятиях пищепрома, в котельных.

### **Альтернативные системы очистки воздуха**

Помимо указанных разновидностей пылеуловителей и газоочистных систем современная промышленность использует также несколько дополнительных классов оборудования: масляные ленточно-цепные фильтры, масляные фильтры с абсорбентом, установки бактериальной обработки.

**Масляные ленточно-цепные системы фильтрации** собраны из смачиваемых пластин, расположенных на

замкнутой ленте, движущейся над ванной с маслом. Основное преимущество этого решения - в самоочистке пластин за счет масла (погружаясь в ванну, элементы конструкции обновляют сорбент), однако такая установка очень специфична в исполнении, снабжена двигателем, требует сложного монтажа и обслуживания.

**Масляные фильтры с абсорбентным принципом действия**, представляющие собой камеру с насадкой (металл, керамика), которая обработана минеральным маслом - высокоэффективное оборудование, требующее регулярного сложного обслуживания (очистки) с использованием горячих каустических составов.

**Установки, основывающиеся на бактериальной обработке** газовоздушных сред, считаются одними из передовых в отрасли, хотя пока еще не вышли из экспериментальной стадии.

Они представляют собой конструкции, в которых за очистку газов отвечают протобактерии.

Например, *Kueneria stuttgartensis*, поедающие аммиак и выделяющие вместо него азот, или *Desulfobulbus propionicus*, устраняющие из воздуха оксиды серы путем переработки их в сульфаты/сульфиды. Это крайне малочисленная категория фильтров, которые обладают огромным потенциалом и активно разрабатываются в наши дни.

Методы термической нейтрализации вредных примесей во многих случаях имеют преимущества перед способами адсорбции и абсорбции: отсутствие шламового хозяйства, небольшие габариты очистных установок, простота их обслуживания, а в ряде случаев и пожарная автоматизация работы, высокая эффективность обезвреживания при низкой стоимости очистки.

Различают три схемы термической нейтрализации газовых выбросов: *прямое сжигание в пламени, термическое окисление и каталитическое сжигание*. Первые две используют при температурах 600-800 °C; последнюю - при 250-450 °C. Выбор схемы определяется химическим составом загрязняющих веществ, их концентрацией, начальной температурой газовых выбросов, объемным расходом и

предельно допустимыми нормами выброса загрязняющих веществ.

**Прямое сжигание** следует использовать только в тех случаях, когда отходящие газы обеспечивают подвод значительной части энергии, необходимой для осуществления процесса. Из экономических соображений этот вклад должен превышать 50% общей теплоты сгорания. При проектировании устройств прямого сжигания необходимо знать пределы взрываемости или воспламеняемости сжигаемых отходов и газообразного топлива в смесях с воздухом. Эти данные показывают, будет ли конкретный вид газообразных отходов поддерживать горение без дополнительного подвода топлива. Примером такого процесса является сжигание углеводородов, содержащих токсичные газы (например, цианистый водород) непосредственно в факеле (то есть просто в открытой горелке, направленной вертикально вверх). Факел применяют главным образом для сжигания горючих отходов, которые не поддаются другим видам обработки.

**Термическое окисление** используют либо когда отходящие газы имеют высокую температуру, но в них нет достаточного количества кислорода, либо когда концентрация горючих примесей настолько низка, что они не обеспечивают подвод теплоты, необходимой для поддержания пламени. Основное преимущество метода - относительно низкая темпера-

тура процесса, что позволяет сократить расходы на изготовление камеры сжигания и избежать значительного образования оксидов азота.

Каталитический метод применяют для превращения токсичных компонентов промышленных выбросов в вещества безвредные или менее вредные для окружающей среды путем введения в систему дополнительных веществ - катализаторов. Он основан на взаимодействии удаляемых веществ с одним из компонентов, присутствующих в очищаемом газе или со специально добавляемым в смесь веществом. Катализатор, взаимодействуя с одним из реагирующих соединений, образует промежуточное вещество, которое

распадается с образованием продукта регенерированного катализатора.

Каталитическое окисление отличается от термического кратковременностью протекания процесса (иногда достаточно нескольких долей секунды), что позволяет резко сократить габариты реактора. Кроме того, температура, необходимая для осуществления реакции органических газов и паров с кислородом, снижена (до 300 °С) по сравнению с термическим окислением. Объемную скорость определяют как отношение расхода обрабатываемого газа ( $m^3/ч$ ), приведенного к нормальным условиям, к объему катализаторной массы ( $m^3$ ).

Основные критерии выбора катализаторов - их активность и долговечность. О первой судят по количеству продукта, получаемого с единицы объема катализатора, или по объемной скорости каталитической реакции, при которых обеспечивается требуемая степень обезвреживания обрабатываемого газа. Для осуществления процесса необходимы незначительные количества катализатора, расположенного таким образом, чтобы обеспечить максимальную поверхность контакта с газовым потоком. Каталитический слой должен создавать умеренно низкий перепад давления, обеспечивать структурную целесообразность и долговечность катализатора.

Следует отметить, что для эффективного снижения выбросов необходимо подбирать ГОУ, опираясь на собственное производство, а именно - на количество и качество выбросов. Для наибольшего эффекта следует рассматривать очищение отходящих газов ступенями от грубой очистки - к тонкой, от общих веществ - к частным.