

Метод очистки газовых потоков от природных и техногенных аэрозолей, включающих субмикронные составляющие

**Палей А.А., Лапшин В.Б., Балышев А.В.,
Матвеева И.С., Жохова Н.В. (goin@bk.ru)**

Государственный океанографический институт

Статья выполнена при поддержке РФФИ, проекты 04-05-64624, 04-05-64448, 06-08-01410

Основы предлагаемого авторами метода очистки газовых потоков от природных и техногенных аэрозолей относятся к области изучения фазообразования – одной из ключевых фундаментальных задач в различных областях науки, особенно в океанологии, физической химии и физике атмосферы. Кроме того, в последнее время задача фазообразования в субмикронных аэрозолях привлекает внимание в связи со все возрастающим интересом к наноматериалам. Существенную роль в получении и использовании наноматериалов имеют процессы формирования наночастиц, их зарядка и конденсация газов на этих частицах. Особый интерес представляют тонкодисперсные (ultrafine) аэрозольные частицы с диапазоном размеров 1-30 нм, процессы их образования и поведения в газовом потоке [9].

Есть и экологический аспект особенностей субмикронных аэрозолей. Несмотря на малые размеры частиц, ущерб от их воздействия на окружающую природу и на здоровье людей все более проявляется в районах их распространения. Так, мелкодисперсные частицы техногенного происхождения (частицы соединений свинца и др.), содержащиеся в продуктах сгорания различных веществ, в том числе и выхлопных газах автомобилей, глубоко проникают в дыхательную систему человека и могут вызывать тяжелые последствия для жизни людей.

Выбранный метод очистки основан на процессе конденсации, но отличается от известного способа электрофилтра. Как известно [7,8], размеры частиц, участвующих в процессе конденсации, зависят от свойств частиц и значения пересыщения паров. При реальных пересыщениях, значение которых составляет ~1%, размер частиц, участвующих в процессе конденсации, составляет значение $\sim 10^{-5}$ см. Участие же в процессе конденсации аэрозольных частиц с меньшими размерами в условиях реальных пересыщений маловероятно. Таким образом, традиционные технологии очистки с

использованием электрофильтров для очистки воздуха от субмикронных частиц мало эффективны, поскольку электрофильтр не охватывает субмикронные частицы.

Авторами предлагается оригинальный метод очистки газовых потоков от аэрозольных частиц, в том числе и субмикронных. Предлагается реализовать конденсацию во всем объеме газового потока, используя способы увеличения активности и формирования новых центров конденсации на всех частицах газового потока.

Очистка осуществляется за счет процесса конденсации паров на аэрозольных частицах, которые укрупняются в размере и легко удаляются известными методами из очищаемого потока. Метод базируется на выявленном механизме влияния электрического поля на процесс конденсации паров - способ, защищенный патентами [2-4] и состоящий в том, что активность к конденсации аэрозольных частиц резко повышается при локализации на их поверхностях электрических зарядов. Аэрозольные частицы, которые по своим параметрам (размеру и лиофильности) в естественных условиях не могли стать активными центрами конденсации, после их зарядания электрическими зарядами превращаются в дополнительные центры конденсации. Процесс конденсации на них происходит не только за счет диффузии молекул воды из газовой смеси, а также и за счет движения дипольных молекул воды в неоднородном электрическом поле. Образуются силы, притягивающие пары воды к аэрозольным частицам из окружающей парогазовой смеси, вследствие чего рост капель на дополнительных центрах конденсации происходит практически мгновенно. Зарядание частиц предлагается производить с помощью коронного разряда. Эффективность предлагаемого метода подтверждена независимыми исследованиями [1], в которых получены зависимости для описания процессов конденсации в изобарических струях в условиях коронного разряда, успешно проведены экспериментальные испытания.

Общие принципы работы предлагаемого авторами метода следующие. Подлежащий очистке газовый поток прокачивается через воздушный канал. При прохождении газового потока в области пространства, прилегающего к коронирующим проводам, содержащиеся в нем аэрозольные частицы получают электрический заряд. Газовый поток с заряженными аэрозольными частицами попадает в область теплообменника и охлаждается, отдавая свое тепло через поверхность теплообмена, при этом газ охлаждается до температуры конденсации содержащихся в нем паров. Создаются условия пересыщения. Избыточные пары конденсируются на электрически заряженных аэрозольных частицах. Сконденсированная влага, содержащая удаляемые аэрозольные частицы, осаждается на стенках теплообменника, и при накоплении ее до размеров крупных капель стекает вниз, в приемник конденсата, после чего через дренажное

отверстие выводится из системы. Для регулирования влажности газового потока в установке предусмотрено добавление паров воды из парогенератора.

В конструкции установки предусмотрены устройства, позволяющие осуществить процесс регулирования концентрации электрических зарядов в газовом потоке, а также замер концентрации электрических зарядов в потоке.

Эксперимент был подготовлен теоретическими исследованиями. Были получены теоретические зависимости, создана математическая модель процесса, проводилось численное моделирование [5, 6], что позволило на стадии проектирования определять необходимую плотность электрических зарядов в газовом потоке, в зависимости от концентрации аэрозольных частиц газового потока и степени пересыщения паров.

Для создания макета разрабатываемой системы очистки газовых потоков необходимо, в первую очередь, формирование устойчивого горения коронного разряда. Было подобрано и смонтировано в специальном помещении Государственного океанографического института оборудование, включающее:

- Высоковольтный источник питания АИД-70 (максимальное напряжение 70 Кв, максимальный ток нагрузки 10 мА);
- Систему передачи высокого напряжения (кабель высокого напряжения КВРГ-75, высоковольтные изоляторы из фторопластового материала, высоковольтные микроамперметр и вольтметр)
- Устройство генерации коронного разряда, изготовленного на базе автомобильной свечи зажигания F503 фирмы FINWHLE, установленной в выходном патрубке выхлопной трубы автомобиля.

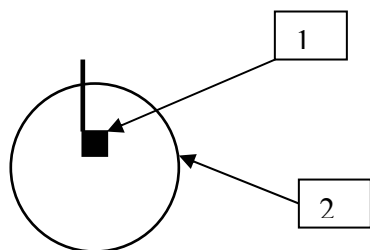


Рис.1. Выхлопная труба автомобиля (с устройством генерации коронного разряда) в разрезе. 1 – коронирующий электрод, 2 – корпус трубы

Как показали эксперименты, смонтированная система (рис.1) обеспечивала устойчивое горение коронного разряда при очищенной поверхности внутреннего патрубка во всем диапазоне рабочих напряжений (от 2 до 10 Кв). При работающем двигателе на 10-15 минутах начинали отмечаться пробои высокого напряжения вплоть до автоматического

отключения источника питания. При экспериментах было установлено, что систему генерации коронного разряда необходимо монтировать в области выпускного коллектора двигателя, либо вначале приемных труб системы выхлопа, где исключено образование налета углеродосодержащих веществ на стенках труб и конденсация паров воды. Потери электрических зарядов в процессе движения газов по выхлопному тракту необходимо компенсировать более высоким значением рабочего напряжения.

Следующей задачей являлся инструментальный контроль аэрозольной составляющей загрязнений, содержащихся в выхлопных газах автомобиля.

Загрязняющие вещества выхлопных газов автомобиля собирались на фильтр «АФА-РМП-3» с помощью устройства, изготовленного в ГОИН, позволяющего проводить отбор проб на три фильтра одновременно. Средняя скорость пробоотбора составляла $16,0 \pm 0,1$ м³/час. Фильтры устанавливались в выходном патрубке выпускной системы автомобиля, так что весь объем выхлопа проходил через фильтр, без утечек в атмосферу. Сбор загрязняющих веществ проводился в течение следующих временных интервалов: 1, 3, 5, 7, 10 минут. Полученные фильтры без дополнительной обработки были исследованы на спектрофлуориметре JASCO модель FP-550.

Измерения на спектрофлуориметре осуществлялись при следующих параметрах: ширина спектральной полосы возбуждающего излучения – 3 нм, ширина спектральной полосы для флуоресцентного излучения – 5 нм, «селектор» x1; «чувствительность» x10. С фильтра, помещенного в кварцевую кювету, снимались спектры возбуждения флуоресценции при длине волны возбуждающего излучения от 200 до 400 нм. На основе полученных спектров возбуждения флуоресценции выявлена зависимость интенсивности флуоресценции от времени экспозиции фильтра в потоке выхлопных газов при фиксированной длине волны возбуждающего излучения.

Фильтр инкубировали со смесью кислот (HCl, HNO₃, HF - 6 мл) в течение 1 суток в тефлоновых бомбах. Далее минерализацию образцов проводили под давлением в микроволновой печи MDS2000 при следующем режиме: 2 мин 20 сек - при 80% мощности, 5 мин - при 100% мощности.

Содержание тяжелых металлов в образцах определяли с помощью атомно-адсорбционного спектрометра «SpectrAA-800» с электротермической атомизацией и эффектом Зеемана по протоколу фирмы "Varian" с модификациями по результатам международной интеркалибрации с лабораторией MEL МАГАТЭ (Монако). Источником излучения служили одноэлементные лампы полого катода SpectrAA фирмы "Varian". Ток ламп для элементов Cd, Cu, Ni - 4,0 мА; для Pb, Mn, Zn - 5,0 мА; для Cr - 7,0 мА. Ширина щели монохроматора составляла 0,5 нм, за исключением измерений Cr, Mn (0,2 нм) и Zn

(1,0 нм). Были использованы режим коррекции базовой линии и горячий впрыск - 50 °С, кроме Ni и Mn - 60 °С. Были использованы следующие длины волн (резонансные линии) и модификаторы: Cd - $\lambda=228,8$ нм, $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2+\text{Mg}(\text{NO}_3)_2+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; Pb - $\lambda=283,3$ нм, $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2+\text{Mg}(\text{NO}_3)_2+\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$; Ni - $\lambda=232,0$ нм, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2+\text{Pd}(\text{NO}_3)_2$; Cr - $\lambda=357,9$ нм, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$; Mn - $\lambda=279,5$ нм, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$; Cu - $\lambda=327,4$ нм, $\text{Pd}(\text{NO}_3)_2$, Zn - $\lambda=213,9$ нм, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$; Al - $\lambda=396,2$ нм, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2$; As - $\lambda=193,7$ нм, $\text{Mg}(\text{NO}_3)_2+\text{Pd}(\text{NO}_3)_2$; V - $\lambda=318,4$ нм. Относительное стандартное отклонение при определении с доверительной вероятностью 0,95 не превышало 25% для Cd и Cu и 15% для Pb, Ni, Cr, Mn.

Оценка эффективности макета очистки проводилась по степени очистки выбросов аэрозолей, содержащих свинцовые соединения. Накопление загрязняющих веществ производилось на фильтр в течение 1 часа. Количественные оценки содержания свинца в пробе показали существенное его снижение после воздействия коронного разряда (примерно на 30%), что позволяет сделать вывод о существенном повышении эффективности очистки выхлопных газов от соединений свинца, представляющих собой мелкодисперсную фракцию субмикронного размера.

Кроме того, оценка очистки продемонстрирована другим фактом. Как известно, частицы сажи, содержащиеся в выхлопных газах, вследствие своей малости сильно связаны с газовым потоком и трудно от него отделимы. Так, при отключенном коронном разряде все сажевые включения в мелкодисперсном виде (невидимом диапазоне) уходили в атмосферу вместе с газовой струей. Установленный в зоне струи выхлопных газов белый лист бумаги при отключенном коронном разряде оставался белоснежным даже непосредственно у выхлопной трубы. Это создавало представление, что выбросы выхлопных газов бензиновых двигателей не содержат сажевых выбросов. Однако, при включении коронного разряда сажа моментально конденсируется, и сажевые капли конденсата вылетают из выхлопной трубы, практически мгновенно забрасывая фильтр.

Выводы

Был испытан метод сверхтонкой очистки газовых потоков на основе активизации процессов конденсации паров с помощью коронного разряда. Испытания подтвердили высокую эффективность предложенного метода для отделения от газового потока мелкодисперсных аэрозолей, не только для очистки выхлопных газов от сажевых включений, но и для очистки выхлопных газов от соединений свинца. В проведенном эксперименте предложенный метод показал снижение на 30% содержания свинца при включении системы генерации коронного разряда

Предлагаемая технология очистки газового потока может найти применение при реконструкции систем очистки газообразных отходов производства промышленных и

энергетических предприятий, устройствах дополнительной очистки выхлопных газов автомобиля, воздушного пространства в бытовых и промышленных масштабах.

Литература

1. А.Б. Ватажин, И.Р.Савин, Е.К.Холщевников. «Исследование различных режимов конденсации в изобарических турбулентных паровоздушных струях. МЖГ, №6, 2002, стр.35-47
2. Лапшин В.Б., Палей А.А., Поляхов Ю.Б., Попова И.С., Тищенко В.А., Тищенко В., Градирня. Патент РФ №21000730, МКИ 6F 28 C1/16, F25D1/00, 1996.
3. Лапшин В.Б., Палей А.А. Фильтр очистки газового потока Заявка №2005112319 от 26.04.05 Решение о выдаче ФИПС 15.09.06.
4. Лапшин В.Б., Палей А.А., Попова И.С., Огарков А.А. Способ конденсации паров. Международная заявка РСТ №РСТ/Ru/98/00196,1998, РСТ WO 99/65584 от 23.12.1999, патент РФ № 2175880
5. Палей А.А., Лапшин В.Б., Мелешков Ю.С., Жохова Н.В. "Теоретическое описание модели расчета зарядов аэрозольных частиц в протяженном электрическом поле коронного разряда" Электронный журнал "Исследовано в России", 002, стр. 15-21, 2006 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/002.pdf>
6. Палей А.А., Лапшин В.Б., Мелешков Ю.С., Жохова Н.В."Расчет электрического поля и объемного заряда в воздухе над землей от двух параллельных коронирующих проводов". Электронный журнал "Исследовано в России", 004, стр. 31-37, 2006 г. <http://zhurnal.ape.relarn.ru/articles/2006/004.pdf>
7. Стивен Коллинз «Утилизация тепла с очисткой дымовых газов» «Мировая энергетика», № 4, 1994 г., стр. 15-18., в аналитическом обзоре Ю. Белова «Глубокая очистка дымовых газов методом конденсации», <http://www.sciteclibrary.ru/rus/catalog/pages/2149.html>,
8. Е.В. Сугак, Н.А. Войнов, Р.А., Степень, Н.Ю. Житкова. «Очистка промышленных газов от газообразных и дисперсных примесей», «Химия растительного сырья 2 (1998) №3, стр. 21-34, <http://www.asu.ru/science/journal/chemwood/volume2/n3/stat3.html>
9. Friedlander S.K. Smoke Dust and Haze. New York, Oxford University Press, 2000, 407p.