

## Особенности сорбционно-каталитической очистки воздуха в помещениях обитания человека в условиях крупных городов

*Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой Н.И. Ватин;  
к.х.н., доцент В.Н. Чечевичкин;  
инженер А.В. Чечевичкин\*;*

*ГОУ Санкт-Петербургский государственный политехнический университет*

**Ключевые слова:** фильтр; воздух; газ; город; загрязнение; сорбционный; оборотный; выделения; аэрозоли; вредные вещества.

Одним из факторов, определяющих существование и развитие человека, является окружающая среда. Человек как биологическая система есть часть живой природы, и в то же время он требует постоянной защиты от её неблагоприятных воздействий. Здания и помещения обитания человека, в закрытом пространстве которых он проводит большую часть своего времени (до 90%), играют в основном защитную роль. [1]

Искусственная среда обитания внутри замкнутых объектов (зданий и помещений) требует наличия чистой воздушной атмосферы, и при нарушении этого требования может рассматриваться как серьёзный фактор негативного влияния на здоровье человека. [2]

До недавнего времени проблема подачи чистого воздуха в здания и помещения решалась простым способом отвода загрязнённого воздуха и подвода чистого системами приточно-вытяжной вентиляции. Однако в условиях плотной застройки крупных городов и наличия всё возрастающего технико-антропогенного загрязнения воздушной атмосферы над ними подобные решения малоэффективны, а следовательно, потенциально опасны для здоровья человека.

Основными загрязнителями воздушной атмосферы крупных городов являются промышленные выбросы и транспорт [3], а также неудовлетворительная работа коммунальных служб. Основными компонентами транспортного смога помимо микрокапель воды являются [4]:

- выделение углеводородов из топливных баков автомобилей;
- твердые аэрозоли, содержащие оксиды металлов и сажу (той или иной степени метаморфизации);
- жидко-капельные топливные аэрозоли;
- продукты неполного сгорания топлива (пиролитические компоненты, в том числе полиароматические вещества);
- оксиды азота, угарный и сернистый газы.

Максимальные концентрации этих чрезвычайно опасных для здоровья человека веществ наблюдаются в городах на узких улицах с высокими зданиями, «колодцах» внутренних дворов, перекрестках улиц и вблизи светофоров.

Резкое увеличение количества автомобилей в последнее время привело не только к увеличению поступления общего количества выбросов, но и к многочисленным и постоянным пробкам практически на всех магистралях в центрах крупных городов. Последнее обстоятельство резко повлияло на степень загазованности этих магистралей и привело к катастрофическому умиранию растительности на них (особенно деревьев, растущих вдоль зон «хронических пробок»).

Жидкие среды из автотранспорта (топливо, смазочные материалы, антифризы и др.) попадают на асфальтовое покрытие, что приводит к его разрушению и выделению (особенно в жаркую погоду) летучих продуктов асфальтовых смол [5, 6]. Особенно эти воздействия проявляются на коллективных стоянках, автозаправочных станциях, а также в зонах «хронических пробок».

Продукты неполного сгорания топлива представляют собой смесь твердых (сажа и продукты конденсации) и газообразных (оксипроизводные, полиароматические углеводороды) веществ различной химической природы. Некоторые из них (особенно полиароматические углеводороды пиренового ряда) крайне опасны. [3, 6]

Выделения из топливных баков автомобилей, представляющие собой широкий спектр различных предельных углеводородов, особенно заметны в безветренную погоду [4].

Твердые аэрозоли поступают в окружающую среду из выхлопных газов автотранспорта (сажа, оксиды), дымовых газов ТЭЦ и котельных, вентиляционных выбросов электрометаллургических предприятий (оксиды железа и других металлов). Жидкие аэрозоли образуются при контакте водяных паров атмосферы с газообразными выбросами щелочного и кислого характера, что может приводить к образованию микрокапельного (в основном кислотного) смога. Другими компонентами этого смога являются водно-Ватин Н.И., Чечевичкин В.Н., Чечевичкин А.В. Особенности сорбционно-каталитической очистки воздуха в помещениях обитания человека в условиях крупных городов

капельные аэрозоли, образующиеся на скоростных автомагистралях при высокой интенсивности движения в дождливую погоду.

Концентрация сернистого газа в дымовых и выхлопных газах зависит от содержания серы в топливе (например, в сыром бензине содержание сульфидов металлов и дисульфидов, являющихся источником сернистого газа при их сгорании, может достигать 0,1% веса, а в мазуте до 3%). [4]

Оксиды азота поступают в атмосферу городов в основном из промышленных вентиляционных выбросов электрометаллургических производств («лисыих хвостов») и в результате небольшого, но массированного и регулярного поступления из автомобильных выхлопных газов. Оксиды азота относятся к плохосорбируемым веществам. [3, 7]

Угарный газ (оксид углерода), также относящийся к плохосорбируемым и токсичным веществам, представляет собой сложный объект очистки, требующий наличия соответствующего низкотемпературного катализатора и отсутствия влаги в воздухе. [7, 8]

Еще одним источником загрязнения внешней атмосферы городов может являться сероводород, который образуется в результате микробиологического разложения белков в канализационных и ливневых коллекторах [9] при их нерегулярной и ненадлежащей очистке службами ЖКХ. В безветренную погоду, особенно во дворах-колодцах, концентрация сероводорода из люков ливневой канализации может быть значительной.

В крупных городах, в силу ряда причин, иногда возникают возгорания бытового мусора, приводящие к значительной задымленности ограниченных территорий. Опасность этих загрязнений атмосферы, кроме дымовых аэрозолей, заключается ещё и в том, что при горении пластмасс (упаковка продуктов, одноразовая посуда, изоляционные материалы и др.) в воздухе образуется ряд очень токсичных веществ, в том числе хлорорганических, таких, например, как диоксины, фосген и хлорфосген. [7]

В последнее время все острее становится проблема загрязнения воздуха в крупных городах весной после таяния снега и обнажения скрытых под ним органических отходов, которые скапливаются за зиму на газонах под деревьями и кустарниками и т.д. Эти отходы, формируемые из разлагающихся фекалий домашних животных, мертвых птиц и грызунов, а также пищевых отходов человека, накапливаются за зиму под снегом и имеют весной характер залпового выброса. После их высушивания и диспергирования под действием ветра, дождя и солнца, они являются источником крайне опасных в санитарном отношении аэрозолей бактериальной, вирусной и аллергенной природы.

Как видно из вышесказанного, спектр загрязнений внешней атмосферы в крупных городах достаточно широк. По этой причине высококачественная очистка забираемого с улицы воздуха, поступающего в жилые помещения крайне сложна и должна проводиться системами очистки, имеющими в своем составе не только противозаэрозольные (противопылевые) элементы, но и сорбционно-каталитические системы, рассчитанные на широкий спектр загрязнений. Ситуация осложняется постоянной высокой влажностью наружного воздуха, которая снижает качество его очистки.

При столь сложной ситуации с очисткой наружного воздуха становится актуальной и экономически рентабельной проблема очистки воздуха, циркулирующего внутри зданий и помещений.

Основными загрязнителями воздуха внутри зданий и помещений, связанными с деятельностью человека, являются:

- сероводород и аммиак (а также некоторые меркаптаны, дисульфиды и амины) при пользовании туалетами и бытовыми холодильниками;
- аэрозоли масел и продукты их неполного сгорания при приготовлении пищи;
- формальдегид и другие летучие вещества, выделяемые из мебели на основе клеевой ДСП (ДВП), строительно-отделочных пластиков и красок;
- хлор и хлорпроизводные при дегазации холодной водопроводной воды при ее смешивании с горячей в душевых кабинах и ваннах; возможно также выделение газообразного сероводорода при использовании горячей воды сетей ГВС недостаточного качества;
- озон при работе современных копировальных аппаратов в офисах;
- газообразные продукты жизнедеятельности человека и домашних животных;
- избыток влаги и углекислого газа при нахождении значительного числа людей в здании или помещении.

В замкнутых помещениях концентрации этих веществ могут накапливаться и достигать высоких значений, представляющих угрозу для здоровья человека. В «загазованных» районах крупных городов удалить эти вещества путем проветривания еще более грязным воздухом с улицы (без предварительной очистки) не представляется возможным.

Вагин Н.И., Чечевичкин В.Н., Чечевичкин А.В. Особенности сорбционно-каталитической очистки воздуха в помещениях обитания человека в условиях крупных городов

Очистка воздуха, циркулирующего внутри здания (помещения) привлекательна еще и тем, что позволяет (особенно в зимнее время) экономить тепло.

Как видно из вышесказанного, задача очистки внутреннего воздуха в помещении, представляющего собой смесь очень многих веществ разной химической природы, на фоне высокой влажности является крайне сложной даже в теоретическом плане.

В настоящее время подавляющее большинство кондиционеров бытового назначения не оборудованы системами сорбционно-каталитического удаления вредных газов и паров. Эти системы обеспечивают удаление частиц пыли (но не аэрозолей и дымов), нагрев/охлаждение и корректировку влажности воздуха. В некоторых устройствах применяют сорбционные элементы тканевой структуры, с малым аэродинамическим сопротивлением, не рассчитанные на работу со значительными концентрациями вредных веществ даже одного класса, не говоря уже об очистке воздуха от всего комплекса загрязнений.

Наиболее успешным решением рассматриваемых проблем было бы применение систем очистки, подобных тем, которые используются для очистки воздуха от отравляющих и других сильнодействующих веществ на промышленных гермообъектах, объектах гражданской обороны и военных объектах (типа фильтро-вентиляционных агрегатов). [7, 10÷13] Однако, на сегодняшний день эта техника недоступна для широкого (бытового) использования.

Обе проблемы: очистка наружного воздуха, подаваемого с улицы в здание (помещение), и очистка внутренней атмосферы в нем – могут быть решены путем создания высокоэффективных фильтрующе-сорбционно-каталитических установок. Такие установки являются высоконапорными, т.е. требуют значительной мощности и напора применяемых в них побудителей расхода, поскольку аэродинамическое сопротивление сорбционно-каталитической шихты и фильтрующих материалов этих устройств изначально не может быть малым.



Рисунок 1. Внешний вид трехкамерного сорбционно-каталитического фильтра

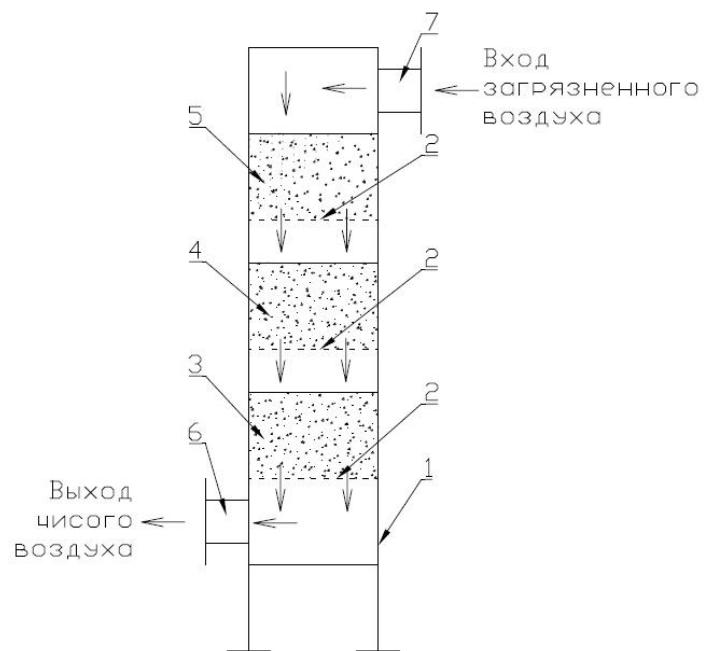


Рисунок 2. Схема трехкамерного сорбционно-каталитического фильтра: 1 – корпус фильтра, 2 – поддерживающие сетки, 3 – слой шихты катализатора, 4 – слой шихты осушителя, 5 – слой шихты химвосприимателя, 6 – выходной патрубок, 7 – входной патрубок



а



б



в

Рисунок 3. Применяемые сорбенты и катализаторы. а – химвосприиматель, б – осушитель, в – катализатор

Разработка и создание автономных систем очистки воздуха для решения обеих вышеперечисленных задач могут быть осуществлены только при помощи применения современных углеродных сорбентов и катализаторов на их основе [8, 12], осушителей на основе цеолитов, оксида алюминия и силикагеля, а также хемосорбентов различного типа и назначения. Весьма перспективно использование дешевых сорбентов и катализаторов на основе природных цеолитов России, особенно их модифицированных форм. [14, 15]

На рис.1 представлен внешний вид, а на рис. 2 – схема устройства трёхкамерного сорбционно-каталитического фильтра, разработанного авторами данной статьи, для очистки оборотного воздуха герметичного помещения. Это устройство позволяет удалять из оборотного воздуха газообразные аммиак, сероводород и меркаптаны, а также некоторые органические вещества и углекислый газ [16]. Устройство содержит три последовательно расположенные сорбционные камеры площадью 0,09 м<sup>2</sup> каждая и высотой слоя зернистой шихты 0,2 м. Замена отработанных сорбционных материалов производится через люки передней стенки фильтра, что исключает его демонтаж при эксплуатации.

Комбинация сорбционных и каталитических материалов (изображенных на рис. 3) в фильтре может быть легко изменена для решения различных задач очистки. Фильтр может быть дополнен компактной рефрижераторной системой удаления влаги на входе. Производительность фильтра составляет примерно 100÷150 м<sup>3</sup>/час по очищенному воздуху, однако может быть существенно увеличена как путем установки параллельно работающих фильтров, так и путем создания конструкций большего сечения потока.

Данный конструктивный подход весьма перспективен и при создании установок для очистки промышленных выбросов в системах вытяжной вентиляции.

#### Литература:

1. Мустафаев М. С. Человек и окружающая среда или что такое «синдром больного здания» и баубиология // Вестник биофизической медицины. 1994. № 2. С. 31-36.
2. Гошка Л. Л. Качество воздуха в помещении и система индивидуальной безопасности. // Инженерно-строительный журнал. 2010. № 6 (16). С. 12–16.
3. Другов Ю. С., Березкин В. Г. Газохроматографический анализ загрязненного воздуха. М. : Химия, 1981. 287 с.
4. Кинле Х., Бадер Э. Активные угли и их промышленное применение. Л. : Химия : Ленингр. отд-ние, 1984. 216 с.
5. Пшенин В. Н., Коваленко В. И. Загрязнение ливневых стоков с автомобильных дорог // Вестник ИНЖЭКОНА. 2007. № 6 (19). С. 140–145.
6. Слепян Э. И. Экологическая сертификация автотранспортных дорог // Жизнь и безопасность. 1996. № 4. С. 92-100.
7. Кельцев Н. В. Основы адсорбционной техники – М. : Химия, 1976. 512 с.
8. Фенелонов В. Б. Введение в физическую химию формирования супрамолекулярной структуры адсорбентов и катализаторов. Новосибирск : Изд-во Сиб. отд-ния Рос. акад. наук, 2004. 442 с.
9. Яковлев С. В., Ласков Ю. М. Канализация : (Водоотведение и очистка сточ. вод) : [Учеб. для строит. техникумов по спец. «стр-во волоспровод. и канализац. сетей и сооружений»]. М. : Стройиздат, 1987. 560 с.
10. Харькова Н. Б. К обоснованию выбора систем очистки воздуха, подаваемого в кабины горнотранспортных машин // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2004. №3. С. 20–21.
11. Кораблева А. А., Сасик Э. М. Установка для адсорбционной очистки газовых сред от избыточного диоксида углерода. // В сб. «Сорбенты и сорбционные процессы». Л. , 1990. С. 123 – 127.
12. Сорбирующие материалы, изделия, устройства и процессы управляемой адсорбции / В. В. Самонин [и др.]. СПб. : Наука, 2009. 271 с.
13. Харитонов В. П., Журин А. А., Горбунов В. С. Адсорбционные установки для герметичных плодовоовощехранилищ // В сб. «Адсорбенты, их получение, свойства и применение». Л. , 1978. С. 215–218.
14. Цицишвили Г. В. и др. Природные цеолиты. М. : Химия, 1985. 224 с.
15. Аннагиев М. Х. Адсорбенты на основе природных цеолитов в процессах адсорбции различных газов и паров. – Баку : Элм, 1992. 103 с.
16. Чечевичкин А. В., Куцуренко Е. П., Ватин Н. И. Аэродинамические характеристики трехкамерного сорбционного фильтра для очистки оборотного воздуха промышленного гермопомещения // В сб. «XXXIX неделя науки СПбГПУ», ч. I. СПб. , 2010. С. 259–260.

*\*Алексей Викторович Чечевичкин, Санкт-Петербург, Россия*

*Тел. раб.: +7(812) 535-99-39; эл. почта: filter-w@mail.ru*