

На правах рукописи

Пролубников Владимир Иванович

**ПРОЦЕССЫ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ХИМИЧЕСКИХ
ПРОИЗВОДСТВ И ДИЗЕЛЬНЫХ АГРЕГАТОВ ОТ ТВЕРДЫХ
ЧАСТИЦ ФИЛЬТРАМИ, ИЗГОТОВЛЕННЫМИ ПО
СВС-ТЕХНОЛОГИЯМ**

05.17.08 – Процессы и аппараты химической технологии

Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук

Томск 2003

Работа выполнена в лаборатории СВС-технологий Алтайского государственного технического университета имени И.И. Ползунова

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор,
Заслуженный изобретатель РФ
Новоселов А.Л.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
Волокитин Г.Г.
кандидат технических наук, профессор
Вихарев А.В.

Ведущая организация: Федеральный научно-производственный
центр «Алтай»

Защита состоится “___” _____ 2003 г. в 14 часов на заседании диссертационного совета Д 212.269.08 при Томском политехническом университете по адресу: 634050, Томск, пр. Ленина, 30, 2-й корпус, ауд.117.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Томского политехнического университета.

Автореферат разослан “___” _____ 2003 г.

Ученый секретарь диссертационного Совета,
к.т.н, доцент

Петровская Т.С.

Общая характеристика работы

Актуальность. Интенсивное развитие промышленности и энергетики в последние десятилетия привело к возрастающему загрязнению окружающей среды всеми видами вредных выбросов. Годовые выбросы вредных веществ в атмосферу в мире составляет: - естественные: по оксиду углерода (CO) – 0.21 млн. тонн, по углеводородам суммарно (C_xH_y) – 300 млн. тонн, по твердым частицам (ТЧ) – 170млн. тонн; - антропогенные: по CO – 200млн. тонн, по C_xH_y – 50 млн. тонн, по твердым частицам – 20 млн. тонн.

В России выбросы от стационарных источников составляют суммарно – 18.1 млн. тонн, от транспортной энергетики – 10.9 млн. тонн. До 3.5 млн. тонн приходится на вредные выбросы химической промышленности.

По определению Американского агентства по охране окружающей среды (EPA) под твердыми частицами следует понимать «... любое вещество, за исключением воды, которое при температуре менее 51.7 °C осаждается на фильтре».

Вредные выбросы трубчатых печей в нефтеперерабатывающей промышленности России составляют около 1500 тыс. тонн в год, в том числе: углеводородов – 1182, оксидов серы – 232, оксидов азота – 27, оксида углерода – 112, твердых частиц – 14, прочих – 16 тыс. тонн в год.

Удельные выбросы с отработавшими газами (ОГ) дизельных агрегатов нефтеперерабатывающих комплексов достигают в настоящее время 0.25-2.0 г/кВт*ч, в то время как нормы стандартов предписывают от 0.1 до 0.02 г/кВт*ч к 2005 году.

Улучшение экологической обстановки связано с проведением ряда мероприятий, направленных на снижение уровней выбросов ТЧ с ОГ в

химической промышленности и транспортной энергетике. Решением проблемы снижения выбросов только ТЧ в атмосферу является актуальным направлением. Опыт разработки процессов и аппаратов для очистки газов в основном сосредоточен в химической промышленности, но существует возможность переноса его и в другие отрасли производств.

С появлением новых технологий изучения каталитических материалов, например, технологий самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-технологий), возникли перспективы развития процессов и конструкций аппаратов для очистки газов. Исследования в этой области способствуют решению экологических проблем и являются актуальными.

Целью работы является изучение процессов фильтрации и очистки отработавших газов химических производств и транспортной энергетики от твердых частиц в аппаратах с фильтрующими элементами, полученными на основе СВС-технологий, и создание фильтров, обеспечивающих высокую степень очистки.

Задачами исследования явились следующие:

1. Определение физико-технических характеристик пористых проницаемых фильтров, полученных с применением СВС-технологий;
2. Определение гидравлических сопротивлений пористых проницаемых фильтров твердых частиц и дисперсионного состава фильтруемых твердых частиц в отработавших газах химических производств и транспортной энергетики;
3. Разработка математической модели фильтрации через пористую проницаемую перегородку фильтра твердых частиц и выполнение на ней исследования по подбору параметров для проектирования фильтров очистки отработавших газов химических производств и дизельных агрегатов;
4. Разработка конструкции агрегатов с фильтрующими элементами, созданными на базе СВС-технологий, создание опытных образцов;

5. Проведение испытаний на химических производствах и дизельных агрегатах по определению качества очистки в блоках от твердых частиц и возможностям очистки от вредных веществ;
6. Создание опытной промышленной партии агрегатов очистки от твердых частиц и проведение ее апробирования в промышленности и на транспорте.

Методы исследования. В работе использованы теоретические методы исследования, которые подкреплены результатами экспериментальных исследований разработанных фильтров в стендовых и эксплуатационных условиях. При проведении исследований использовалась современная газоаналитическая аппаратура, ПЭВМ, разработанные и апробированные методики, по определению физико-механических свойств фильтрующих материалов, используемые в химической промышленности.

Научная новизна заключается в разработке и реализации методов экспериментального исследования при создании пористых проницаемых блоков для фильтров твердых частиц в составе отработавших газов, в получении экспериментальных данных по физико-механическим свойствам СВС-блоков, в обнаружении возможностей путей управления составом шихты и процессами получения блоков с каталитическими свойствами.

Практическая значимость работы заключается:

1. В разработке составов шихты для изготовления пористых проницаемых фильтров СВС-технологиями, обеспечивающих необходимые физико-химические свойства, фильтрацию твердых частиц отработавших газов химических производств и дизельных агрегатов, каталитическое дожигание частиц и компонентов на поверхностях пор фильтров;
2. В разработке фильтров каталитического окисления продуктов неполного сгорания и восстановления оксидов азота отработавших газов химических производств и транспортной энергетики.

3. В разработке конструкций аппаратов-нейтрализаторов газов, создании опытных образцов с унифицированными пористыми блоками, выпуске опытной партии фильтров твердых частиц.
4. В создании математической модели пористого проницаемого фильтра, позволяющей в период, предшествующий конструированию фильтров, определять оптимальные размеры, пористость и другие параметры.

Работа выполнена в рамках научно-технической программы «Экология» СО РАН и региональной научно-технической программы «Алтай».

Реализация результатов исследований. Разработанные положения и математическая модель используется в практике проектирования фильтров твердых частиц для химической промышленности и транспортной энергетике в ПО ФГУП «Алмаз», где смонтированы линии по производству фильтров.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на международных научно-технических конференциях по СВС-материалам в 2000 и 2001 годах, 57-й, 58-й, 59-й и 60-й научно-технических конференциях Алтайского государственного технического университета им. И.И. Ползунова, на научных семинарах в городах: Новосибирске, Самаре, Москве в 1999-2000 годах.

Публикации. По теме диссертационной работы всего опубликовано две монографии и девять статей в сборниках научных работ АлтГТУ им. И.И. Ползунова, получен один патент Российской Федерации.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и выводов, списка литературы. Она содержит ____ страницы основного текста, ____ рисунков, ____ таблиц и ____ наименований литературы.

В соответствии с содержанием диссертационной работы автором на защиту выносятся следующие положения:

- физико-технические характеристики СВС-материалов, используемых для фильтрации отработавших газов в химической промышленности и транспортной энергетике;
- математическая модель пористого проницаемого фильтра твердых частиц отработавших газов химических производств и транспортной энергетике;
- конструкции аппаратов с пористыми СВС-блоками фильтров и технологии получения фильтров с каталитическими свойствами;
- результаты оценки эффективности применения пористых проницаемых СВС-фильтров для процессов очистки отработавших газов в химической промышленности и транспортной энергетике;
- результаты создания опытной промышленной партии фильтрующих блоков для очистки отработавших газов химических производств и транспортной энергетике.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснован выбор темы, ее актуальность, сформулированы цели и задачи исследования, показана научная новизна, практическая значимость выполненного исследования.

В главе 1 рассмотрено происхождение твердых частиц в составе выбросов химических производств и дизельных агрегатов, проанализирован их состав.

Показаны пути снижения выбросов с отработавшими газами химических производств и дизельных агрегатов. Показано, что наряду с улучшением технологий сжигания топлив, их состава, наиболее эффективным методом очистки газов от твердых частиц является фильтрация и дожигание на катализаторах.

Комбинированные фильтры-катализаторы имеют преимущества перед другими средствами очистки газов, заключающиеся в одновременной

очистке от твердых частиц, оксидов азота, оксида углерода, углеводородов суммарно.

Проведено сравнение материалов, используемых для фильтрации от твердых частиц. Отмечено успешное применение кардиерита ($2\text{MgO} \cdot 2\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{SiO}_2$), вспененного монолита из карбида кремния, муллита (композита), кварцевых микроволокон и алюминиевого волокнистого материала, металлокерамики с каталитическим покрытием и других.

Процессом, обладающим значительным технологическим потенциалом, является открытие академиком Мержановым А.Г. и его научной школой самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС), являющегося эффективной основой для получения пористых проницаемых материалов с заданными физико-химическими свойствами.

Сформулированы требования к фильтрам для очистки газов от твердых частиц применительно к химическим производствам и транспортной технике.

Рассмотрены методы регенерации фильтров и применения для этих процессов химических реактивов.

Проведена сравнительная оценка эффективности использования для очистки газов циклонов, электрофильтров, тканевых фильтров и комбинированных фильтров-нейтрализаторов и показана эффективность последних.

Сформулированы цели и задачи исследования.

В главе 2 использованы методики проведения экспериментальных исследований, описаны экспериментальные установки для определения эффективности очистки отработавших газов от твердых частиц. Описана методика изучения структуры и характеристик твердых частиц, направления на определение распределения твердых частиц в составе газов химических производств и дизельных агрегатов по фракциям в зависимости от рабочих и технологических процессов.

Представлены методики определения структуры, физико-механических свойств СВС-фильтров и оценки их эффективности по фильтрации твердых частиц.

Экспериментальные установки были созданы на основе дизеля 4Ч13/14 ОАО «Алтайдизель» и нагревательной печи ОАО «Барнаульский завод резино-технических изделий». Кострукции фильтров представлены на рис.1 и рис.2.

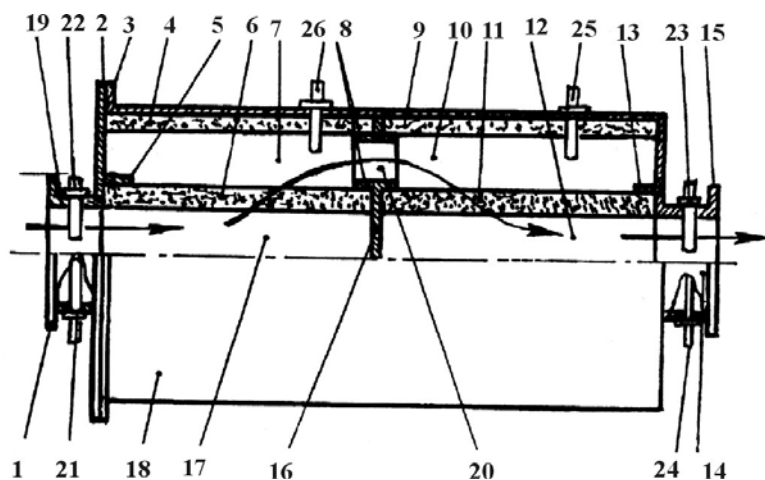


Рис. 1 - Базовый фильтр для очистки отработавших газов дизелей от твердых частиц: 1, 15 – соединительные фланцы; 14, 19 – выходной и входной патрубки; 4, 9 – теплоизолирующие пористые металлокерамические блоки; 5, 8, 13 – установочные бонки для СВС-блоков; 6 – фильтрующий пористый проницаемый СВС - каталитический блок второй ступени очистки; 12- выходная полость фильтра; 18 – стальной корпус фильтра; 20 – сквозное окно в поперечной перегородке; 22, 23, 25, 26 – термопары типа ХА; 21, 24 – отборники давления.

Составы шихты представлены в таблице 1.

Изложена методика оценки уровней вредных выбросов по основным компонентам: CO , C_xH_y , NO_x . Произведена оценка погрешностей измерений и расчетов.

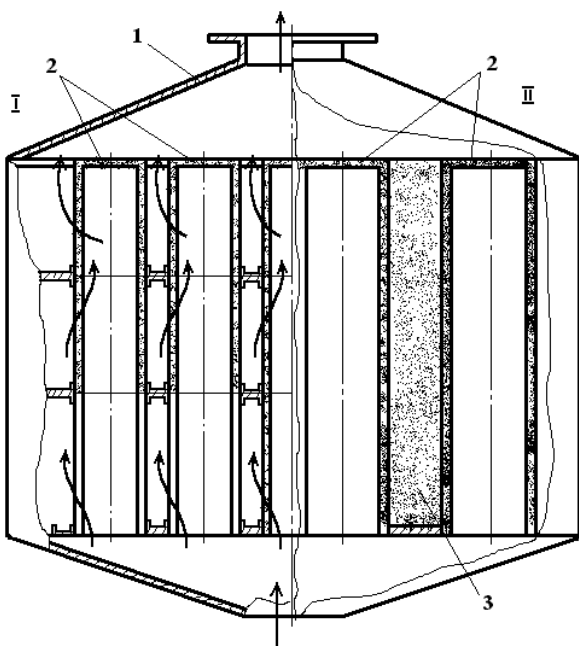


Рис. 2 – Базовый фильтр-нейтрализатор для газов нагревательных печей: 1 – корпус; 2 – блоки; 3 – катализатор

Таблица 1. Составы шихты для изготовления СВС – каталитических блоков очистки газов от твердых частиц и блоков тепловой изоляции

Компоненты шихты для изготовления блоков для фильтров очистки газов и блоков тепловой изоляции	Содержание компонентов, в процентах по массе						
	Варианты для блоков очистки				Для блоков теплоизоляции		
	I	II	III	IV	V	VI	VII
Окалина стали	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5	47.5
Оксид хрома	18.0	18.0	18.0	18.0	17.7	17.8	17.9
Хром	5.0	5.0	5.0	5.0	6.8	6.9	6.9
Никель	5.0	4.0	4.5	4.8	4.9	12.4	12.4
Алюминий	12.0	18.0	12.0	10.0	22.8	15.2	12.2
Титан	12.5	6.6	12.5	12.5	-	-	-
Медь	0.5	0.9	0.5	2.2	-	-	-

В главе 3, посвященной моделированию процессов фильтрации отработавших газов химических производств и дизельных агрегатов, рассмотрено состояние отработавших газов на входе в пористый проницаемый фильтр, рассмотрены процессы течения газов через пористую перегородку, противодавления, создаваемые при очистке газов.

На основе предварительных испытаний показано, что противодавления, создаваемые при очистке газов в пористых фильтрах, хорошо описываются выражением:

$$\Delta P = \frac{817\mu_{ог}\overline{v_{ог}}(1-n_{тч})}{d_{тч}^2 \cdot n_{тч}} (0.82 \cdot 10^6 d_{тч}^{0.25} n_{фм} (1-n_{тч})^{2/3} n_0 + v_{ог} t_p K_d / \rho_{тч}) \quad (1)$$

где $v_{ог}$ – средняя скорость отработавших газов, м/с; $d_{тч}$ – средний диаметр твердых частиц, ; $n_{тч}$ – пористость твердых частиц, ; $n_{фм}$ – пористость фильтрующего материала, ; $\rho_{тч}$ – плотность твердых частиц, кг/м³; t_p – время между регенерациями фильтра, ч; $\mu_{ог}$ – динамическая вязкость отработавших газов, ; n_0 – число твердых частиц в м³ газа; K_d – показатель дымности отработавших газов по оптическому дымомеру.

Суммарное противодавление, создаваемое фильтром твердых частиц можно представить как сумму противодавлений, создаваемых отдельными ступенями очистки:

$$\Delta P = \Delta P_I + \Delta P_{II} + \Delta P_{III} + \dots + \Delta P_J, \text{ МПа}, \quad (2)$$

рассмотрение газодинамики внутри пористой стенки базируется на двух моделях: законе Дарси при низких числах Рейнольдса и двухчленном уравнении Эргана – при высоких числах Рейнольдса, связывающих ΔP со среднерасходной скоростью внутри пористого слоя [22]:

$$\Delta P / \delta_{ст} = \frac{150\mu_{ог}\overline{v_{ог}}(1-n_{фм})^2}{n_{фм}^3 \cdot d_з} + \frac{1.75\rho_{ог}\overline{v_{ог}^2}(1-n_{фм})}{n_{фм}^3 \cdot d_з}, \quad (3)$$

где $\Delta P / \delta_{ст}$ – полный перепад давления на толщине стенки $\delta_{ст}$; $\overline{v_{ог}}$, $\rho_{ог}$, $\mu_{ог}$ – соответственно расходная скорость газа в поре, плотность и динамическая вязкость газов; $n_{фм}$ – пористость; $d_з$ – диаметр зерна.

Уравнение Новье-Стокса и уравнение неразрывности для зернистого слоя, где координата z направлена по направлению расходной скорости, представляется в виде:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U_x}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_x}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_x}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(\frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial U_y}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_y}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_y}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_y}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial y} + \nu \left(\frac{\partial^2 U_y}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_y}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U_y}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial U_z}{\partial t} + U_x \frac{\partial U_z}{\partial x} + U_y \frac{\partial U_z}{\partial y} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(\frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \right).\end{aligned}\quad (4)$$

Уравнение неразрывности запишется следующим образом:

$$\frac{\partial U_x}{\partial x} + \frac{\partial U_y}{\partial y} + \frac{\partial U_z}{\partial z} = 0, \quad (5)$$

Из симметрии физической картины течения следует, что

$$U_x = U_y; \quad \frac{\partial U_z}{\partial x} = \frac{\partial U_z}{\partial y} \quad (6)$$

С учетом вышеприведенных соотношений можно переписать в другом виде:

$$\begin{aligned}\frac{\partial U_x}{\partial t} + 2 \cdot U_x \frac{\partial U_x}{\partial x} + U_z \frac{\partial U_x}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \left(2 \frac{\partial^2 U_x}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_x}{\partial z^2} \right), \\ \frac{\partial U_z}{\partial t} + 2 \cdot U_x \frac{\partial U_z}{\partial x} + U_z \frac{\partial U_z}{\partial z} &= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \left(2 \frac{\partial^2 U_z}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 U_z}{\partial z^2} \right).\end{aligned}\quad (7)$$

Решение системы найдено в виде стоячих волн, а окончательно уравнение Эргана получило вид:

$$\Delta P / \delta_{ст} = \frac{178 \mu_{ог} \overline{v_{ог}} (1 - n_{фм})^2}{n_{фм}^3 \cdot d_{ш}^2} + \frac{1.5 \rho_{ог} \overline{v_{ог}}^2 (1 - n_{фм})}{n_{фм}^3 \cdot d_{ш}} \quad (8)$$

Последнее выражение, как наиболее верно описывающее явление оказалось удобным при расчете толщины стенки пористого СВС-фильтра. Нами, при условии выполнения ограничений по противодавлениям, получено выражение:

$$\Delta P_j = \frac{K_k \delta_{ст} \mu_{т} v_{ог} (1 - n_{фм}) (2.4 - \ln Re_j)}{F_6 n_{фм} r (2 - \ln Re_j)}, \text{ МПа} \quad (9)$$

Это выражение можно использовать с условием создания допустимых противодавлений выпуску фильтрами нескольких ступеней j очистки.

Температурное состояние фильтров можно определить, исходя из расчета температур, по участкам, обозначенным на рис.2.1, с учетом

отвода тепла через стенки и подвода с отработавшими газами и за счет доокисления продуктов неполного сгорания:

$$T_{pj} = T_{lj} + (M_{or} \cdot H_{CO} (C_{CO}^{1j} - C_{CO}^{2j}) + H_{TЧ} (C_{TЧ}^{1j} - C_{TЧ}^{2j}) + H_{CH} (C_{CH}^{1j} - C_{CH}^{2j})) - \frac{\frac{dQ_w}{dt} \tau_{pj}}{c_{pj} \cdot M_{or}} \quad (10)$$

где по участкам $c_{pj} = \frac{P_j}{R \cdot T_j}$, кДж/кг·К; $M_{or} = \frac{\omega_{pj} \cdot \rho_{or}}{\mu_{or}}$; $\tau_{pj} = \frac{\omega_{jp}}{V_{or}}$; $\frac{dQ_w}{dt} = \alpha_T F_{pj} (T_j - T_{wj})$, кДж/с;

$$\alpha_T = \text{Вт/м}^2/\text{с}.$$

Общее количество тепла, теряемое 1 м² поверхности корпуса фильтра путем лучеиспускания и конвекции можно рассчитать по выражению:

$$Q_w = K_{ли} \left(\left(\frac{T_{пк}}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_0}{100} \right)^4 \right) + K_{ф} (T_{пк} - T_0)^{1.23}, \quad (11)$$

где $T_{пк}$ – температура поверхности стального корпуса, К; T_0 – температура окружающей среды, К; $K_{ли}$ – константа лучеиспускания, для листовой стали $K_{ли}=2.8$; $K_{ф}$ – конвективный фактор, для средних атмосферных условий $K_{ф}=3.5$.

Это же выражение можно использовать для оценки потери тепла на каждом из рассматриваемых участков.

Часовые выбросы с отработавшими газами продуктов неполного сгорания рассчитываются по выражению:

$$M_f = \frac{V_{or} \cdot \Delta C_f}{1000}, \text{ кг/ч},$$

Теплота, получаемая вследствие сгорания СО, СН, ТЧ определяется:

$$\begin{aligned} Q_{CH} &= M_{CH} \cdot H_{CH} = 50034 \cdot M_{CH}, \text{ кДж/ч;} \\ Q_{TЧ} &= M_{TЧ} \cdot H_{TЧ} = 34034 \cdot M_{TЧ}, \text{ кДж/ч;} \\ Q_{CO} &= M_{CO} \cdot H_{CO} = 10091 \cdot M_{CO}, \text{ кДж/ч;} \end{aligned} \quad (12)$$

Учет действительного теплового состояния фильтрующих блоков дает возможность рассчитывать скорости выгорания сажи на поверхности фильтров, используя реакции:



Скорости этих реакций зависят от температуры, а константы скоростей имеют вид:

$$K_{+1} = 1.085 \cdot 10^6 P_{O_2} \cdot T^{-0.5} \cdot \exp\left(-\frac{164500}{R \cdot T}\right), \quad (14)$$

$$K_{+2} = 14.3 \cdot 10^{-4} P_{O_2} \cdot T^{-0.5} \cdot \exp\left(-\frac{93660}{R \cdot T}\right), \quad (15)$$

$$K_{+3} = 1.0125 \cdot \left(\frac{P_{H_2O} \cdot P_{CO_2}}{P_{H_2} \cdot P_{CO}}\right)^{0.5} \cdot \exp\left(-\frac{58200}{R \cdot T}\right), \quad (16)$$

На основе выражений, представленных выше, был разработан программный комплекс для моделирования процессов течения газов через пористую проницаемую стенку. Результаты расчетов позволили определить как площадь поверхности фильтрующих элементов, так и их геометрические характеристики.

В главе 4 описаны результаты экспериментальной оценки эффективности применения пористых проницаемых СВС-блоков для очистки отработавших газов. На рис.3 показано влияние пористых СВС-материалов на извилистость пор и эффективность очистки от твердых частиц.

Показана сравнительная эффективность очистки газов в пористых фильтрах (рис.4):

- сотовых керамических;
- монолитных керамических;
- полых керамических;
- пористых керамических из кордирита $2MgO \cdot 2Al_2O_3 \cdot 5SiO_2$;

в фильтрах из волокнистых материалов:

- волокнистой композиции, пропитанной термореактивной смолой;
- кварцевых волокон в виде намотки нитью;
- алюминиевых волокон с микрокристаллической структурой;
- базальтовых волокон.

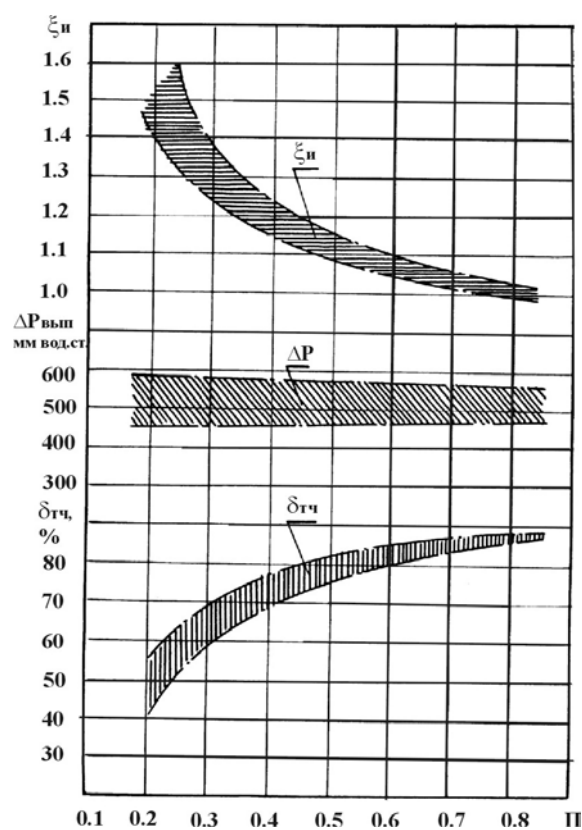


Рис. 3 – Влияние пористости СВС-материала на извилистость пор и эффективность очистки пазов от твердых частиц

Наряду с указанными были апробированы фильтры с намоткой стальной проволокой, алюминиевой проволокой и углеродистой нитью с перекрестной намоткой.

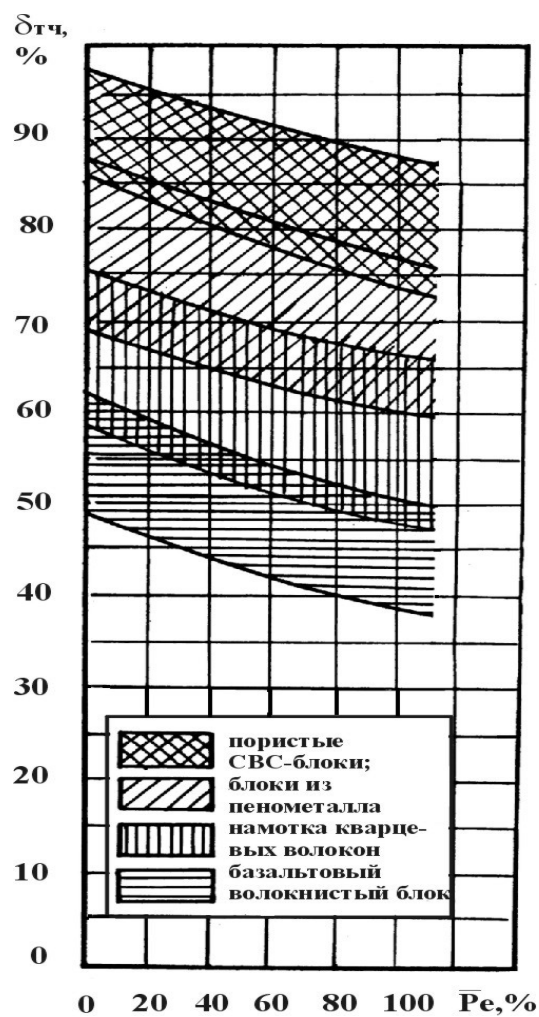


Рис. 4 — Эффективность снижения выбросов твердых частиц при использовании различных фильтрующих материалов

Представлена оценка реализации раздельной очистки газов в СВС-фильтрах. Конструкция такого фильтра представлена на рис.5.

Определена эффективность пламягашения в пористых СВС-фильтрах.

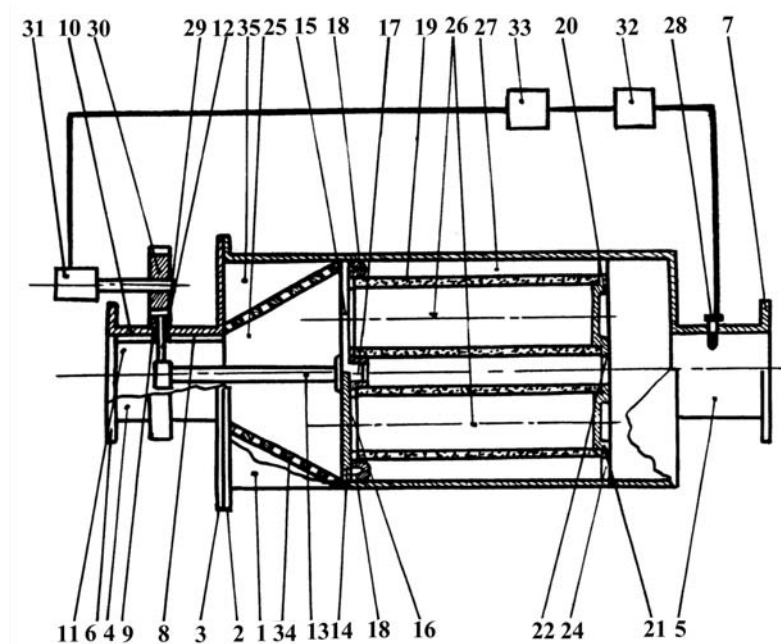


Рис. 5 – Конструкция фильтра для очистки отработавших газов дизелей от твердых частиц по фракциям с автоматическим управлением режимами очистки

ОБЩИЕ ВЫВООДЫ

В результате проведённых исследований по снижению выбросов твердых частиц с отработавшими газами химических производств и дизельных агрегатов методом фильтрации в пористых проницаемых материалах, полученных из отходов машиностроения и цветной металлургии технологией самораспространяющегося высокотемпературного синтеза, можно сделать следующие выводы:

1. Созданные металлокерамические фильтры для очистки отработавших газов печей химических производств и дизельных агрегатов с использованием пористых проницаемых СВС-материалов, полученных из отходов машиностроения и цветной металлургии, обеспечивающие эффективность очистки твёрдых частиц 75, 80 и 90 % при одно-, двух- и трехступенчатой очистке соответственно, что позволяет выполнять требования ПДВ для предприятий химической промышленности и стандарта ЕВРО-3 для дизелей;

2. Разработанная математическая модель фильтрации через пористую перегородку позволяет на стадии проектирования решать задачи подбора пористости, механической прочности, эффективности очистки, геометрических размеров фильтров при заданных ограничениях по создаваемым противодавлениям отработавших газов.

3. Созданные пористые металлокерамические фильтры обеспечивают периодическую регенерацию прочность на сжатие до 150 МПа и виброустойчивость до трёх часов при частоте 150 Гц.

4. Фильтры создают противодавление на выпуске из печей химической промышленности в пределах от 2,6 до 2,8 кПа, что позволяет обеспечивать полноту сгорания при малом дутье в нагревательных печах и для дизелей в пределах 5,88...6,37 кПа, что позволяет сохранить топливную экономичность в пределах $218^{+3} \text{ Г/(кВт*ч)}$;

5. Установлено, что в виду высокой извилистости и внутренней гребенчатой лабиринтной структуры пор, СВС-материалы захватывают твёрдые частицы по размерам в 9-13 раз меньше средних диаметров пор;

6. Установлено, что пористые проницаемые СВС-материалы при добавлении никеля, хрома, меди, иридия и родия приобретают каталитические свойства, что позволяет при температурах 720-790К снижать выбросы оксидов азота на 60-65%, углеводородов суммарно на 70-75%, оксида углерода на 75-80%;

7. Распределение твердых частиц по размерам средних диаметров в отработавших газах технологических печей химических производств и дизельных агрегатов зависит от параметров эксплуатации, избытка окислителя в зоне горения и функционально связаны с тепловой напряженностью печей и дизелей;

8. В целях повышения эффективности очистки отработавших газов от твёрдых частиц до 90% и выше на всех режимах эксплуатации и создания минимальных противодавлений на выпуске, увеличения периода между

процессами регенерации фильтров рекомендуется использовать раздельную по фракциям очистку;

9. В целях унификации фильтров рекомендуется их производство с толщиной стенки 10-12 мм и, в зависимости от расхода отработавших газов, вести комплектацию различных фильтров, как в химической промышленности, так и на транспорте, из одних типоразмеров фильтрующих минералокерамических каталитических блоков.

Список опубликованных работ по теме диссертации:

1. Пролубников В.И., Евстигнеев В.В., Рахманов В.И., Гончаров В.Д.

Освоение серийного производства пористых изделий на основе технологии активированного спекания./ Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Материалы и технологии. – Новосибирск: Наука, 2001. – С.37-39:

2. Пролубников В.И., Красов В.Н., Евстигнеев В.В., Тубалов Н.П., Лебедева О.А., Филиппов Г.Ю.

Изучение некоторых свойств материала СВС-фильтров, изготовленных на основе окалина стали./ Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Материалы и технологии. – Новосибирск: Наука, 2001. – С.40-43:

3. Пролубников В.И., Лебедева О.А., Тубалов Н.П., Евстигнеев В.В., Красов В.Н.

Разработка промышленных фильтров на основе отходов машиностроения./ Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: материалы и технологии. – Новосибирск: Наука, 2001. – с. 44-47

4. Пролубников В.И., Белов В.М., Гончаров С.А., Лукьянцева М.В.

Алгоритм прямоугольника в методе центра неопределенностей при абсолютно точном измерении входной и неточном измерении выходной

переменных./ Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: Материалы и технологии. – Новосибирск: Наука, 2001. – С. 255-263

5. Пролубников В.И., Новоселов А.Л., Тубалов Н.П.

Совершенствование очистки отработавших газов дизелей на основе СВС-материалов. – Новосибирск: Наука, 2001. – 296с.

6. Пролубников В.И., Тубалов Н.П., Унгефук А.В., Лебедева О.А., Мельберт А.А.

Эффективность фильтров для очистки отработавших газов дизелей.// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. статей/ Под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С.99-103

7. Пролубников В.И., Новоселов А.Л., Унгефук А.В., Яковлев В.И., Ковшов С.В.

Распределение твердых частиц в отработавших газах дизелей по размерам// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. статей/ Под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С.104-110

8. Пролубников В.И., Евстигнеев В.В., Лебедева О.А. Структура и характеристик пористых СВС-фильтров.// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. статей/ Под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С.111-115

9. Пролубников В.И. Новоселов А.Л., Мельберт А.А., Коробов В.В.

Реализация раздельной очистки отработавших газов дизелей от твердых частиц в СВС-фильтрах.// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. статей/ Под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С.116-120

10. Пролубников В.И., Мельберт А.А., Коробов В.В.

Некоторые результаты испытаний фильтров твердых частиц с пористыми СВС-блоками.// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. статей/ Под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С.129-132

11. Пролубников В.И., Тубалов Н.П., Светашев Д.В., Пугач Р.А., Кибеков Е.И.

Процессы фильтрации отработавших газов дизелей от твердых частиц.// Повышение экологической безопасности автотракторной техники: Сб. статей/ Под ред. д.т.н., проф. А.Л. Новоселова/ Российская академия транспорта, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С.133-142