

6. Смайлис В.И. Малотоксичные дизели. – Л.: Машиностроение, 1972. – 128 с.
7. Еськов А.В. Приборы и методы оптического контроля параметров распыления топлива дизельными форсунками. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2007. – 92 с.
8. Бразовский В.В., Вагнер В.А., Евстигнеев В.В., Еськов А.В., Продубников В.И., Тубалов Н.П. Голографический метод исследования дисперсного состава аэрозоля // Горизонты образования. – 2006. – Вып. 8. – С. 1–9.
9. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. – Харьков: Вища школа, 1980. – 170 с.

Поступила 30.09.2009 г.

УДК 621.43:068.4

КОНТРОЛЬ ПАРАМЕТРОВ ПРОДУКТОВ СГОРАНИЯ В ФИЛЬТРАЦИОННЫХ УСТАНОВКАХ

В.К. Кулешов, В.В. Бразовский, В.А. Баранов

Томский политехнический университет
E-mail: altaikompozit@mail.ru

Исследованы параметры отработавших газов дизельного двигателя в полостях фильтров методом многоканального зондирования. Регистрация параметров сажи осуществлялась голографической установкой, кроме того проводилось измерения температуры и химического состава газов в местах контроля с последующей компьютерной обработкой результатов. Установлено, что на процесс фильтрования частиц оказывает существенное влияние избыток окислителя в реакторе фильтра, противодействие на выпуск и пористость фильтров, а после них повышается температура отработанных газов, что свидетельствует о протекании экзотермических реакций в пористой стенке.

Ключевые слова:

Цифровая голография, фильтрация отработанных газов, гистограмма, распределение частиц, приборный комплекс, контроль параметров твердых частиц, дисперсный поток.

Key words:

Digital holography, exhaust gas filtration, histogram, particle distribution, instrument set, control of solid particle parameters, disperse flow.

Введение

Состав продуктов сгорания углеводородных топлив насчитывает более 1200 компонентов. Из них в настоящее время нормируются стандартами только оксид углерода, оксид азота, углеводороды и твердые частицы. В понятие «твердые частицы», кроме сажевых частиц, включаются частицы топлива, масел, твердые органически нерастворимые и органически растворимые фракции продуктов разложения углеводородов, сульфиты воды. Дизели выбрасывают в окружающую среду с отработанными газами значительное количество твердых частиц сажи, являющихся абсорбентом для полициклических ароматических углеводородов, часть из которых обладает канцерогенными свойствами [1–3]. Твердые частицы при сгорании углеводородных топлив имеют различную дисперсность. Дисперсность существенно зависит от условий и режимов сжигания топлив. Дизельная сажа не является чистым углеродом и содержит водород, кислород, летучие, зольные, коксовые соединения. Удельная поверхность сажи значительна и может достигать 300 м²/г. В отработанных газах сажа находится в виде образований неправильной формы с линейными размерами от 0,3 до 100 мкм, зависящими от режима эксплуатации дизеля. Дизельная сажа склонна к образованию конгломератов, содержащих от сотен до тысяч частиц, отличающихся значительной

прочностью. Частица диаметром около 10 мкм, например, имеет массу порядка 10⁻¹⁰ мг [4]. Это позволяет частице сажи длительное время находиться в атмосфере во взвешенном состоянии.

При контроле эффективности очистки сажи в отработавших газах необходимо учитывать тот факт, что возможно неравномерное распределение сажи по сечению выпускного коллектора, а также по полостям фильтрационной системы. Учитывая это обстоятельство, становится актуальным производить многоканальные исследования полостей фильтрационных систем. Это необходимо для понимания процессов, происходящих при очистке, и выработки оптимальных параметров фильтрации.

Стенд многоканального контроля полостей каталитического нейтрализатора

Поскольку спектр выбросов отработанных газов очень широк и зависит как от режима работы двигателя, так и от состава топлива и присадок к нему, методы исследования качественного и количественного состава выбросов чрезвычайно разнообразны [4]. Для данного исследования применен приборный комплекс измерения дисперсности конденсированной фазы отработанных газов [5], в котором регистрация сажи осуществляется методом цифровой голографии [6].

Созданный экспериментальный комплекс представляет собой установку, включающую источник газов (дизельный двигатель КамАЗ-740, соединенный муфтой с балансирной машиной), съемные системы фильтрации со встроенными зондами и установку голографического контроля параметров сажи.

Через зонды, вмонтированные в полости каталитического нейтрализатора, отработанные газы через многопозиционный кран по гибкому подводу поступают к предметной области голографической установки. В установке также проводились измерения температуры и химического состава газов в местах контроля.

Для обеспечения многоканального продольного индицирования нейтрализаторов и сажевых фильтров в конструкции последних были внесены изменения, не влияющие на физико-химические процессы. На рис. 1 представлена схема многоканального зондирования полостей сажевых фильтров для очистки газов.

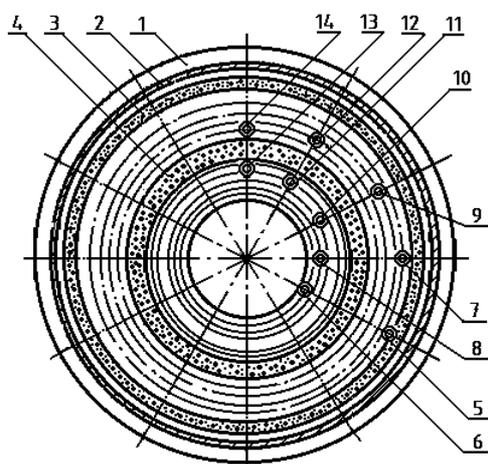


Рис. 1. Расположение каналов продольного зондирования реактора нейтрализатора: 1) фланец; 2) корпус; 3) блок изоляции; 4) каталитический блок; 5, 7, 9, 12, 14) каналы зондирования внешней полости реактора; 6, 8, 10, 11, 13) каналы зондирования внутренней полости реактора фильтра

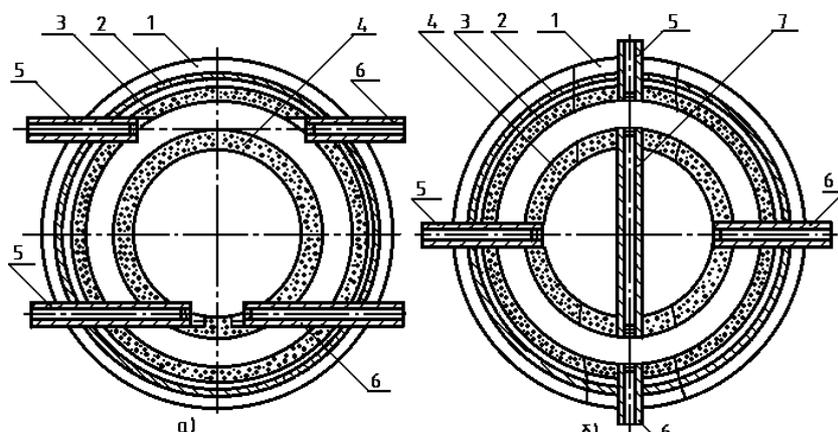


Рис. 2. Поперечные разрезы нейтрализатора: а) в пристеночных областях фильтрующего блока; б) в центральных областях реактора. Обозначения: 1) фланец; 2) корпус; 3) теплоизолирующий блок; 4) внутренний фильтрующий блок; 5, 6) зонды; 7) промежуточный канал

Отработанные газы подводились к фильтру, со стороны входа газов в торцевой крышке устанавливались зонды для отбора части газов, соединенные с установкой голографического контроля дисперсного состава, в шести отверстиях, смещенных относительно друг друга на 45° от осевой в продольной плоскости и сдвинутых радиально последовательно на диаметр отверстия (рис. 1).

Зондирование предусматривалось и в поперечном направлении в двух сечениях (рис. 2).

Установка поворотных вертикальных зондов для отбора газов из полостей реактора фильтра с блоками, изготовленными методом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза (СВС-блоками), представлена на рис. 3.

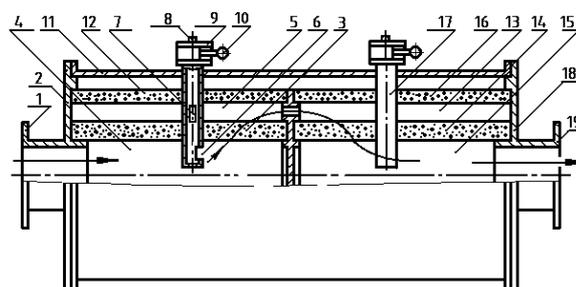


Рис. 3. Установка поворотных вертикальных зондов для отбора газов: 1) патрубок входа газов; 2) фланец; 3) пористый фильтр; 4) внутренняя полость реактора; 5) промежуточная полость; 6, 7) окна; 8) штуцер; 9) крышка отборника; 10) рычаг поворотный; 11) корпус; 12, 16) изолирующие блоки; 14) пористый блок; 15) выходная полость; 17) отборник; 18) фланец; 19) патрубок

Результаты экспериментов

Результаты исследования приведены на рис. 5 и 6. Номера кривых соответствуют линиям зондирования.

В табл. 1 приведены сравнительные данные зондирования полостей каталитических нейтрализаторов и прямых измерений содержания твердых

частиц в полостях реактора, разделенных пористой проницаемой стенкой СВС-блока. Здесь же для оценки качества фильтрования приведено сравнение полученных результатов.

Из табл. 1 видно, что отношение площади фильтра F_{ϕ} к расходу газов V_{or} , характеризующая напор конденсированной фазы на пористую фильтрующую перегородку, в значительной степени влияет на качество очистки газов. Данные оптического зондирования полостей реактора подтверждаются результатами прямых измерений.

При отборе газов через реакторы наблюдалось присутствие частиц размером до 36 мкм, а наибольшее количество – от 4 до 8 мкм.

Таблица 1. Влияние относительной площади фильтра на качество очистки отработавших газов со содержанием частиц $0,185 \text{ г/м}^3$

Относительная площадь фильтра, $\times 10^4 \text{ м}^2/(\text{м}^3/\text{ч})$	Данные зондирования		Прямые измерения
	Твердые частицы после фильтра, г/м^3	Температура: до фильтра/после фильтра, К	
1,63	0,130	800/860	0,130
1,82	0,128	780/840	0,130
2,13	0,126	700/770	0,125
2,46	0,120	580/650	0,120

Увеличение F_{ϕ}/V_{or} с $1,63 \cdot 10^{-4}$ до $2,46 \cdot 10^{-4}$ приводит к изменению размеров твердых частиц. Если в первом случае преобладают частицы с размером до 8 мкм и наибольшая их доля составляет 5 %, то во втором случае – преобладают частицы от 2 до 10 мкм и доля частиц 4...6 мкм составляет 1...6 %.

В табл. 2 и 3 приведены сравнительные данные зондирования полостей каталитических нейтрализаторов и прямых измерений содержания твердых частиц в полостях реактора, разделенных пористой проницаемой стенкой СВС-блока. Здесь же для оценки качества фильтрования приведено сравнение полученных результатов.

Таблица 2. Влияние среднего диаметра пор на качество очистки отработавших газов с содержанием частиц $0,15 \text{ г/м}^3$ при продольном зондировании

Средний приведенный диаметр пор, мкм	Данные зондирования		Прямые измерения
	Твердые частицы после фильтра, г/м^3	Температура: до фильтра/после фильтра, К	
120	0,015	780/820	0,018
150	0,036		0,040
180	0,050		0,050
240	0,060		0,060

Из табл. 2 видно, что при увеличении среднего приведенного диаметра пор d_n СВС-блоков со 120 до 240 мкм качество очистки от твердых частиц снижается с 90 до 57 %. Необходимо сказать, что при $d_n=120$ мкм увеличивается противодавление, создаваемое фильтром при прочих равных усло-

виях. Одним из путей сохранения высокого качества очистки является создание мелкопористых фильтров с большой площадью поверхностей F_{ϕ} .

Результаты исследования концентраций твердых частиц в полостях реактора нейтрализатора приведены на рис. 4. Номера кривых соответствуют линиям зондирования.

Анализ обработки результатов зондирования фильтров говорит о том, что уменьшение диаметра пор позволяет после фильтра иметь в составе газов твердые частицы до 8 мкм, но с долей их содержания не более 4 %, что свидетельствует о высоком качестве очистки.

При отборе газов из реактора после фильтров обнаружено, что при пористости $\Pi=0,37$ в конденсированной фазе содержится до 1 % частиц размером 2 мкм, до 3 % – 4 мкм, до 2 % – 8 мкм.

При увеличении пористости фильтров до $\Pi=0,5$ в конденсированной фазе содержится до 2 % частиц размером 2 мкм, до 6 % частиц размером 6 мкм и до 6 % частиц размером 8 мкм.

Таблица 3. Влияние пористости материала на качество очистки отработавших газов с содержанием частиц $0,15 \text{ г/м}^3$

Пористость материала	Данные зондирования		Прямые измерения
	Твердые частицы после фильтра, г/м^3	Температура: до фильтра/после фильтра, К	
0,20	0,070	780/790	0,07
0,37	0,052	785/805	0,05
0,50	0,031	790/810	0,03
0,72	0,015	800/850	0,01

Результаты поперечного зондирования реакторов сажевых фильтров

При изучении влияния диаметра пор на дисперсность твердых частиц в конденсированной фазе отработанных газов для установления идентификации результатов измерений было осуществлено и поперечное зондирование измерений полостей реактора.

В табл. 4 приведены сравнительные данные зондирования полостей каталитических нейтрализаторов и прямых измерений содержания твердых частиц в полостях реактора, разделенных пористой проницаемой стенкой СВС-блока. Здесь же для оценки качества фильтрования приведено сравнение полученных результатов. На рис. 5 приведено распределение твердых частиц по размерам средних приведенных диаметров.

Температура отработанных газов и концентрация твердых частиц в сечениях 1-1, 2-2 не зависит от среднего приведенного диаметра пор и находится в пределах $T_{or}=780...790 \text{ К}$, $C_{тн}=168 \text{ г/м}^3$. В сечениях 3-3 и 4-4 температура отработанных газов меняется от 780 до 850 К, а концентрация твердых частиц увеличивается с $0,02$ до $0,08 \text{ г/м}^3$ при росте среднего

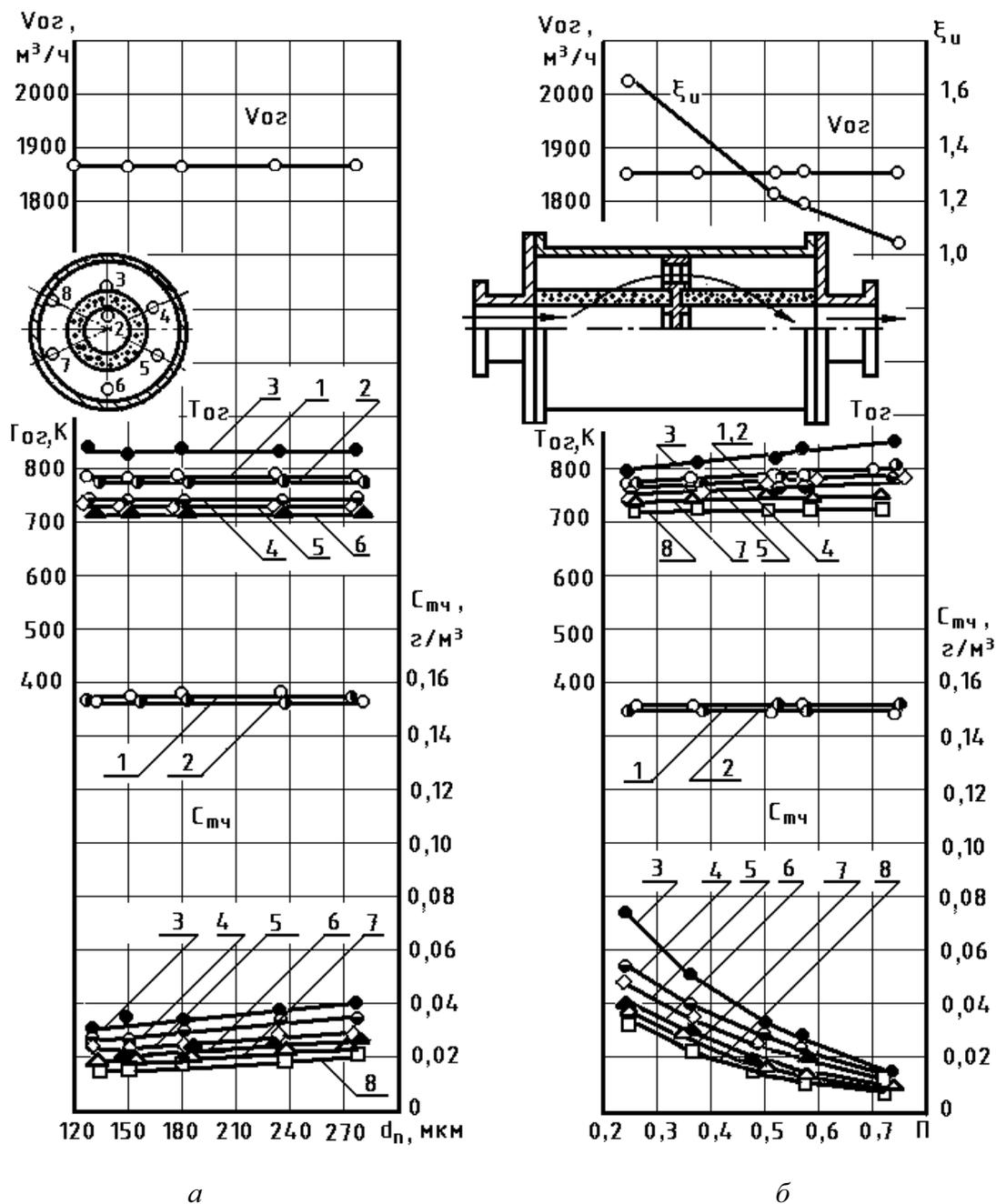


Рис. 4. Влияние параметров фильтра на качество очистки газов от твердых частиц: а) среднего диаметра пор; б) пористости и извилистости пор. ξ_u – извилистость пор; $C_{mч}$ – концентрация частиц

приведенного диаметра пор с 120 до 270 μm (рис. 5, табл. 4). Таким образом, с изменением среднего приведенного диаметра пор с 270 до 120 μm , концентрация твердых частиц, прошедших через фильтр, уменьшается более чем в четыре раза.

Из данных табл. 4 видно, что результаты оптического зондирования соответствуют данным прямым измерениям.

Анализ графиков рис. 5, а, и табл. 4 говорит о том, что поперечное зондирование можно применять так же успешно, как и продольное.

Таблица 4. Влияние среднего диаметра пор на качество очистки отработавших газов с содержанием частиц $0,17 \text{ г}/\text{м}^3$ при поперечном зондировании

Средний диаметр пор, мкм	Данные зондирования		Прямые измерения
	Твердые частицы после фильтра, по сечениям 3-3/4-4, $\text{г}/\text{м}^3$	Температура: до фильтра/после фильтра, К	
120	0,022/0,020	780/790	0,02
180	0,042/0,038	785/805	0,04
240	0,067/0,060	790/810	0,06
270	0,086/0,080	800/850	0,08

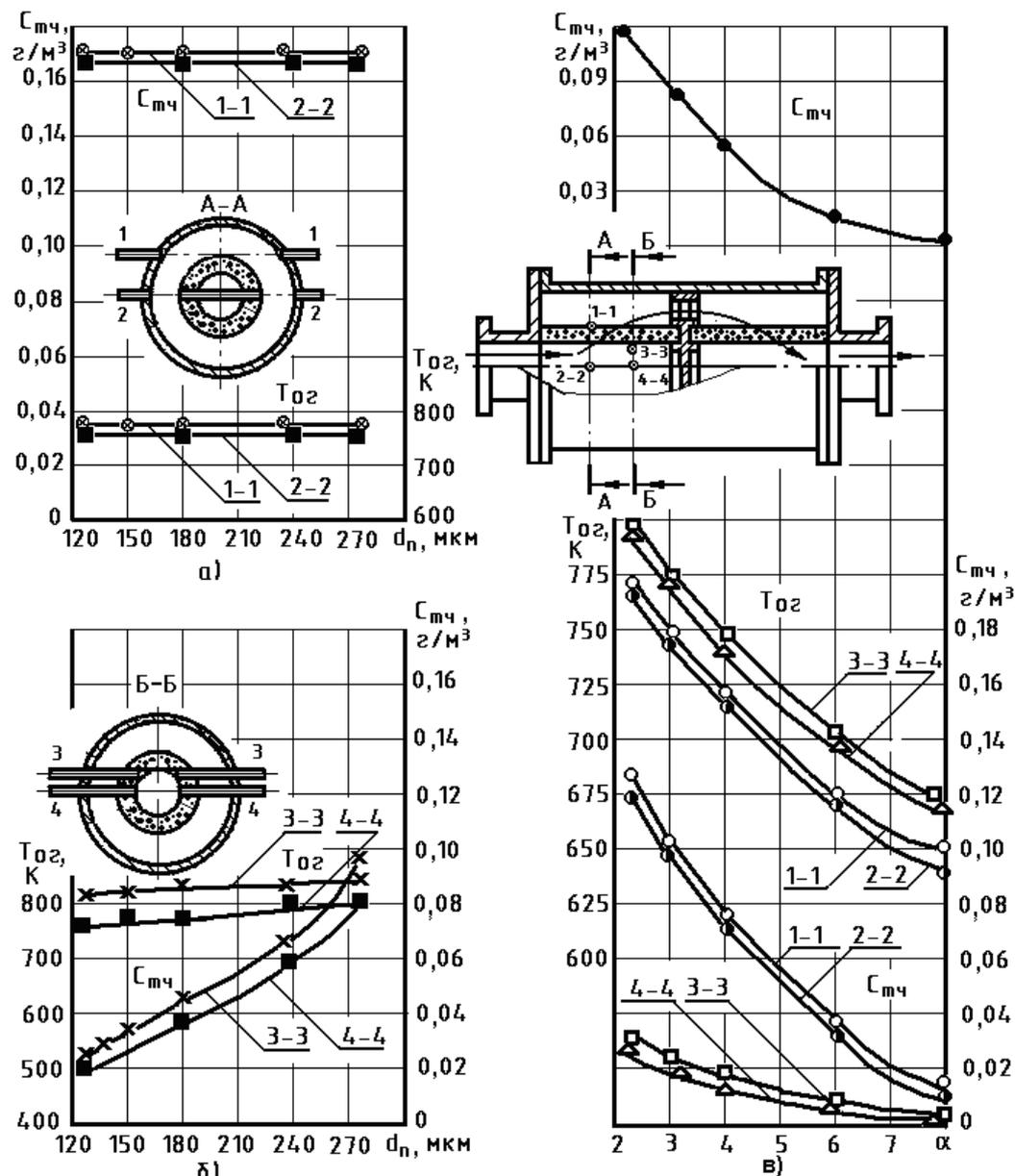


Рис. 5. Влияние параметров фильтра на качество очистки газов от твердых частиц при поперечном зондировании: а), б) среднего диаметра пор при контроле различных полостей; в) коэффициента избытка воздуха α

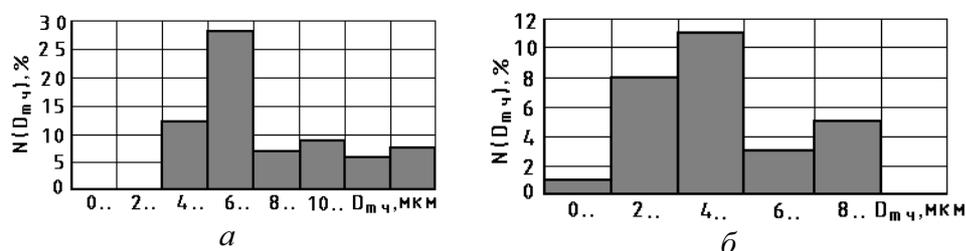


Рис. 6. Характер распределения твердых частиц при поперечном зондировании при $d_n=150$ мкм, $n=1900$ мин⁻¹, мощность дилезя=189 кВт по средним приведенным диаметрам: а) до СВС-фильтра; б) после СВС-фильтра. $D_{мч}$ – средний размер твердых частиц; $N(D_{мч})$ – содержание частиц

Сравнивая данные, полученные после СВС-фильтра (рис. 6), можно отметить, что при прохождении через фильтр доля частиц со средним размером

4 мкм остается прежней, доля частиц со средним размером 6 мкм снижается с 28 до 3 %. Содержание частиц с размером свыше 10 мкм не отмечается.

Выводы

1. Методом многоканального двухкоординатного зондирования установлено, что на процесс фильтрования частиц оказывает влияние избыток окислителя в реакторе фильтра. По данным зондирования и прямых измерений при увеличении избытка воздуха в реакторе фильтра с 2,2 до 7,3 температура после фильтра повышается на 25...52°, что свидетельствует о протекании экзотермических реакций в пористой стенке фильтра.
2. Показано, что средний приведенный диаметр пор СВС-материалов не характеризует в полной

мере фильтрующие свойства, а внутренняя структура поверхности пор позволяет захватывать частицы со средними приведенными диаметрами, меньшими на 1...1,5 порядка по размеру.

3. Рост относительной площади фильтра, при постоянных показателях пористости и извилистости материала, в 1,5 раза приводит к повышению качества очистки всего на 3...5 %, а увеличение среднего приведенного диаметра пор в СВС-материале со 120 до 240 мкм приводит к снижению качества очистки конденсированной фазы от твердых частиц в 4 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белинский Л.М. Теплоизлучение в камерах сгорания быстрого двигателя с воспламенением от сжатия // Труды НИИД. – М.: Машгиз, 1955. – № 1. – С. 83–113.
2. Лоскутов А.С. Исследование механизмов образования топливных окислов азота и сажи в цилиндре дизеля: Дис. ... канд. техн. наук. – Л.: ЛПИ, 1983. – 293 с.
3. Смайлис В.И. Современное состояние и новые проблемы экологии дизелестроения // Двигателестроение. – 1991. – № 1. – С. 3–6.
4. Бразовский В.В., Бразовская О.В., Бразовский В.Е. Приборы и методы исследования параметров дисперсного состава продуктов сгорания в ДВС. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ, 2008. – 124 с.
5. Бразовский В.В., Евстигнеев В.В., Кашкаров Г.М., Тубалов Н.П. Исследование методом цифровой голографии процессов очистки отработавших газов // Известия Томского политехнического университета. – 2008. – Т. 312. – № 3. – С. 107–112.
6. Бразовский В.В., Вагнер В.А., Евстигнеев В.В., Еськов А.В., Пролубников В.И., Тубалов Н.П. Голографический метод исследования дисперсного состава аэрозоля // Горизонты образования. – 2006. – Вып. 8. – С. 1–9.

Поступила 16.10.2009 г.

УДК 621.643.001:536.2

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ РЕЖИМОВ ТЕПЛОПРОВОДОВ В УСЛОВИЯХ УВЛАЖНЕНИЯ ИЗОЛЯЦИИ

В.С. Логинов, В.Ю. Половников, Д.К. Кравченко, Т.В. Рябичев

Томский политехнический университет
E-mail: polov@tpu.ru

Проведены экспериментальные исследования по определению тепловых потерь теплопровода в условиях затопления и времени сушки тепловой изоляции после осушения канала. Установлены масштабы тепловых потерь и определена длительность сушки изоляции теплопровода, эксплуатируемого в условиях увлажнения изоляции.

Ключевые слова:

Теплопровод, тепловая изоляция, затопление, тепловые потери, сушка.

Key words:

Heat pipeline, thermal insulation, flooding, thermal loss, drying.

Введение

Исследование тепловых режимов работы теплопроводов, как в штатных, так и во внештатных условиях является актуальной задачей при анализе эффективности работы и создании энергосберегающих систем транспортировки тепла.

В настоящее время неоднократно отмечалось [1–4], что уровень тепловых потерь при транспортировке теплоносителя существенно превышает нормативные значения. Одним из основных фак-

торов [1–4], приводящим к увеличению тепловых потерь, является эксплуатация теплотрубопроводов в измененных термовлажностных условиях.

В последнее время типичной становится работа тепловых сетей [1–4] в условиях увлажнения изоляции. Подобные условия эксплуатации теплопроводов включают стадии: насыщение тепловой изоляции влагой, работа теплопровода с увлажненной изоляцией или в условиях затопления канала тепловой сети, а также сушка тепловой изоляции после удаления влаги из канального пространства.