

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ В СВС-БЛОКАХ

М.Л. Тихомиров, А.Л. Новоселов, А.А. Жуйкова, Е.Н. Титова

В статье приведены данные об устройстве экспериментального комплекса, включающего пилотную установку, для оценки одновременно нескольких вариантов каталитических нейтрализаторов для очистки отработавших газов от вредных веществ. Приведенный комплекс позволяет с одной установки каталитических блоков проводить испытания до 216 вариантов комплектаций каталитических нейтрализаторов.

The article presents the information about the arrangement of the experimental complex, including the pilot device, used for the simultaneous estimate of several catalyst converts cleaning the exhaust gases from harmful substances. The given complex allows a device to carry out up to 216 variants of catalyst converter kitting tests.

Созданный экспериментальный комплекс представляет собой установку, включающую источник газов (дизель), пилотную установку для одновременного проведения сравнительных испытаний различных СВС-материалов и приборное оснащение для сбора и обработки информации, обработки сочетаний различных СВС-фильтров.

Объектом исследования была определена эффективность каталитической и фильтровальной очистки газов. Источник газов был выбран по следующим причинам: доступности, компактности, автономности, возможности изменения состава отработавших газов. Пилотная установка предоставляет возможность сравнения 36 вариантов комплектаций пористыми проницаемыми СВС-каталитическими блоками.

Схема экспериментального комплекса представлена на рисунке 1. На подмоторной раме 1 на стойках 2 был смонтирован дизель 3 (КамАЗ-740), соединенный через муфту 4 с тормозным устройством 5 марки САК-670 с измерительной головкой марки «Rapido».

В систему охлаждения воды и масла входили напорный бак 7, водоводяной 8 и водомасляный 9 холодильники, соединенные соответственно с системой охлаждения и смазки и позволяющие поддерживать заданные температуры охлаждающей жидкости и масла при испытаниях.

Питание топливом осуществлялось от топливного бака 10 через автоматическое весовое устройство 11 марки Д-1 электромагнитный клапан 12.

Воздухоснабжение осуществлялось из бокса через газовый счетчик 13 марки РГ-1000 и ресивер 14. Контроль температуры воздуха на выпуске производился по показаниям электропотенциометра 16 марки ЭПП-09, соединенного с термопарой 17, установленной между ресивером 14 и впускным коллектором 18 дизеля. Разрежение воздуха на впуске регулировалось заслонкой 15 во впускном трубопроводе.

Программой экспериментальных исследований также предусматривалось снятие характеристик при различных температурах отработавших газов и их расходах одновременно для шести образцов на пилотной установке для оценки эффективности очистки отработавших газов дизеля в пористых проницаемых СВС-каталитических блоках, со всеми измерениями, предусмотренными ГОСТ 14846-81, ГОСТ Р 41.49-2003, ГОСТ Р 41.24-2003, ГОСТ Р 41.83-2004 при работе на топливе Л-0,2-40 согласно ГОСТ 305-82.

Продолжительность измерения расхода топлива составляла не менее 30 секунд. Измерения дымности, токсичности, температуры и давления отработавших газов производилось не менее шести раз на каждом из режимов одними и теми же приборами через распределительные колонки.

В программу испытаний входило снятие характеристик дизелей по 13-режимному испытательному циклу для определения удельных оценочных выбросов оксидов азота NO_x , оксида углерода CO , углеводородов C_xH_y и твердых частиц ТЧ .

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ В СВС-БЛОКАХ

Выбросы вредных веществ с отработавшими газами определялись по ГОСТ Р 41.83-2004. Дымность отработавших газов или выбросы твердых частиц определялись по ГОСТ Р 41.24-2003.

В начале и в конце выполнения программы испытаний снимались контрольные характеристики.

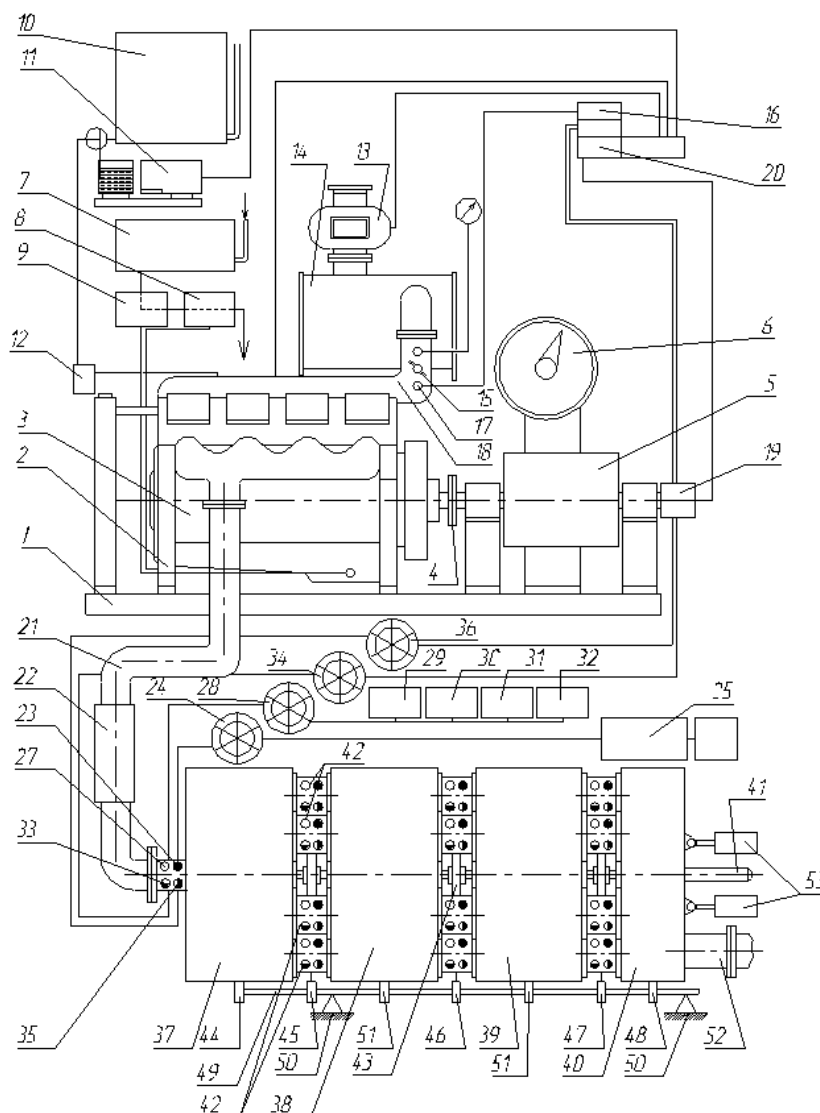


Рисунок 1 – Экспериментальный комплекс для оценки качества очистки газов в СВС-каталитических блоках

Частота вращения коленчатого вала контролировалась с помощью тахометра 19, установленного на валу тормозного устройства. Данные измерений выводились на приборы 20 пульта управления.

В выпускную трубу 21 после ресивера 22 устанавливался зонд 23 для отбора отработавших газов на анализ содержания твердых частиц. Он через холодильник и шестипозиционный переключатель 24 был соединен с дымомером 25 марки EFAW-65A

(производство фирмы «Bosch», Германия) и с измерительным прибором.

Газоотборник 27 посредством трубопроводов и шестипозиционного переключателя 28 был соединен с двухкомпонентным газоанализатором 29 с инфракрасным недисперсным детектором NDIR марки MEHA-312E (производства компании «Horiba», Япония) для определения концентрации оксида углерода (CO) в объемных процентах и углеводородов (к

C_6H_{14}) в ppm (чм), газоанализатором 30 с хемилюминисцентным детектором HCLD марки RS-325L (производства фирмы «Riken Keiki», Япония) для определения концентрации оксидов азота NO и NO_x в ppm в отработавших газах, газоанализатором 31 «Hartridge-904» (Великобритания) для определения концентрации CO в ppm, оптическим дымомером 32 марки «Hartridge».

Температуры отработавших газов на входе и выходе по каждой из секций контролировались термопарами 33 типа ХА и через шестипозиционный переключатель 34 регистрировались потенциометром. Давление газов на входе и выходе от датчиков давления 35 контролировались через шестипозиционный переключатель 36 по показаниям потенциометров.

Экспериментальная пилотная установка (рисунок 2) для оценки качества очистки газов в пористых проницаемых СВС-каталитических материалах представляла собой револьверную многопозиционную кон-

струкцию, состоящую из секции 37 фильтрующих материалов, секции 38 материалов для восстановления оксидов азота, секции 39 для доокисления продуктов неполного сгорания, секции 40 приема очищенных газов, смонтированных на общей оси 41 с промежуточными соединениями 42, оборудованными термопарами, датчиками давления газов и газоотборниками. Промежуточные соединения закреплены на крестовинах 43 и подвижны в продольном направлении относительно оси 41 и от вращения вокруг нее, как и секции 37 и 40, и все они удерживаются скользящими направляющими 44, 45, 46, 47 и 48 на штанге 49, смонтированной на опорах 50. Секции 38 и 39 являются поворотными вокруг оси 41, и на них установлены фиксаторы положения 51. После прохождения газов и их очистки они направляются через трубу 52 из секции 40 в систему выпуска.

На рисунке 2 приведено подробное устройство экспериментальной пилотной установки.

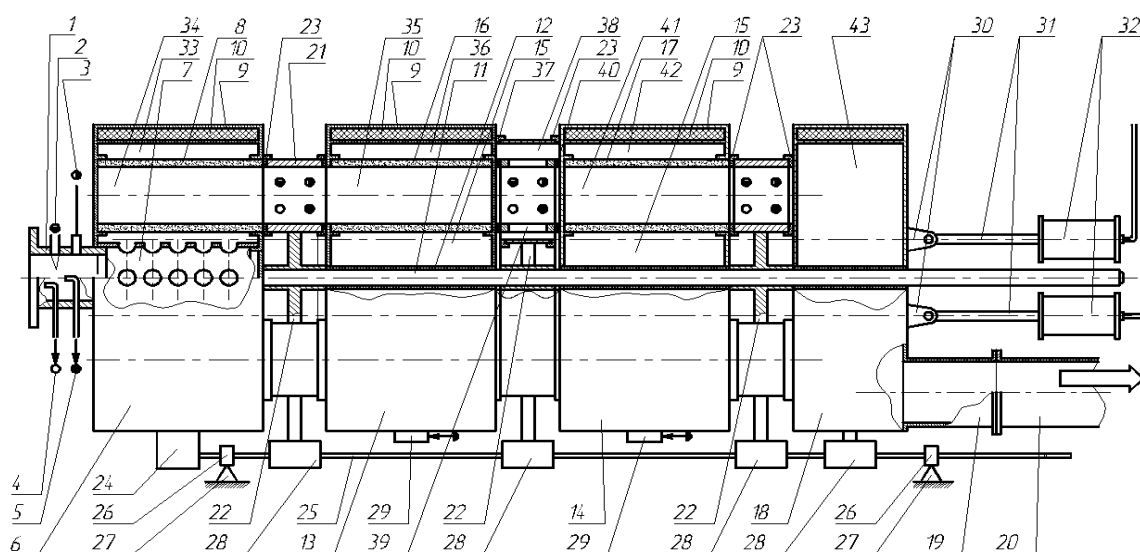


Рисунок 2 – Экспериментальная пилотная установка

Обозначение датчиков температуры, давления и газоотборников сохранены подобно обозначениям на рисунке 1. Газы от источника входят через патрубок 1, в котором установлены термопара 2, датчик давления 3 и газоотборники 4 и 5, поступают в секцию 6 с фильтрами для очистки от твердых частиц. В этой секции центрально установлена перфорированная трубка 7 и фильтрующие блоки 8 из пористого проницаемого каталитического СВС-материала. Наружные

стенки 9 всех секций выполнены двойными и между ними расположен теплоизолятор 10. Секции выполнены в виде барабанов. Общая ось 11 закреплена на секции 6 и проходит через втулки 12 в центрах секций. Секции 13 и 14 выполнены с внутренними разделительными перегородками 15, обеспечивающими движение газа по заданной траектории. В секции 13, предназначенной для восстановления оксидов азота, установлены пористые проницаемые восстановительные каталити-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ В СВС-БЛОКАХ

ческие СВС-блоки 16. В секции 14 установлены пористые проницаемые окислительные каталитические блоки 17. Каталитические блоки 16 и 17 и фильтрующие блоки 8 выполнены с различными сравниваемыми физико-химическими характеристиками. Секция 18 выполнена полый, оборудована выпускным патрубком, соединенным с системой выпуска 20.

Между секциями 6, 13, 14 и 18 установлены промежуточные соединения 21, закрепленные на скользящих крестовинах 22. В каждом из соединений установлены датчики давления, термопары и газоотборники. Промежуточные соединения уплотнены фторопластовыми кольцами 23. Секция 6 закреплена неподвижно элементом 24, на котором базируется направляющая штанга 25 во втулках 26 и на опорах 27. Направляющие втулки 28 промежуточных соединений и секций 13, 14, 18 являются скользящими относительно штанги 25. Секции 13 и 14 являются поворотными вокруг общей оси 11 и оснащены фиксаторами 29 установки положения. На секции 18 выполнены шарниры 30, соединенные через штоки 31 с пневмоцилиндрами 32.

Установка работает следующим образом. В секциях 6, 13, 14 установлено одновременно по шесть блоков. Путем поворотных секций 13 и 14 можно проводить испытания различных вариантов очистки. Отключение пневмоцилиндров 32 дает возможность перемещать секции 6 и 18 и промежуточные соединения продольно оси 11, а секции 13 и 14 как продольно, так и вращательно относительно оси 11.

Газы входят через патрубок 1 в перфорированную трубу 7, полость 33, фильтруются от твердых частиц, проходя через стенки блока 8, и попадают во внутреннюю полость 34. Затем проходят через промежуточное соединение 21, попадают во внутреннюю полость 35 блока 16, проходят через его пористые стенки и выходят во внешнюю полость 36, затем через окна 37 в стенках секции 13 выходят в полость 38 внутри промежуточного соединения 39, далее через окна 40 в стенках секции 14 выходят во внешнюю полость 42, затем через пористую стенку блока 17 входят во внутреннюю полость 41 и через промежуточное соединение отводятся в полость 43 секции 18, откуда очищенные газы через патрубок 19 отводятся в систему выпуска 20.

Пилотная установка позволяет с одной установки каталитических блоков проводить

сравнительные испытания материалов с имитацией 216 вариантов для трехступенчатых нейтрализаторов отработавших газов двигателей.

Для проведения комплексного анализа газов перед устройствами для их очистки и между ступенями очистки необходимы, исходя из требований стандартов России и ЕВРО-стандартов приборы, обеспечивающие измерение концентраций оксида углерода CO , суммы углеводородов C_xH_y в пересчете к метану, оксидов азота NO_x и твердых частиц TЧ .

По структурно-функциональному построению измерительный комплекс представляет собой четыре измерительных канала на CO , C_xH_y , NO_x и TЧ .

В первичном измерительном преобразователе (ПИП) на CO принято применять инфракрасный метод, основанный на измерении величины поглощения лучистой энергии (инфракрасного излучения) при прохождении света через анализируемый газ. Для уменьшения влияния параметров окружающей среды первичный измерительный преобразователь выполняется по двухканальной дифференциальной схеме, где второй канал, в котором измерительная камера заполняется смесью и герметизируется, является сравнительным. В первый же канал поступает анализируемый газ.

В первичном измерительном преобразователе на C_xH_y обычно используется пламенно-ионизационный метод, заключающийся в измерении величины ионизационного тока при сгорании C_xH_y в пламени водорода. Считается, что сигнал пламенно-ионизационного преобразователя пропорционален числу атомов углерода, содержащихся в молекуле C_xH_y , а при анализе C_xH_y показания преобразователя выражаются в эквивалентном количестве контрольного вещества – метана.

В первичном измерительном преобразователе на NO_x используется хемилюминесцентный метод, основанный на измерении интенсивности хемилюминесцентной реакции при взаимодействии NO_x с озоном. Интенсивность свечения пропорциональна концентрации NO . В первичный измерительный преобразователь встраивается генератор озона, вырабатывающий озон, необходимый для проведения хемилюминесцентной реакции. Как известно, в составе отработавших газов (ОГ) помимо NO имеется также NO_2 . В ПИП на NO_x с помощью термokatалитического конвертора, наполненного соответствующим катализатором, происходит восстановление NO_2 до NO . Степень восстановления не ниже

90 %. Таким образом, ПИП на NO_x измеряет суммарное значение NO и NO_2 .

Выходной сигнал каждого ПИП усиливается, преобразуется в цифровой код и выводится на цифро-отсчетное устройство (ЦОУ). Помимо цифрового отсчета в системе имеется четыре самописца, дублирующие показания ЦОУ и ПЭВМ. Унифицированный токовый сигнал 0-5 мА позволяет дистанционную передачу выходных сигналов.

Обычно система имеет четыре штатных режима работы: «Анализ» – система работает в режиме анализа ОГ, «Калибровка 0» – в системе происходит установка нуля шкалы ПИП с помощью «нулевого» газа – азота, «Калибровка К» – в системе происходит установка конца шкалы ПИП с помощью поверочной газовой смеси, «Ожидание» – система прогревается и продувается воздухом, в промежутках времени между анализами.

Забор пробы осуществляется с помощью побудителей расхода, входящих в комплект системы и обеспечивающих расход анализируемых ОГ до 5 л/мин.

В комплект системы, как правило, входят также двухбаллонные стойки для калибровочных газов. Метрологически система поверяется и настраивается с помощью поверочных газовых смесей, серийно выпускаемых промышленностью. В ряде ПИП имеются электрические имитаторы концентраций газов – реперные устройства.

Кроме систем, позволяющих проводить комплексный и одновременный анализ всех компонентов, имеются газоанализаторы на отдельные компоненты.

Для измерения NO_x в составе ОГ разработаны переносные хемилюминесцентные газоанализаторы, в которых проводится раздельное измерение концентрации NO и суммы NO и NO_2 .

Таким образом, приборы позволяют осуществлять по выбору анализ NO или суммы NO_x . NO_2 восстанавливается до NO с помощью нагретого до 300°C катализатора. Для повышения мер безопасности в приборе предусмотрено термическое разложение озона, откачиваемого из реакционной камеры газоанализатора.

В блоках приборов, как правило, размещены устройства пробоподготовки (фильтры, регуляторы, побудитель расхода), во втором – реакционная камера, схемы электронной обработки информации. В комплект приборов входит обогреваемый газозаборник длиной 5 м. Вывод информации осуществляется на цифроотсчетное устройство и в виде унифи-

цированного сигнала 0-5 мА; имеется возможность подключения самопишущего прибора; быстродействие таких газоанализаторов с учетом пятиметрового газозаборника не более 20 с.

Оптическая схема с одним мигающим излучателем и селективным газонаполненным терморезистивным приемником обеспечивают высокую надежность и стабильность показаний. Нулевая точка шкалы в любой момент может быть проверена и при необходимости отрегулирована по окружающему воздуху. Для проверки и регулировки чувствительности в процессе работы, газоанализаторы оснащены встроенным реперным устройством. Применение полупроводникового терморезистора обеспечивает термокомпенсацию температурной погрешности в интервале рабочих температур без применения термостатирования.

Для более полной оценки процессов очистки газов в нейтрализаторах разработаны газоанализаторы, в которых оптический блок на два газа содержит один мигающий излучатель, одну рабочую кювету и два последовательно расположенных на оптических осях терморезисторных приемника, заполненные CO и CO_2 . Каждый канал измерения оснащен устройствами автоматической периодической калибровки нуля шкалы по окружающему воздуху и чувствительности по встроенному реперу. Применение схемы термокомпенсации температурных погрешностей на основе проволочных медных резисторов обеспечивает высокую точность и повторяемость параметров без применения термостатирования.

Для определения CH в ОГ при проведении научно-исследовательских работ при оценке эффективности очистки газов в нейтрализаторах разработаны переносные газоанализаторы.

Принцип действия газоанализаторов, как правило, основан на методе прямого поглощения инфракрасного излучения исследуемым газом. Такие газоанализаторы работают по двухканальной двухлучевой схеме. Излучение от нихромовой нити накаливания с помощью отражателя поступает на две кюветы: рабочую и сравнительную. Последняя наполнена непоглощающим газом – азотом. Анализируемая проба через рабочую кювету прокачивается при помощи побудителя расхода. Сравнительная и рабочая кюветы герметизируются со стороны фотоприемников интерференционными светофильтрами с макси-

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ОТРАБОТАВШИХ ГАЗОВ ДИЗЕЛЕЙ В СВС-БЛОКАХ

мумом пропускания в области 3,4 мкм и шириной полосы 60 см⁻¹.

Прошедшее через кюветы инфракрасное излучение фокусируется на фоторезисторы, включенные по мостовой схеме. Мост питается переменным напряжением синусоидальной формы. При равных световых потоках, попадающих на фоторезисторы, и сбалансированном мосте сигнал на предварительный усилитель не попадает. Если в рабочей кювете присутствует газ, поглощающий инфракрасное излучение, освещенность фоторезисторов становится различной, мост разбалансируется, возникающий при этом сигнал усиливается, детектируется и попадает на выходной прибор.

Из-за различия коэффициентов поглощения СН измеренные концентрации приводятся к определенному эквиваленту, которым служит п-гексан.

Приборы имеют механический калибратор, представляющий собой флажок, вводимый с помощью электромагнита в оптический поток рабочего канала, и имитирующий поглощение в рабочей кювете.

Опыт зарубежного и отечественного аналитического приборостроения показал, что наиболее полно требованиям автомобилестроителей, эксплуатационников автотранспорта, научных исследований удовлетворяют специализированные газоанализаторы ОГ, учитывающие в схемно-конструкторских решениях характерные физико-химические особенности ОГ (высокая температура, влажность, значительное число компонентов ОГ, их агрессивность и токсичность, наличие сажи и т. д.).

Одним из первых стенд для испытания каталитических нейтрализаторов был создан С.С. Филатовым в Институте горного дела (г. Свердловск, ныне – Екатеринбург). Он был оснащен устройствами для отбора газов до и после нейтрализатора, а анализ состава газов проводился хроматографическими способами и на фотоэлектроколориметре. Одновременного сравнительного анализа по изучению отдельных каталитических материалов не проводилось.

Подобный стенд был создан в НИИ «Гипроуглемаш» (г. Караганда) Р.М. Поповиченко и использовался при подборе катализаторов для устройств очистки отработавших газов горнорудной техники. Его возможности были ограничены, а приборное оснащение было в основном лабораторно-аналитическим.

Созданный в ЦНИДИ стенд для испытания нейтрализаторов О.А. Гладковым, Е.В.

Бернштейн, В.И. Смайлисом и Л.А. Новиковым был предназначен для испытания устройств жидкостной нейтрализации газов дизелей и не был оригинальным ни в плане устройства, ни в плане приборного оснащения.

Разработанный ФНИКТИД Е.Ю. Березиным, С.П. Моисеевым, Н.И. Павловым стенд для испытания каталитических нейтрализаторов оборудовался уже приборами непрерывного контроля за составом газов. Однако и этот стенд имел тот недостаток, что испытания можно было проводить только отдельно в различные временные периоды.

Стенды, созданные в ОАО ПО «Алтайский моторный завод» и ОАО ХГ «Барнаултрансмаш» предназначались только для испытаний готовых изделий, хотя оснащались современными измерительными комплексами. Проведение сравнительных испытаний каталитических материалов было возможно только с демонтажем одних устройств и монтажом других.

Стенд, созданный в ФГУП «15-й автомобильный ремонтный завод» оборудовался тепловыми аккумуляторами, позволяющими стабилизировать температуру отработавших газов перед нейтрализатором, однако не был лишен недостатков, описанных выше.

В работах П.В. Исаенко, В.Д. Исаенко и В.А. Аметова описана испытательная станция, включающая автомобиль на беговых барабанах (динамометре), вентилятор (имитатор движения окружающей среды), газоанализаторы и компьютер. Приборное оснащение предполагало наличие инфракрасных анализаторов СО и СО₂, пламенно-ионизационного анализатора на С_хН_у, хемилюминесцентного – на содержание NO_х.

Оснащение экспериментального стенда для определения основных характеристик трегеров (каталитических блоков) на основе СВС-материалов содержит ту же информацию.

Системы отбора проб при испытаниях нейтрализаторов описаны в работах А.А. Капустина и Ю.Г. Добрынина, В.М. Подчинка и Ю.С. Медведева. Оригинальность последней работы заключалась в применении фильтров фирмы «Нитто Босеко Ко» (Япония) из стекловолокна с графитовым покрытием для анализа содержания в газах твердых частиц.

Стенды для испытаний нейтрализаторов описаны В.И. Смайлисом и В.А. Звоновым, но описания не содержат оригинальной информации с точки зрения приборного оснащения.

Что касается изучения эффективности каталитической очистки, то нельзя считать

сравнение отдельных каталитических материалов корректными, если измерения производятся различными приборами в различных условиях. Это подводит к выводу о необходимости создания специальных комплексов и приборного оснащения для изучения свойств материалов, используемых для очистки газов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бойко, В. Ф. Оценка пористости насыпного объема дисперсных материалов слоистой структуры / В. Ф. Бойко, С. В. Николенко // Огнеупоры и техническая керамика. – 2005. – № 5. – С. 43-46.
2. Гайнеман, А. А. Очистка газовых и жидких сред металлокерамическими СВС-фильтрами / А.А. Гайнеман, В.Д. Гончаров, А.Л. Новоселов // Известия Томского политехн. ун-та. – 2007. – Т. 311. – № 2. – С. 146-150.
3. Мельберт, А. А. Каталитические нейтрализаторы для автомобиля-самосвала КамАЗ-55111. – Барнаул: Изд-во АлтГТУ им. И.И. Ползунова, 2003. – 10 с.: Дан. В ВИНТИ 15.07.2003, № 1390 – В 2003.
4. Мельберт, А. А. Некоторые результаты испытаний фильтров твердых частиц с пористыми СВС-блоками / А.А. Мельберт, В.И. Пролубников, Р.В. Винников // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей; под ред. д.т.н., профессора, академика А.Л. Новоселова / Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С. 129-133.
5. Новоселов, А. Л. Оценка эффективности очистки отработавших газов дизелей в каталитических нейтрализаторах / А.Л. Новоселов, А.В. Унгефук, А.А. Мельберт // Двигателестроение. – 2000. – № 3. – С. 35-36.
6. Новоселов, А. А. Реализация раздельной очистки отработавших газов дизелей от твердых частиц в СВС-фильтрах / А.А. Новоселов, А.А. Мельберт, В.В. Коробов // Повышение экологической безопасности автотракторной техники: сб. статей; под ред. д.т.н., профессора, академика А.Л. Новоселова / Академия транспорта РФ, АлтГТУ им. И.И. Ползунова. – Барнаул, 2002. – С. 111-115.