

## Охрана окружающей среды

УДК 665.7.035.5(045)

### Эволюция систем нейтрализации отработавших газов двигателей внутреннего сгорания

**Бойченко С.В., Ковтун А.К.**

*Национальный авиационный университет, Киев*

Проведен обзор источников загрязнения окружающей среды. Представлен анализ состава отработавших газов. Сделан обзор современных средств нейтрализации вредных выбросов в отработавших газах. Разработана зависимость эволюционирования средств нейтрализации отработавших газов с учетом перспективных экологических требований. Описаны принципы работы всех компонентов системы нейтрализации отработанных газов и системы управления двигателем, находящихся в выпускном тракте.

**Ключевые слова:** каталитический нейтрализатор, каталитический реактор, сажевый фильтр, отработавшие газы, лямбда-зонд.

Проведено огляд джерел забруднення навколишнього середовища. Представлено аналіз складу відпрацьованих газів. Зроблено огляд сучасних засобів знешкоджування шкідливих викидів у відпрацьованих газах. Розроблено залежність еволюціонування засобів знешкодження відпрацьованих газів з урахуванням перспективних екологічних вимог. Описано принципи роботи усіх компонентів системи знешкодження відпрацьованих газів та системи керування двигуном, що знаходяться у випускному тракті.

**Ключові слова:** каталітичний знешкоджувач, каталітичний реактор, сажевий фільтр, відпрацьовані газы, лямбда-зонд.

В последние десятилетия загрязнение окружающей среды превратилось в одну из основных проблем развития цивилизации на нашей планете. Из общего количества вредных веществ, выбрасываемых в атмосферу крупных городов, большая часть (60 %) приходится на автомобильный транспорт.

Вредные вещества, выбрасываемые производственными предприятиями, концентрируются по огромному радиусу в определенной зоне, а отработавшие газы автомобилей распространяются по всей территории населенного пункта. Автомобили загрязняют атмосферу углеводородами и оксидами азота на 30 %, оксидами угле-

рода на 90 %. При неблагоприятных условиях в приземных слоях атмосферы образуются ядовитые туманы, так называемые смоги, содержащие токсичные составляющие отработавших газов: углеводороды и оксиды азота.

Автотранспорт загрязняет атмосферный воздух, воду и землю компонентами отработавших газов, продуктами износа деталей машин и дорожного полотна, а также теряемыми (подтекаемыми и испаряемыми) материалами. И это только при движении транспортных средств. А есть еще экологические проблемы, связанные с мойкой, техническим обслуживанием, ремонтом, утилизацией.

В мире эксплуатируется более 600 млн автомобилей, а суммарное потребление моторных топлив составляет около 1,8 млрд т/год [1]. Прогнозируется, что к 2010 г. мировой парк автомобилей возрастет до 1 млрд ед., что соответственно приведет к возрастанию выбросов вредных веществ с отработавшими газами.

Только в выбросах автомобиля содержится более 200 видов токсичных веществ. Среди них оксиды углерода, азота, серы, тяжелых металлов, канцерогенные и мутагенные соединения, углеводороды, альдегиды, аэрозоли, сернистый ангидрид и т.д. (табл.1) [2–4]. За год легковой автомобиль забирает из атмосферного воздуха 4350 кг кислорода, а вместо него выбрасывает 3250 кг углекислого и 530 кг угарного газов, 90–150 кг несгоревших углеводородов, 40 кг оксидов азота, до 1 кг свинца. При этом 96 % оксида углерода, 30 % оксидов азота, 68 % углеводородов попадают в атмосферу через выхлопные трубы автотранспорта. Неправильное управление транспортным средством может привести к увеличению выбросов токсичных веществ: CO, C<sub>n</sub>H<sub>m</sub> — на 25–30 %; NO<sub>x</sub> — на 15 % [5].

Интенсивность вредных выбросов одним тепловозом аналогична таковой 15–20 грузовых или 40–60 легковых автомобилей. Один самолет при взлете и посадке выбрасывает в атмосферу в 100 раз больше вредных веществ, чем автомобиль. При работе турбореактивного и турбовинтового двигателя на протяжении 1 мин в атмосферу выбрасывается 2–4 мг канцерогенных веществ, в основном бенз(а)пирена. При взлете и посадке самолетов за 1 сут выбрасывается около 3,7 т оксида углерода, 2 т углеводородных соединений (несгоревшее топливо) и 1,7 т оксида азота [2].

За долгое время существования проблемы автомобильных выбросов и загрязнения ими атмосферного воздуха было разработано множество методов и способов, позволяющих уменьшить количество выхлопов или снизить их токсичность.

В настоящее время разрабатываются и внедряются в практику такие мероприятия по снижению загрязнения атмосферы выбросами автомобильных двигателей: 1) усовершенствование конструкций двигателей и повышение качества их изготовления; 2) поиск новых видов топлива, применение различных присадок к нему; 3) создание энергосиловых установок для автомобилей, выбрасывающих меньшее количество вредных веществ; 4) разработка устройств, снижающих содержание вредных компонентов в отработавших газах.

Практика показала, что достичь уровня токсичности отработавших газов, требуемого за-

конодательством развитых стран, первыми тремя способами нельзя. Поэтому получила широкое распространение нейтрализация отработавших газов. В этом случае токсичные пары, вышедшие из цилиндров двигателя, нейтрализуются до выброса их в атмосферу [6].

Существует несколько способов нейтрализации отработавших газов в выпускной системе автомобиля.

1. Окисление отработавших газов подачей к ним дополнительного воздуха в термических реакторах. Их устанавливают на многих японских и американских двигателях. Термический реактор представляет собой теплоизолированный объем со специальной организацией течения отходящих газов, устанавливаемый в выпускной системе двигателя и осуществляющий термическое доокисление токсичных компонентов за счет собственного тепла отходящих газов. Термическая нейтрализация не зависит от вида сжигаемого топлива, наличия присадок и позволяет использовать в двигателях этилированный бензин. Повысить температуру отработавших газов в реакторе можно, уменьшив теплопотери установкой приставок-экранов, теплоизоляцией корпуса реактора, использованием тепла реакции окисления, а также кратковременным уменьшением угла опережения зажигания [7]. Реакторы особенно эффективны на режимах богатой смеси при больших нагрузках, не выходят из строя со временем, однако не дают полного окисления CO и CH и не восстанавливают NO<sub>x</sub>, поэтому применяются как дополнительные устройства перед каталитическим нейтрализатором [8].

2. Поглощение токсичных компонентов жидкостью в жидкостных нейтрализаторах. Этот способ не получил широкого распространения из-за малой эффективности и необходимости частой замены жидкости [9].

3. Применение каталитических нейтрализаторов и сажевых фильтров (на автомобилях с дизельными двигателями) — в настоящее время наиболее актуальный [10].

**Таблица 1. Состав отработавших газов бензиновых двигателей и дизелей**

Компоненты отработавших газов, %	Бензиновый двигатель	Дизель
Азот	74–77	74–78
Кислород	0,3–8,0	2,0–18
Водяной пар	2,0–5,5	0,5–9,0
Оксиды углерода	0,5–12	0,005–0,4
Оксиды азота	0,01–0,8	0,004–0,6
Диоксид серы	–	0,002–0,02
Углеводороды	0,2–3,0	0,01–0,30
Альдегиды	0–0,2	0,001–0,009
Сажа, г/м <sup>3</sup>	0–0,04	≥ 0,01–1,10

Как показывает мировой опыт, эффективным способом защиты природы оказались ограничения, накладываемые на каждый источник загрязнения в отдельности, то есть нормирование экологических характеристик объектов. Следствием данного подхода стало введение экологических требований к автотранспортным средствам [12] (табл.2, 3). За европейскими нормами закрепилось краткое название «Евро» [1, 3].

У нас начали обращать внимание на негативное воздействие автотранспортного комплекса на окружающую среду достаточно давно. В Советском Союзе первый стандарт, касавшийся токсичности автомобилей с бензиновыми двигателями при выпуске их с завода и в процессе эксплуатации, появился в 1970 г. (ГОСТ 16533), а относя-

щийся к транспортным средствам с дизельными двигателями — в 1975 г. (ГОСТ 21393).

В 1970 г. в США был принят закон, в соответствии с которым уровень токсичных выхлопов автомобилей 1975 модельного года должен был быть в среднем наполовину меньше, чем у машин 1960 г. выпуска: СН — на 87 %, СО — на 82 % и NO<sub>x</sub> — на 24 % [12].

Аналогичные требования были узаконены в Японии и в Европе. Первым делом инженеры бросились совершенствовать системы питания и зажигания. Но было очевидно, что добиться столь существенного улучшения ситуации с токсичностью без применения дополнительных устройств просто невозможно.

В 2009 г. на территории Японии введены самые жесткие требования к экологичности автомо-

**Таблица 2. Экологическая классификация автомобильной техники**

Категории и подгруппы автомобильной техники	Нормативные документы, устанавливающие требования к экологическим характеристикам автомобильной техники, и технические нормативы выбросов
<b>Экологический класс автомобильной техники 0</b>	
М1, М2 максимальной массой ≤ 3,5 т, N1 с бензиновыми двигателями М1 максимальной массой > 3,5 т, М2, М3, N1, N2, N3 с дизелями М1 максимальной массой > 3,5 т, М2, М3, N2, N3 с бензиновыми двигателями	Правила ЕЭК ООН № 83-02, уровень выбросов А  Правила ЕЭК ООН № 49-01 СО — 85 г/кВт·ч, C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> — 5 г/кВт·ч, NO <sub>x</sub> — 17 г/кВт·ч (9-режимный испытательный цикл)
<b>Экологический класс 1</b>	
М1 М2 максимальной массой ≤ 3,5 т, N1 с бензиновыми двигателями и дизелями М1 максимальной массой > 3,5 т, М2, М3, N1, N2, N3 с газовыми двигателями и дизелями М1 максимальной массой > 3,5 т, М2, М3, N2, N3 с бензиновыми двигателями	Правила ЕЭК ООН № 83-02, уровни выбросов В, С соответственно Правила ЕЭК ООН № 49-02, уровень выбросов А СО — 72 г/кВт·ч, C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> — 4 г/кВт·ч, NO <sub>x</sub> — 14 г/кВт·ч (9-режимный испытательный цикл)
<b>Экологический класс 2</b>	
М1, М2 максимальной массой не более 3,5 т, N1 с искровыми двигателями (бензиновыми, газовыми) и дизелями М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N1, N2, N3 с газовыми двигателями и дизелями М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N2, N3 с бензиновыми двигателями	Правила ЕЭК ООН № 83-04, уровни выбросов В, С, 0 соответственно Правила ЕЭК ООН № 49-02, уровень выбросов В СО — 55 г/кВт·ч, C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> — 2,4 г/кВт·ч, NO <sub>x</sub> — 10 г/кВт·ч (при испытаниях по Правилам ЕЭК ООН № 49-03, испытательный цикл Е5С)
<b>Экологический класс 3</b>	
М1 М2 максимальной массой не более 3,5 т, N1 с искровыми двигателями (бензиновыми, газовыми) и дизелями М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N1, N2, N3 с газовыми двигателями и дизелями М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N1, N2, N3 повышенной проходимости с дизелями М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N2, N3 с бензиновыми двигателями	Правила ЕЭК ООН № 83-05, уровень выбросов А  Правила ЕЭК ООН № 49-04, уровень выбросов А  Правила ЕЭК ООН № 96-01 СО — 20 г/кВт·ч, C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> — 1,1 г/кВт·ч, NO <sub>x</sub> — 7 г/кВт·ч (при испытаниях по Правилам ЕЭК ООН № 49-03, испытательный цикл Е5С)
<b>Экологический класс 4</b>	
М1, М2 максимальной массой не более 3,5 т, N1 искровыми двигателями (бензиновыми, газовыми) и дизелями М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N1, N2, N3 с газовыми двигателями и дизелями М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N2, N3 с бензиновыми двигателями	Правила ЕЭК ООН № 83-05, уровень выбросов В  Правила ЕЭК ООН № 49-04, уровень выбросов В1 СО — 4 г/кВт·ч, C <sub>m</sub> H <sub>n</sub> — 0,55 г/кВт·ч, NO <sub>x</sub> — 2 г/кВт·ч (при испытаниях по Правилам ЕЭК ООН № 49-03, испытательный цикл ЕТС)
<b>Экологический класс 5</b>	
М1 максимальной массой свыше 3,5 т, М2, М3, N1, N2, N3 с газовыми двигателями и дизелями	Правила ЕЭК ООН № 49-04, уровень выбросов В2, С

Таблица 3. Европейские и калифорнийские стандарты

Нормы токсичности	Бензиновый двигатель			Дизельный двигатель			
	СО	СН	NO <sub>x</sub>	СО	NO <sub>x</sub>	СН + NO <sub>x</sub>	Сажа
Евро III, с 2000 г.	2,3	0,2	0,15	0,64	0,5	0,56	0,05
Евро IV, с 2005 г.	1,0	0,1	0,08	0,5	0,25	0,30	0,025
LEV	2,1	0,2	0,15	–	–	–	–
ULEV	1,0	0,02	0,03	–	–	–	–
SULEV, с 2004 г.	0,62	0,006	0,0125	–	–	–	0,006

билей. Программа, разработанная Министерством экологии, допускает не более 5–7 мг/км вредных веществ в выхлопных газах.

В 1975 г. на американских машинах появились первые каталитические нейтрализаторы отработавших газов — тогда еще двухкомпонентные, так называемого окислительного типа. Двухкомпонентными они назывались потому, что могли нейтрализовать только два токсичных компонента (СО и СН), а окислительными потому, что происходившие реакции представляли собой окисление (то есть фактически дожигание) молекул СО и СН с образованием СО<sub>2</sub> и Н<sub>2</sub>О [13–15].

На американских автомобилях 1975 г. появились транзисторные системы зажигания с высокой энергией искры и свечи с медным сердечником центрального электрода, что свело к минимуму пропуски зажигания и последующие вспышки несгоревшего топлива в нейтрализаторе, которые грозят оплавлением керамики.

В 1977 г. к нему добавили противозотную секцию, а еще через пару лет объединили все в едином корпусе, дав неправильное название трехступенчатый нейтрализатор. На самом деле речь идет не о ступенях, а о трех подавляемых классах вредных веществ.

К 1990 г. нейтрализатор стал устанавливаться вплотную к выпускному коллектору, чтобы быстрее нагреваться до рабочих температур (300 °С) и тем самым уменьшить вредные выбросы на стадии прогрева.

В 1995 г. фирма «Эмитек» разработала технологию подогрева катализатора мощным электрическим сопротивлением. Основанная на этом принципе модель катализатора «6С» (или «Эмикэт») была установлена на «БМВ-Альпина В12».

В 2000 г. появилась цеолитовая ловушка углеводородов (СН), задерживающая их при пуске мотора и лишь после нагрева до 220 °С отдающая на утилизацию готовому к работе катализатору.

Современные каталитические нейтрализаторы трехкомпонентные. Они представляют собой корпус из нержавеющей стали, включенный в систему выпуска до глушителя. В корпусе рас-

полагается блок носителя с многочисленными продольными порами, покрытыми тончайшим слоем вещества катализатора, которое само не вступает в химические реакции, но одним своим присутствием ускоряет их течение.

Известно множество катализаторов: медь, хром, никель, палладий, родий и др. Но самой стойкой к воздействию сернистых соединений, которые образуются при сгорании содержащейся в бензине серы, оказалась благородная платина. На долю катализаторов приходится до 60 % себестоимости устройства. Именно благодаря им происходят необходимые химические реакции: окисление монооксида углерода и несгоревших углеводородов, а также сокращение количества NO<sub>x</sub>. В трехкомпонентном нейтрализаторе платина и палладий вызывают окисление СО и СН, а родий борется с NO<sub>x</sub>.

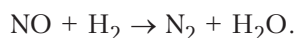
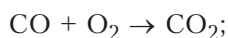
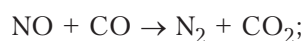
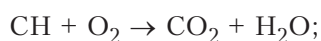
Чтобы увеличить площадь контакта каталитического слоя с выхлопными газами, на поверхность сот наносится подложка толщиной 20–60 мкм с развитым микрорельефом.

Как правило, носителем в нейтрализаторе служит спецкерамика — монолит со множеством продольных сот-ячеек. Это позволяет максимально увеличить эффективную площадь контакта каталитического покрытия с выхлопными газами (до 20 тыс. м<sup>2</sup>). Масса благородных металлов, нанесенных на подложку на этой огромной площади, составляет всего 2–3 г. Керамика сделана достаточно огнеупорной, выдерживает температуру до 800–850 °С. Но при неисправности системы питания и длительной работе на переобогащенной рабочей смеси монолит может не выдержать и оплавиться и тогда каталитический нейтрализатор выйдет из строя. Именно поэтому так проблематично выглядит использование каталитических нейтрализаторов с керамическим носителем на карбюраторных двигателях.

В последнее время в качестве носителей каталитического слоя используются тончайшие металлические соты. Это позволяет увеличить площадь рабочей поверхности, получить меньшее противодавление, ускорить разогрев каталитического нейтрализатора до рабочей температуры и, главное, расширить температурный

диапазон до 1000–1050 °С. Например, соты нейтрализаторов Metalit сделаны из тонкостенного листа хромоалюминиевой стали толщиной всего 0,04 мм, а не 0,15 мм, как у керамики, для лучшей адгезии каталитического слоя легированной редкоземельным металлом иттрием. Такой нейтрализатор выдерживает пиковые температуры до 1300 °С.

Упрощенно ход реакций в нейтрализаторе выглядит так:



В результате токсичные соединения CO, CH и NO<sub>x</sub> окисляются или восстанавливаются до CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub> и H<sub>2</sub>O.

Трехкомпонентный нейтрализатор наиболее эффективен при определенном составе отработавших газов. Это значит, что нужно очень точно выдерживать состав горючей смеси возле так называемого стехиометрического соотношения воздух : топливо, значение которого лежит в узких пределах 14,5–14,7. Если горючая смесь будет богаче, то упадет эффективность нейтрализации CO и CH, если беднее — NO<sub>x</sub>.

Поддерживать стехиометрический состав горючей смеси можно было только одним способом: управлять смесеобразованием, немедленно получая информацию о процессе сгорания, то есть организовав обратную связь.

Для этого в выпускной коллектор поместили специально разработанный кислородный датчик — лямбда-зонд, определяющий коэффициент избытка воздуха, то есть отношение стехиометрического состава смеси к реальному. Он вступает с раскаленными выхлопными газами в электрохимическую реакцию и выдает сигнал, уровень которого зависит от количества кислорода в выхлопе.

Если кислорода осталось много, значит, смесь слишком бедная, если мало — богатая. По результатам мгновенного анализа, выполняемого электронными устройствами, можно быстро корректировать состав смеси в ту или иную сторону. Напряжение на выходе кислородного датчика принимает два уровня. Если смесь бедная, то низковольтный сигнал дает команду на обогащение топливной смеси, и наоборот.

Лямбда-зонды бывают одно-, двух-, трех- и четырехпроводные. Одно- и двухпроводные датчики применялись в самых первых системах впрыска с обратной связью (лямбда-регулированием). Однопроводный датчик имеет только

один провод, который является сигнальным. Недостатки таких зондов: рабочий диапазон температуры датчика начинается от 300 °С. До достижения этой температуры датчик не работает и не выдает сигнала. Необходимо устанавливать этот датчик как можно ближе к цилиндрам двигателя, чтобы он подогревался и обтекался наиболее горячим потоком выхлопных газов. Процесс нагрева датчика затягивается, и это вносит задержку в момент включения обратной связи в работу контроллера. Кроме того, использование самой трубы в качестве проводника сигнала (земля) требует нанесения на резьбу специальной токопроводящей смазки при установке датчика в выхлопной трубопровод и увеличивает вероятность сбоя (отсутствия контакта) в цепи обратной связи.

Указанных недостатков лишены трех- и четырехпроводные лямбда-зонды. В трехпроводный кислородный датчик добавлен специальный нагревательный элемент, который включен, как правило, всегда при работе двигателя и тем самым сокращает время выхода датчика на рабочую температуру. Этот элемент позволяет устанавливать лямбда-зонд на удалении от выхлопного коллектора, рядом с катализатором. Однако существуют недостатки: токопроводящий выхлопной коллектор нуждается в токопроводящей смазке. Их лишен четырехпроводный лямбда-зонд; у него все провода служат для своих целей: два на подогрев, а два сигнальные.

Правильно работающий лямбда-зонд сообщает о состоянии двигателя и его систем. На некоторых автомобилях с помощью датчика можно достаточно точно отрегулировать содержание CO в выхлопных газах. Неисправный лямбда-зонд обязательно вызовет повышенный расход топлива и снижение мощностных характеристик двигателя. Блоком управления фиксируются далеко не все неисправности лямбда-зонда, а если фиксируются, то блок управления переходит в режим управления впрыском по усредненным параметрам.

## Выводы

Несмотря на прогресс в технологиях нейтрализации отработавших газов научно-прикладная проблема повышения экологичности и эффективности эксплуатации автотранспортных средств в этом аспекте до конца не решена.

Главной проблемой бензиновых двигателей является отравление каталитического реактора. Требуется обязательного решения проблема с этилированным и нечистым бензином (с большим



количеством вредных примесей). Это задача и химмотологическая, и конструкторская.

Основное противоречие дизельного двигателя — между снижением выбросов сажи и оксидов азота: улучшая один параметр, неизбежно портишь второй. В дизельном двигателе топливо впрыскивается в цилиндр, уже наполненный раскаленным сжатым воздухом, и на образование «правильной» горючей смеси просто не остается времени. Даже при тончайшем распылении (для чего и повышают давление) не все микрочастицы топлива успевают обзавестись нужным количеством молекул кислорода — вот и условия для образования сажи. Сажа, в свою очередь, адсорбирует вредные вещества в отработавших газах и дезактивирует активный слой каталитического реактора. Существующие на сегодняшний день сажевые фильтры не решают до конца эту проблему.

### Список литературы

1. Бойченко С.В., Матвеева О.Л. Мониторинг антропологической деятельности в сфере использования нефтяных источников энергии // Экоотехнологии и ресурсосбережение. — 1999. — № 5. — С. 54–57.
2. Бойченко С.В. Рациональне використання вуглеводневих палив. — Київ : НАУ, 2001. — 216 с.
3. Boychenko S., Vovk O., Chernyak L. et al. Quality and ecological safety of motor fuels // Book of Abstracts of Intern. Symp. on Air and Water Pollution Abatement «AWPA-2007», Zacopane, Poland, 21–23 June 2007. — P. 41–42.
4. Бойченко С.В., Иванов С.В., Бурлака В.Г. Моторные топлива и масла для современной техники. — Киев : НАУ, 2005. — 216 с.
5. Бойченко С.В., Федорович Л.А., Черняк Л.Н. та ін. Втрати вуглеводнів під час виконання технологічних процесів переробки, транспортування, зберігання та заправки // Нефть и газ. — 2006. — № 3. — С. 90–94.
6. Бойченко С.В., Федорович Л.А., Турчак В.М. та ін. Моніторинг фактичних витрат бензину від випаровування // Методи та прилади контролю якості. — 2007. — № 18. — С. 98–102.
7. Бойченко С.В., Черняк Л.М., Федорович Л.А., Титова О.С. Качественная оценка потерь нефтепродуктов от испарения // Транспорт и хранение нефтепродуктов. — 2007. — № 4. — С. 20–23.
8. Prater N.H. How to calculate vapor losses // Petrol. J. — 1955. — Vol. 9, № 4. — P. 31–34.
9. Емельянов В.Е., Сурич С.А. Повышение качества автобензинов как способ снижения вредных выбросов автотранспортом // Защита окружающей среды в нефтегазовом комплексе. — 2004. — № 12. — С. 32–34.
10. Митусова Т.Н., Паронькин В.П. Ужесточение требований к качеству дизельного топлива в России и за рубежом // Там же. — С. 35–39.
11. Кунин Ю.И., Донченко В.В., Туровский Ф.В. Качество моторного топлива как фактор, ограничивающий повышение экологической безопасности автомобильного транспорта в России // Там же. — С. 41–47.
12. Nauss K. Diesel exhaust : A critical analysis of emission exposure and health effects // Summary of HEI special report. — 1997. — 6 p.
13. Макунин А.В., Фомин В.М. Системы термokatалитического воздействия на рабочие процессы дизелей // Экология и промышленность России, 2003.
14. Павловский В.А. Переработка автомобильных катализаторов // Автомобил. пром-сть. — 2002. — № 9.
15. Решидов И.К., Янковский С.С. Основные достижения в области фильтрации газов // Обзор. информ. Сер. ХМ-11. — М. : ЦИНТИХимнефте-маш, 1981. — 61 с.

Поступила в редакцию 26.03.09

## The Exhaust Gases of Internal-Combustion Engines Neutralization Systems Evolution

*Boychenko S.V., Kovtun A.K.*

*National Aviation University, Kiev*

The contamination sources of environment are reviewed. The analysis of exhaust gases components is conducted. Modern arrangements for harmful emissions in exhaust gases neutralization is adduced. The dependence of exhaust gases neutralization arrangements evolution is proposed. The dependence take account of perspective environmental requirements. The operational principles of all neutralization system of exhaust gases components and engine control systems in outlet tract are described.

**Key words:** catalytic neutralizer, catalytic reactor, carbon-black filter, exhaust gases, oxygen sensor.

Received March 26, 2009