

*Semenov Alexandr Georgievich. (Russian Federation, Saint-Petersburg) – candidate of technical sciences, senior researcher, associate Professor of "Engineering of power plants and vehicles," Institute of Energy and Transport systems of Saint-Petersburg Polytechnic University Peter the Great (Spbpu), (195251 Sankt-Peterbur, of Politekhnikeskaya St., 29, e-mail: agentnumer007@rambler.ru; agentnumer007@yandex.ru).*

*Skutelinik Vitaly Viktorovich. (Russian Federation, Irkutsk) – candidate of technical sciences, Associate Professor of the Department «Management and logistics on transport» of the Institute Airmechanical and Transport Irkutsk national research technical university (IRNRTU) (664074, Irkutsk, Lermontov St. 83e-mail: scutvv@gmail.com).*

УДК 656.065.36

### СООТВЕТСТВИЕ МЕТОДИКИ ГОСУДАРСТВЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ ТРЕХКОМПОНЕНТНЫХ НЕЙТРАЛИЗАТОРОВ ВЫХЛОПНЫХ ГАЗОВ РЕАЛЬНЫМ УСЛОВИЯМ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Н.Г. Певнев, А.В. Залознов  
ФГБОУ ВО «СибАДИ», Россия, г. Омск.

**Аннотация.** В настоящей статье рассмотрены особенности конструкции и условий эффективной работы трехкомпонентных нейтрализаторов отработавших газов (ОГ), установленных на автомобилях с бензиновыми двигателями внутреннего сгорания. Показаны возможности работы нейтрализаторов при холодном пуске и прогреве двигателя, выявлен оптимальный режим работы нейтрализатора, при котором он эффективно выполняет свои функции. Проанализирована и описана методика государственных испытаний нейтрализаторов ОГ. Описаны и проанализированы реальные условия зимней эксплуатации автомобилей с бензиновыми двигателями внутреннего сгорания и трехкомпонентными нейтрализаторами ОГ, выявлены отрицательные моменты эксплуатации автомобилей с нейтрализаторами в зимних условиях. Выявлено несоответствие технического регламента реальными условиям эксплуатации автомобилей с нейтрализаторами ОГ применительно к регионам с холодным климатом и к городу Омску, в частности.

**Ключевые слова:** трехкомпонентный нейтрализатор, методика государственных испытаний, условия эксплуатации автомобилей, температурный режим нейтрализатора, эффективность нейтрализации.

#### Введение

Автотранспорт является неотъемлемой частью жизнедеятельности человека. Однако непрекращающийся рост автомобильного парка ведет к глобальному загрязнению окружающей среды вредными выбросами автомобильных двигателей.

Снижение вредных выбросов с отработавшими газами двигателей автотранспортных средств является одной из наиболее значимых задач для разработчиков автотранспортных средств. Производители автотранспортной техники обращают особое внимание на разработку систем и устройств, снижающих выброс вредных веществ с отработавшими газами двигателя. Наиболее эффективной и распространенной системой для автомобилей с бензиновым двигателем является бифункциональная система нейтрализации вредных веществ отработавших газов, основным элементом

которой является трехкомпонентный каталитический нейтрализатор.

#### Описание конструкции и условий работы нейтрализаторов

Каталитическое дожигание компонентов отработавших газов происходит в специальном приборе – каталитическом нейтрализаторе (рис. 1). Нейтрализатор монтируется в системе выпуска отработавших газов автомобиля.

Эффективность действия каталитического нейтрализатора зависит от температуры катализатора, продолжительности контакта токсичных компонентов с поверхностью катализатора, а также от концентрации токсичных компонентов в отработавших газах.

$$\begin{aligned} \text{Эффективность нейтрализации} &= \\ &= \frac{m_{\text{вход}} - m_{\text{выход}}}{m_{\text{вход}}} \end{aligned} \quad (1)$$

где  $m_{\text{вход}}$  – масса загрязняющих веществ, входящих в нейтрализатор;  $m_{\text{выход}}$  – масса загрязняющих веществ, выходящих из нейтрализатора.

Каталитические нейтрализаторы представляют собой активный каталитический слой, нанесенный на инертное тело-носитель. Каталитический нейтрализатор состоит из металлического корпуса, изготовленного из жаропрочной стали толщиной порядка 1,5 мм, в котором

находится носитель в виде керамического монолита или металлической фольги, покрытый активным каталитическим слоем (рис. 2).

Монолитные носители представляют собой спеченный блок из тугоплавких окислов, пронизанный большим количеством сквозных каналов с катализатором на поверхности. В настоящее время наиболее часто применяются носители из термостойкой керамики (кордиеритовые блоки).

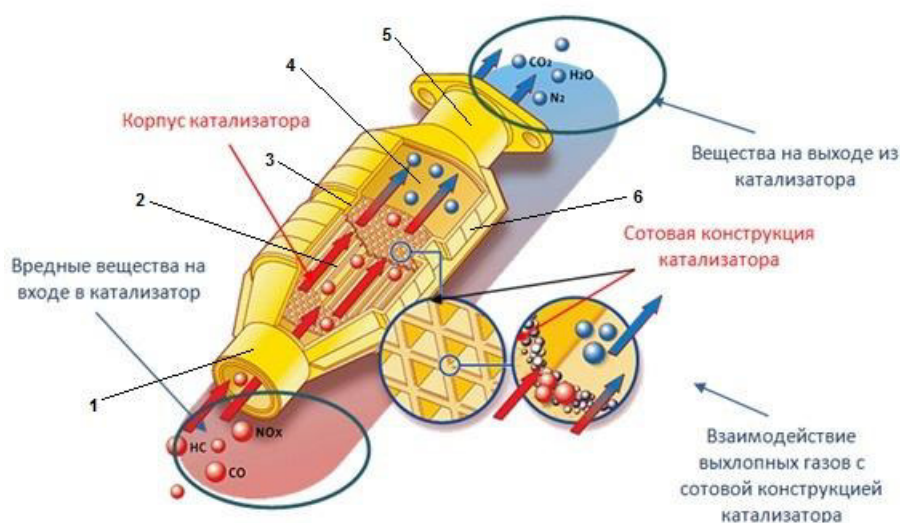


Рис. 1. Общий вид и основные элементы каталитического нейтрализатора  
1 – входной патрубок; 2 – восстановительная ступень; 3 – уплотнение;  
4 – окислительная ступень; 5 – выходной патрубок; 6 – корпус

В качестве носителей начинают широко использоваться жаропрочные аустенитные стали в виде свернутой в рулон гофрированной фольги толщиной 0,04-0,05 мм. Сначала металлические носители использовались лишь в предварительных (стартовых) нейтрализаторах, однако теперь они применяются и в основных нейтрализаторах. Основу металлического блока составляет Fe, Cr, Al-содержащая фольга (фехраль). Ее приблизительный состав: Fe – 78 %, Cr – 15 %, Al – 7 %. Кроме фехрали могут использоваться и другие сплавы. Гофрированная фольга обеспечивает быстрый прогрев катализатора до рабочих температур, высокую прочность, стойкость к высоким (до 1300 °С) температурам и переменным тепловым нагрузкам, малое гидравлическое сопротивление. Ее недостатком является относительно высокая стоимость. [1].

В окислительно-восстановительных каталитических нейтрализаторах одновременно происходят реакции окисления

и восстановления. Действие основано на беспламенном поверхностном окислении токсичных веществ в присутствии катализатора, ускоряющего химическую реакцию окисления CO, C<sub>x</sub>H<sub>y</sub>, C до CO<sub>2</sub> и восстановления NO<sub>x</sub> до N<sub>2</sub> в присутствии кислорода. Реакции окисления происходят за счет остаточного кислорода в обедненных смесях или подачи в систему дополнительного воздуха [2].

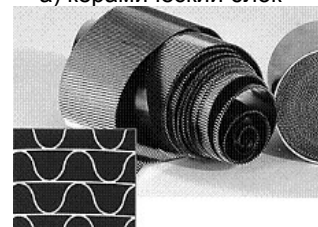
Наиболее универсальным и эффективным катализатором является платина. В связи с высокой стоимостью этого металла в качестве катализаторов используются другие металлы и соединения.

Катализаторы должны обеспечивать кроме большой эффективности, высокую механическую прочность и устойчивость к вибрации, стабильность в эксплуатации при изменении рабочих температур от 150 до 800 °С, а также в условиях различного состава ОГ.

Нейтрализаторы наиболее эффективно работают с λ-зондами, однако и без них



а) керамический блок



б) металлическая лента, сворачиваемая в блок

Рис. 2. Виды блоков автомобильных нейтрализаторов

способны снизить выбросы вредных веществ на 50 %.  $\lambda$ -зонд (датчик кислорода) – это устройство, позволяющий определить в отработавших газах количество свободного кислорода. Активными элементами  $\lambda$ -датчика служат анионный твердый электролит, стабилизированный  $ZrO_2$ , и электроды из пористой платины. [3, 4]

Трехкомпонентные нейтрализаторы (селективные каталитические нейтрализаторы) с  $\lambda$ -зондом на сегодняшний день являются наиболее распространенной и эффективной системой очистки отработавших газов. Устанавливаемые на современных ДВС трехкомпонентные каталитические нейтрализаторы всегда имеют кислородный датчик на входе, необходимый для поддержания состава смеси, близкого к стехиометрическому. Современные нормы токсичности, начиная с EURO 4, требуют установки в ДВС второго кислородного датчика на выходе из

нейтрализатора, анализирующего состав ОГ, повышающего точность регулирования состава смеси, а также позволяющего определить ухудшение работы нейтрализатора и предупредить об этом водителя. [1, 4]

Системы с обратной связью ( $\lambda$  – регулирование) обеспечивают нейтрализацию до 96% вредных веществ в отработавших газах. [4, 5] Кислородный датчик ( $\lambda$  - зонд) данной системы используется для расчета соотношения воздуха и топлива в горючей смеси. По полученным данным электронный микропроцессор определяет коэффициент избытка воздуха  $\alpha$  и совместно с  $\lambda$ -датчиком поддерживает состав смеси  $\alpha \approx 1$  с точностью  $\pm 1\%$ . Для обеспечения соответствующей очистки ОГ нейтрализатором двигатель должен работать в узком диапазоне значений, называемом «окном» каталитического нейтрализатора (рис. 3). [3, 4].

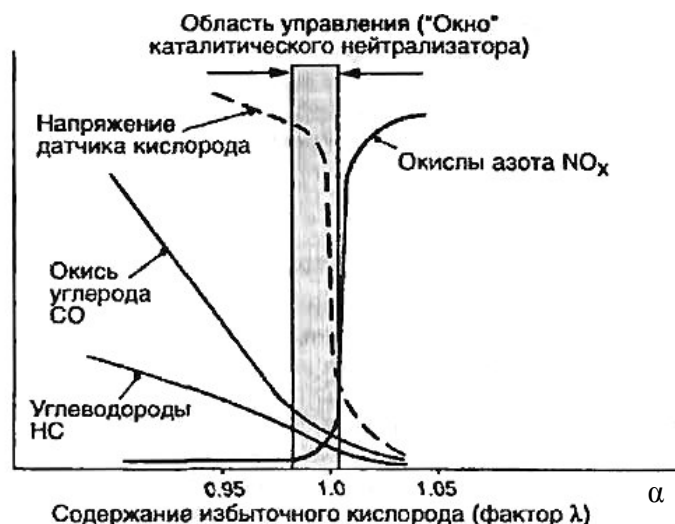


Рис. 3. Зависимости содержания CO, CH и NOx в отработавших газах от коэффициента избытка воздуха

На данный момент уровень конструирования двигателей внутреннего сгорания заметно повысился за годы их развития, как по показателям потребления топлива, так и по экологической чистоте. Это связано с целым рядом внедренных разработок, включая электронно-управляемую систему впрыска топлива «common rail», улучшенные смазывающие материалы, более развитые комплексные программы управления работой двигателя и использованием каталитических нейтрализаторов отработавших газов. Однако, проблема холодного запуска и

последующего прогрева двигателя остается по-прежнему актуальной.

В момент прогрева двигателя и до выхода его на нормальный тепловой режим электронный блок управления не переводит систему питания на дозирование стехиометрического состава смеси в заданном для нейтрализатора диапазоне «окна бифункциональности». В этот период нейтрализатор или не работает или работает с не полной эффективностью. Следует учитывать, что нейтрализатор начинает обезвреживать 50% вредных выбросов, снижая концентрации CO и CH в отработавших газах, при его прогреве как

минимум до 220–250 °С. Эта температура определяет эффективность его работы в процессе всего ездового цикла испытаний (Правила 83 ЕЭК ООН).

Поскольку каталитический нейтрализатор начинает эффективно работать при достаточно высоких температурах (около 400 °С и более), очень большое внимание уделяется ускорению его прогрева. Нейтрализатор стремятся расположить как можно ближе к выпускному коллектору.

Гумус М. в своем исследовании измерил содержание СО и СН в отработавших газах 1,6 л бензинового ДВС FORD MVH 416 ZETEC до и после каталитического нейтрализатора при температуре окружающего воздуха 2 °С и давлении 1 атм. При анализе полученных данных видно, что нагрев катализатора для начала его работы с 50% эффективностью для нейтрализации СО требует около 150 с, а для нейтрализации СН – около 400 с. [6].

### Государственное регулирование

В Российской Федерации в последнее время уделяется большое внимание экологическим последствиям деятельности автотранспорта.

Анализ тенденций развития автомобильного парка России и его воздействия на окружающую природную среду показывает, что политика, ориентированная на экологическую безопасность транспортных средств, должна базироваться на жестких экологических нормативах, соответствующих действующим международным требованиям с учетом климатических особенностей территорий страны и на эффективной системе контроля над их соблюдением.

Начиная с 01.09.2005 г. определен полный переход на выпуск в обращение автотехники, соответствующей нормативным требованиям ЕВРО-2, а с 01.01.2008 г. определен переход на ЕВРО-3, требования

которых возможно выполнить с использованием трехкомпонентных нейтрализаторов.

Решением Комиссии Таможенного союза № 877 от 9 декабря 2011 года принят технический регламент «О безопасности колесных транспортных средств». Данным документом, начиная с 01.01.2015 г. определен полный переход на выпуск в обращение автотехники, соответствующей нормативным требованиям ЕВРО-4, а с 01.01.2016 г. предусмотрено последующее совершенствование конструкции выпускаемых автомобилей и в том числе устанавливаемых на них нейтрализаторов с целью достижения нормативных экологических требований ЕВРО-5.

Указанные нормативные требования могут включать ограничение или запрет выпуска в обращение, либо принудительный отзыв с рынка продукции, не соответствующей требованиям настоящего технического регламента. Примером принудительных мер может служить ситуация, возникшая в середине 2015 года с автомобилями, произведенными концерном Фольксваген.

Автомобили, оснащенные двигателями внутреннего сгорания с принудительным зажиганием, проверяются по Правилам ЕЭК ООН № 83-06, в соответствии с которыми проводятся испытание типа VI (контроль среднего уровня выбросов монооксида углерода и углеводородов в выбросах отработавших газов после запуска холодного двигателя при низкой температуре окружающей среды).

Испытательный рабочий цикл, состоит из первой части (городской цикл) и второй части (загородный цикл), показан на рисунке 4. В ходе полного испытания за четырежды повторяемым простым городским циклом следует вторая часть.



Рис. 4. Новый европейский ездовой цикл

Отбор проб отработавших газов производят в процессе испытания в рамках цикла первой части (городской ездовой цикл). Первый ездовой цикл начинается с 11-секундного периода работы двигателя на холостом ходу после его запуска. Полная процедура испытания при низкой температуре окружающей среды, которая длится в общей сложности 780 с, включает запуск двигателя, немедленный отбор проб, работу транспортного средства в рамках цикла первой части и отключение двигателя. Отработавшие газы, отбор которых производится в соответствующую камеру, анализируют на предмет содержания в них углеводородов, монооксида углерода и диоксида углерода.

Значения температуры внешней среды при испытании транспортного средства должны составлять в среднем 266 К (-7° С) ± 3 К. Температура не должна быть ниже 263 К (-10 °С) или выше 269 К (-4° С) в течение более трех минут подряд [7].

### Условия эксплуатации

Воздействие автотранспорта на окружающую среду определяется разными факторами. К основным из них стоит отнести техническое состояние парка транспортных средств, качество используемого топлива, условия эксплуатации.

Изготовители легковых автомобилей в инструкциях выделяют так называемые тяжелые условия эксплуатации, к которым могут быть отнесены: эксплуатация в горной местности, влажном климате; на грунтовых дорогах в условиях запыленности; при низких температурах окружающего воздуха; продолжительные периоды работы двигателя на оборотах холостого хода или малой скорости движения; работа преимущественно «на коротких» плечах – менее 8 км [8].

Условия эксплуатации на большей территории Российской Федерации можно отнести к тяжелым. В России для климата характерно отчетливое разделение года на холодный и теплый сезоны. По направлению на север и на восток понижается зимняя температура и увеличивается продолжительность зимы.

Значительная часть населения и, соответственно, автотранспорта сконцентрирована в крупных городах. В таблице 1 приведены статистические данные о численности городского населения, средней продолжительности зимы и о средней температуре зимой в федеральных округах России с продолжительным зимним периодом [9].

Таблица 1 – Статистические данные о федеральных округах РФ

Федеральный округ	Численность городского населения, млн. чел.	Средняя продолжительность зимы, кол-во дней	Средняя температура зимой, °С
Центральный:	31	133	- 8,4
Северо-Западный:	11	158	- 9,6
Приволжский:	12	147	- 11,2
Уральский:	9	160	- 15,7
Сибирский:	11	164	- 13,8
Дальневосточный:	2	162	- 16,3

За 10 последних лет численность легковых автомобилей в Омской области возросла на 80%, в частности, в городе Омске на 31 декабря 2015 года их количество составило 319 тыс. [10] Существующая дорожная сеть города Омска не рассчитана на такой интенсивный транспортный поток, в связи с чем в последнее десятилетие резко ухудшилась экологическая ситуация по уровню загрязнения атмосферного воздуха выхлопными газами, 58 % загрязнения атмосферного воздуха в городе приходится на автотранспорт [11].

Андрэ провел обширную работу и исследовал привычки водителей и тенденции использования автомобилей в реальных

условиях. Он выявил, что большинство поездок, выполняемых водителями, являются короткими как по времени, так и по расстоянию. В его работе были исследованы 55 автомобилей, которые суммарно наработали 1840 часов. И, приблизительно, при одной трети всех поездок температура охлаждающей жидкости двигателя не достигла 70 °С, а температура масла не превысила 60 °С [12].

Средняя длина поездки индивидуальных легковых автомобилей обычно составляет в городских условиях 9-15 км [8].

Современные автомобили обладают достаточно высокими показателями топливной экономичности и низким уровнем

выбросов вредных веществ в атмосферу. Однако в полной мере эти качества проявляются только при равномерном движении, пусть и в относительно широком диапазоне скоростей и нагрузок. Условия для длительного движения с постоянной скоростью имеются, пожалуй, только на загородных дорогах или на автомагистралях.

При движении в городе, которое характеризуется постоянным чередованием фаз разгона, замедления, непродолжительностью равномерного движения, и стоянки с работающим на холостом ходу двигателем (на светофоре или в заторах), движение с невысокими скоростями – экономические и экологические показатели существенно ухудшаются.

В реальных условиях при низкой температуре окружающего воздуха указанные факторы взаимодействуют и существенно увеличивают расход топлива автомобилей. В связи с этим эксплуатационные нормы расхода топлива в зимнее время для Европейской части России увеличиваются на 5-20% [8], а для условий Сибири, в частности г. Омска имеющего плохую дорожную сеть, расход топлива увеличивается до 30-40%.

Эксплуатация автомобильного двигателя в городских условиях, особенно в зимнее время, определяется значительной долей режимов холодного пуска и работы в непрогретом состоянии. Отдельно стоит отметить, что зачастую владельцы устанавливают на свои автомобили системы автоматического запуска двигателя. Это приводит к принудительной его работе на холостом ходу, с минимальной нагрузкой. На всех этих режимах двигатель работает на переобогащенных составах смеси. Такое переобогащение состава смеси приводит к повышенному выбросу вредных нормируемых компонентов отработавших газов – оксида углерода (CO), углеводородов (CH) и увеличивает расход топлива двигателем вследствие неполноты его сгорания.

Негативное влияние на образование токсичных веществ в бензиновых двигателях оказывают режимы работы на малых нагрузках и холостом ходу (то есть на режимах, характерных для городского движения автомобиля) вследствие особенностей протекания рабочего цикла. Вредные выбросы многократно увеличиваются особенно при работе в условиях низких температур окружающей среды. Таким образом, наиболее остро негативные последствия автотранспортной

деятельности проявляются в крупных городах, для которых характерно интенсивное движение транспорта, особенно в часы пик (утро, вечер). В результате загрязнения атмосферного воздуха автотранспортом вредному воздействию подвергается здоровье горожан.

### Заключение

1. Особенность конструкции трехкомпонентных нейтрализаторов ОГ состоит в том, что он эффективно выполняет свои функции при прогреве его как минимум до 220–250 °С.

2. Значения температуры внешней среды по методике государственных испытаний нейтрализаторов ОГ должны составлять в среднем 266 К (-7 °С)±3 К, что значительно отличается от реальных условий эксплуатации на большей части территории РФ.

3. Анализ реальных условий эксплуатации в зимний период в городских условиях показывает, что значительная часть автомобилей работает на коротких пробегах с непрогретыми двигателями, что приводит к повышенному расходу топлива и нарушению экологических норм.

4. Необходимо проведение исследований и поиск новых технических решений о возможности проведения регулировочных работ по системе питания и электронному блоку управлению ДВС для приведения показателей работы двигателя в соответствие с реальными условиями эксплуатации.

### Библиографический список

1. Сергеев, Н.В. Силовые агрегаты. Конспект лекций : учеб. пособие / Зерноград : Азово-Черноморский инженерный институт ФГБОУ ВПО ДГАУ, 2015. – 186 с.
2. Надарейшвили, Г.Г. Тепловой баланс окислительно-восстановительного нейтрализатора. // Научноград наука производство общество. – 2015. – № 2. – С. 17-19.
3. Папкин, Б.А. Разработка и исследование каталитических нейтрализаторов бензиновых двигателей для автомобилей массой до 3,5 т, обеспечивающих выполнение экологических требований : дис. ... канд. техн. наук: – М.: ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ», 2010. – 190 с.
4. Автомобильный справочник BOSCH: пер. с англ. ООО «СтарСПб». – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: За рулем, 2012. – 1280 с.
5. Козликин, В.И. Повышение экологичности автомобильного транспорта / В.И. Козликин, И.А. Ловцов // Будущее науки: Материалы 3-й Международной молодежной научной конференции: сборн.: в 2 ч. Ч.1. – Курск, 2015. – С. 264-268.

6. Gumus, M. Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system // *Appl Therm Eng.* – 2009. – 29(4):652–60.

7. Технический регламент Таможенного союза 018/2011. О безопасности колесных транспортных средств: федер. закон. – М., 2011. – 465 с.

8. Агеев, Е.В. Особые условия технической эксплуатации и экологическая безопасность автомобилей : учеб. пособие / А.В. Щербаков, С.В. Пикалов. – Курск: Юго-Западный государственный университет, 2015. – 212 с.

9. Климат России // Википедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8) – (дата обращения – 10.10.2015.)

10. На каждую машину в Омске приходится 10 метров дороги // Омскрегион. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://omskregion.info/news/39563-na\\_kajduyu\\_mashinu\\_v\\_omske\\_prixoditsya\\_10\\_metrov\\_d/](http://omskregion.info/news/39563-na_kajduyu_mashinu_v_omske_prixoditsya_10_metrov_d/) – (дата обращения – 03.04.2016.)

11. Омск // Википедия. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Омск#.D0.9A.D0.BB.D0.B8.D0.BC.D0.B0.D1.82> (дата обращения – 03.04.2016.)

12. Andre, M. In actual use car testing: 70,000 kilometers and 10,000 trips by 55 French cars under real conditions // *SAE technical paper 910039.* – 1991.

#### CONFORMITY OF STATE TESTS OF A THREE-WAY CATALYTIC CONVERTERS EXHAUST GASES WITH REAL CONDITIONS

N.G. Pevnev, A.V. Zaloznov

**Abstract.** In this article reviewed design features and conditions for effective operation of the three-way catalytic converters of exhaust gases, installed on automobile with gasoline internal combustion engines. Shown work opportunities of the converters in cold start and warm-up conditions of the engine. Revealed the optimal work mode of the converter, whereby it effectively comply its functions. Analyzed and described the methodology of state testing converters of exhaust gases. In the article described winter conditions operation of automobiles with spark ignition engines and three-way catalytic converters of the exhaust gases. Analyzed the real work conditions of the automobiles with converters, revealed negative points of winter operation of the vehicles with converters. Shown the discrepancy of the technical regulations to the real conditions of operation of the automobiles with converters with regard to the region with a cold climate and to the Omsk city in particular.

**Keywords:** three-way catalytic converter, state tests procedure, operation modes of the automobiles, temperature converter mode, neutralization efficiency.

#### References

1. Sergeev N.V. *Silovye agregaty. Konspekt lekciy* [The power units. Lecture notes]. Zernograd, Azovo-Chernomorskij inzhenernyj institut FGBOU VPO DGAU, 2015. 186 p.

2. Nadarejshvili G.G. Teplovoj balans oksilitel'no-vosstanovitel'nogo nejtralizatora [Heat balance of redox catalyst]. *Naukograd nauka proizvodstvo obshhestvo*, 2015, no 2, pp. 17-19.

3. Papkin B.A. *Razrabotka i issledovanie kataliticheskikh nejtralizatorov benzinovykh dvigatelej dlja avtomobilej massoj do 3,5 t, obespechivajushhih vypolnenie jekologicheskikh trebovanij* [The development and study of catalytic converters of gasoline engines for vehicles weighing up to 3.5 tonnes, ensuring the fulfillment of environmental requirements]. Moscow, 2010. 190 p.

4. *Avtomobil'nyj spravocnik BOSCH* [Automotive directory BOSCH]. Moscow, «Knizhnoe izdatel'stvo «Za rulem» Ltd, 2012. 1280 p.

5. Kozlikin V.I., Lovcov I.A. Povyshenie jekologichnosti avtomobil'nogo transporta [Improving environmental performance of road transport]. *BUDUSHHEE NAUKI: Materialy 3-j Mezhdunarodnoj molodezhnoj nauchnoj konferencii* [The FUTURE of SCIENCE: proceedings of the 3rd International youth scientific conference], 2015, no 1, pp. 264-268.

6. Gumus M. Reducing cold-start emission from internal combustion engines by means of thermal energy storage system. *Appl Therm Eng* 2009;29(4):652–60.

7. *Tehnicheskij reglament Tamozhennogo sojuza 018/2011. O bezopasnosti kolesnyh transportnyh sredstv* [Technical regulations of the Customs Union 018/2011. On safety of wheeled vehicles]. Moscow, 2011. 465 p.

8. Ageev E.V., Shherbakov A.V., Pikalov S.V. *Osobyje uslovija tehniczeskoj jekspluatcii i jekologicheskaja bezopasnost' avtomobilej* [Special conditions of technical operation and environmental safety of vehicles]. Kursk, Jugo-Zapadnyj gosudarstvennyj universitet, 2015. 212 p.

9. *Klimat Rossii* [The Climate Of Russia]. Wikipedia. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82\\_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8](https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%9A%D0%BB%D0%B8%D0%BC%D0%B0%D1%82_%D0%A0%D0%BE%D1%81%D1%81%D0%B8%D0%B8) Date of access 10.10.15.

10. *Na kazhduju mashinu v Omske prihoditsja 10 metrov dorogi* [On each machine in Omsk there are 10 meters of the road]. Omskregion. Available at: [http://omskregion.info/news/39563-na\\_kajduyu\\_mashinu\\_v\\_omske\\_prixoditsya\\_10\\_metrov\\_d/](http://omskregion.info/news/39563-na_kajduyu_mashinu_v_omske_prixoditsya_10_metrov_d/) Date of access 03.04.16.

11. Омск. Wikipedia. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Омск#.D0.9A.D0.BB.D0.B8.D0.BC.D0.B0.D1.82>

12. Andre M. In actual use car testing: 70,000 kilometers and 10,000 trips by 55 French cars under real conditions. *SAE technical paper 910039*; 1991.

*Певнев Николай Гаврилович (Россия, г. Омск) – доктор технических наук, профессор кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: pevnev\_ng@sibadi.org).*

*Залознов Алексей Васильевич Россия, г. Омск) – аспирант кафедры «Эксплуатация и ремонт автомобилей», ФГБОУ ВО «СибАДИ» (644080, г. Омск, пр. Мира, 5, e-mail: avz@sotmotors.ru).*

*Pevnev Nicolay Gavrilovich (Russian Federation, Omsk) – doctor of technical sciences, professor. Department «Maintenance and repair of vehicles», The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: pevnev\_ng@sibadi.org).*

*Zaloznov Alexei Vasil'evich (Russian Federation, Omsk) – postgraduate student. Department «Maintenance and repair of vehicles», The Siberian State Automobile and Highway Academy (SibADI) (644080, Omsk, Mira, 5, e-mail: avz@sotmotors.ru).*

УДК 62-543.4

### МЕТОДИКА МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГУСЕНИЧНОЙ МАШИНЫ С РАЗЛИЧНЫМИ УРОВНЯМИ НОМИНАЛЬНОЙ МОЩНОСТИ

П.А. Сенькин

Омский автобронетанковый инженерный институт, Россия, г. Омск.

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы сравнительного математического моделирования динамических и топливно-экономических показателей гусеничной машины при оборудовании ее силовой установкой с различными уровнями номинальной мощности и условиями протекания внешней скоростной характеристики. Полученные результаты показывают целесообразность перевода двигателя на дополнительный – «пониженный» уровень номинальной мощности по показателю более полного использования энергетических возможностей силовой установки. Что в свою очередь обеспечит улучшение топливной экономичности и условий работы водителя, связанного со снижением количества переключений передач.

**Ключевые слова:** гусеничная машина, мощность, загрузка, силовая установка, моделирование.

#### Введение

Начиная с 1960-х годов, энергонасыщенность сельскохозяйственной и другой техники, определяемая соотношением эксплуатационной мощности двигателя и массы объекта, непрерывно повышалась. Тенденция роста единичной мощности гусеничных машин и увеличение рабочих скоростей движения сохраняется как в нашей стране, так и за рубежом.

Однако установлено, что с ростом энергонасыщенности машин степень использования их энергетических возможностей, обусловленная снижением загрузки силовой установки (СУ), уменьшается.

Низкая загрузка СУ машины, прежде всего, является следствием ограничения скорости движения машин, как правило, вызванного интенсивным изменением дорожно-грунтовых условий (ДГУ), в которых применяется объект, его техническим состоянием, квалификацией водителя, а так же выполняемой задачи-операции. Результаты исследований, показывают, что движение гусеничных машин с относительно полным использованием

энергетических возможностей СУ в ходе их эксплуатации не превышает 30% общего времени движения [1].

Снижение эффективности работы СУ в условиях эксплуатации обусловлено тем обстоятельством, что эффективные показатели наиболее высокими оказываются при работе на относительно больших, причем постоянных нагрузках. С уменьшением нагрузки на двигатель, а так же при переходе на неустановившиеся режимы они заметно ухудшаются.

Очевидно, что решение выявленной проблемы могло бы заключаться в регулировании уровня номинальной мощности СУ машины в зависимости от выполняемой задачи-операции (при выполнении более энергоемких операций применять повышенный уровень «штатный» менее энергоемкие «пониженный»). Результатом данного «гибкого» регулирования явилась бы более полное использование энергетических возможностей машины. Однако, снижение уровня мощности приведет к пропорциональному снижению крутящего момента, что при движении