На правах рукописи

АЗАРОВ Вадим Константинович

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСНОЙ МЕТОДИКИ ИССЛЕДОВАНИЙ И ОЦЕНКИ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ БЕЗОПАСНОСТИ АВТОМОБИЛЕЙ

05.05.03 – Колесные и гусеничные машины

Автореферат диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук

Москва – 2014

Работа выполнена в Государственном научном центре Российской Федерации – Федеральном государственном унитарном предприятии «Центральный ордена Трудового Красного Знамени научно-исследовательский автомобильный и автомоторный институт» (ФГУП «НАМИ»).

Научный руководитель	доктор технических наук, старший научный сотрудник **Сайкин Андрей Михайлович** (ФГУП «НАМИ»)
Официальные оппоненты:	**Кушвид Рубен Петрович** доктор технических наук, профессор, ФГБОУ ВПО «Московский государственный индустриальный университет», профессор
	Дементьев Юрий Витальевич, кандидат технических наук, доцент, ФГБОУ ВПО «Московский государственный машиностроительный университет (МАМИ)», профессор
Ведущая организация	ФГБОУ ВПО «Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет (МАДИ)»

Защита состоится « 17 » сентября 2014 г. в 14 ^{00} часов

на заседании диссертационного совета Д217.014.01 при ФГУП «НАМИ», 125438, г. Москва, ул. Автомоторная, д. 2.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГУП «НАМИ»
http://www.nami.ru/activities/scientific-activity/dissertation-council/

Автореферат разослан « 16 » июля 2014 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
к.т.н., доцент
e-mail: rinat.kurmaev@nami.ru

Курмаев Ринат Ханяфиевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность. Экологические проблемы и изменение климата планеты из-за возрастающего выброса вредных веществ (ВВ) и парниковых газов (ПГ) – двуокиси углерода (CO_2)от промышленности и транспорта является наиболее фундаментальным и определяющим вызовом для современной науки и промышленности.

С момента введения нормативов на выброс ВВ с отработавшими газами (ОГ) автомобилей сначала в США (1963 г.), затем в Европе (1968 г.) и в России (1992г.) начались интенсивные исследования по уменьшению этого выброса. В сценариях борьбы с выбросами ПГ (1997 г.) первостепенная роль отводится мероприятиям по повышению энергетической эффективности (ЭЭ) и возобновляемым источникам энергии (ВИЭ).

Проведенные в работе исследования выполнялись в рамках реализации федеральной целевой программы «Научные и педагогические кадры инновационной России» и госконтрактом № 12411-0816900.20.112 шифр «АВТ 12-011» и № 0604-05/13 (636/251-13)

Целью работы является повышение эффективности мероприятий по улучшению экологической безопасности автомобилей. Для достижения поставленной цели сформулированы следующие задачи исследования:

1. Разработать методику исследований и оценки экологической безопасности автомобилей по суммарному показателю выбросов ВВ с учетом их относительной агрессивности по предельно допустимым концентрациям (ПДК) в воздухе населенных мест.

2. Определить выбор оптимального комплекса математических моделей и методов расчета для оценки экологического (экономического) ущерба от выбросов ВВ и ПГ автомобилями с традиционными двигателями внутреннего сгорания (ДВС), с комбинированными энергоустановками (КЭУ) и электромобилями (ЭМ) в их полном жизненном цикле (ПЖЦ).

3.Теоретически и экспериментально исследовать и разработать рекомендации по применению наиболее эффективных сочетаний методов повышения экологической безопасности автомобилей с различными силовыми установками (СУ) в их полном жизненном цикле при работе на различных энергоносителях.

Научная новизна работы состоит в исследованиях и разработке:

1. Методики исследований и оценки экологической безопасности автомобилей суммарным показателем выброса ВВ с учетом их относительной агрессивности ($M_{вв}^{нп}$) на базе санитарных нормативов ПДК в воздухе населенных мест и независимого показателя, принятого на уровне - 1 мг/м^3.

2. Усовершенствованной методики интегральной оценки негативного воздействия на воздушную среду городов с целью ее применения для исследования экологической безопасности различных автомобилей, их систем и агрегатов в полном жизненном цикле.

3 Сравнительного экономического анализа экологического ущерба от выброса твердых частиц (ТЧ) с ОГ автомобилей и ТЧ от износа шин и тормозных систем.

Метод исследования – теоретический и экспериментальный, основанный на использовании методов математического моделирования, статистического анализа, и вычислительной математики, а также известных и апробированных на практике экспериментальных методах исследования автомобилей в соответствии с требованиями международных правил ООН.

Объекты исследования – различные конструкции автомобилей, их силовые установки (двигатели) и агрегаты при проведении научно-исследовательских работ в процессе сравнительных испытаний разрабатываемых мероприятий по снижению выброса различных ВВ и ПГ.

Достоверность результатов – определяется проведением сравнительных испытаний и исследований различных конструкций автомобилей и двигателей, модернизированных и новых, по специальным и стандартизированным сертификационным методикам Правил ООН.

Практическая значимость работы состоит:

1. В разработке проекта ГОСТа РФ «Автомобильные транспортные средства. Устройства для очистки воздуха салона, кабины, пассажирского помещения и фильтры к ним. Технические требования и методы испытаний».
2. В разработке рекомендаций для технологической платформы РФ «Экологически чистый транспорт - Зеленый автомобиль» по применению оптимальных сочетаний методов и конструктивных решений для производства и эксплуатации экологически менее опасных автомобилей.
3. В докладах Российской федерации на 160 и 161 сессиях «Всемирного форума по гармонизации требований к конструкции транспортных средств» о вредных выбросах твердых частиц (ТЧ) от износа шин и тормозных систем автомобилей, превышающих нормы Евро-6 на выброс ТЧ с ОГ в 25-100 раз и необходимость организации работ по их уменьшению.

Реализация результатов работы:

1. Методика определения выбросов различных ВВ суммарным показателем $М_{ВВ}^{НП}$ внедрена в практику проведения научно-исследовательских работ в ФГУП «НАМИ» и в учебном процессе: в Московском государственном машиностроительном университете (МАМИ) и в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете (МАДИ).
2. Методика и программа расчета для определения, экологического ущерба от автомобилей в ПЖЦ внедрена в практику проведения научно-исследовательских работ в ФГУП «НАМИ», в ОАО «АВТОВАЗ» и ОАО «Автодизель».

Апробация работы:

Основные результаты работы доложены на международных конференциях: Международных научных симпозиумах МГМУ «МАМИ» (г. Москва, 2010-2013 г.г.), Ассоциации автомобильных инженеров «Техническое регулирование в области транспортных средств» (г. Дмитров, 2011- 2013 г.г.), Международных форумах «Проблемы энергосбережения и экологии автомобильной техники» (ФГУП «НАМИ», г. Москва, 2011 и 2012 г.г.) и на 160 и 161 сессиях

Всемирного форума по гармонизации требований к конструкции транспортных средств Комитета Внутреннего транспорта ЕЭК ООН в 2012-2013г.г., (г. Женева, Швейцария).

Основные положения, выносимые на защиту:

1. Методика объективного определения суммарного показателя выбросов с ОГ нормируемых и ненормируемых ВВ с учетом их относительной агрессивности по ПДК в атмосфере воздуха городов - $M_{вв}^{нп}$.
2. Результаты сравнительной оценки выброса твердых частиц автомобилями с ОГ и выброса ТЧ от износа шин и дорожного полотна, выявивших выброс особо опасных ВВ, в том числе и канцерогенных веществ, поступающих в воздушную среду городов.
3. Результаты комплексных теоретических и экспериментальных исследований по определению экономической эффективности планируемых мероприятий по снижению выбросов ВВ и ПГ при разработке и внедрении в производство новых автомобилей с различными конструкциями ДВС и новых СУ в ближайшей перспективе и на период до 2050 года.

Публикации

По теме опубликовано 13 печатных работ в научных журналах, сборниках и изданиях, входящих в перечень ВАК РФ.

Структура и объем работы:

Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка литературы. Общий объем работы составляет 135 страниц, включая 34 рисунка, 42 таблицы. Список литературы содержит 68 наименований.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность, научная новизна и цель работы.

В первой главе рассмотрены и проанализированы мировой и отечественный опыт основных этапов работ по снижению выбросов ВВ и ПГ автомобилями. Большой вклад в развитие работ по экологической безопасности автомобилей внесли отечественные исследователи: Бахмутов С.В., Гусаков С.В., Гусаров А.П., Девянин С.Н., Ерохов В.И., Звонов В.А., Зленко М.А., Иващенко Н.А., Каменев В.Ф., Козлов А.В., Корнилов Г.С., Кутенев В.Ф., Кушвид Р.П., Лукшо В.А., Луканин В.Н., Макаров А.Р., Озимов П.Л., Патрахальцев Н.Н., Панчишный В.И., Сайкин А.М., Теренченко А.С., Тер-Мкртичьян Г.Г., Трофименко Ю.В., Хрипач Н.А., Фомин В.М., Филипосянц Т.Р., Шмелев Е.Н., Эйдинов А.А. и др.

Поэтапное введение в последние 15 лет нормативов от Евро-0 до Евро-6, ужесточающих выброс ВВ с ОГ автомобилей, естественно приводит к усложнению конструкций автомобилей и повышению их стоимости. Возникает проблемный вопрос: существует ли экономическая целесообразность введения норм Евро-6 и выше по дальнейшему снижению выбросов ВВ, особенно твердых частиц с ОГ. Следует отметить, что резко ограничивая выбросы твердых частиц с ОГ для дизельных двигателей более чем в 15-20 раз с 1995 года по настоящее время, международные и национальные законодатели не обращают внимание на другие вредные

частицы, выбрасываемые автомобилями в процессе эксплуатации от износа систем и агрегатов автомобиля, таких как накладки тормозных систем и шины!

Долгое время ошибочно считалось, что размеры частиц продуктов износа протектора шин довольно велики и не могут причинить вред здоровью человека. Однако, исследованиями, проведенными в последние десятилетия, обнаружено, что около 60% твердых частиц в атмосфере городов имеют размеры менее 10 мкм и, следовательно, способны легко проникать в лёгкие человека, вызывая бронхиальную астму и онкологические заболевания, т.к. в шинной пыли присутствуют и различные канцерогенные вещества.

Таким образом выявлена и определена необходимость оценки эффективности проводимых мероприятий по снижению выбросов ВВ и ПГ при разработке и производстве новых конструкций автомобилей и силовых установок, а также и применяемых новых энергоносителей по выбросам суммарной массы ВВ не только нормируемых правилами ООН, но и ненормируемых сегодня ВВ для объективного сравнения достигаемых экологических и экономических результатов в полном жизненном цикле автомобилей.

Во второй главе рассмотрены проблемные вопросы повышения объективности оценки суммарных выбросов ВВ от автомобилей на базе предложенного и обоснованного в работе независимого показателя $ПДК^{НП}$, величина которого принята равной 1 мг/м^3.

В результате проведенных исследований определено, что выбор эффективных способов снижения негативного воздействия автомобиля на окружающую среду должен быть основан на разработанной и апробированной методике определения суммы выброса ВВ - $M_{ВВ}^{НП}$= с учетом их относительной агрессивности и дополнительно на методике определения предотвращенного экологического ущерба опубликованной «Госкомэкологии» 09.03.1999 г.:

1. Методика определения суммы выброса ВВ с ОГ- $M_{ВВ}^{НП}$= , нормируемых и ненормируемых Правилами ООН, по $ПДК^{НП}$ (независимого показателя) с учетом относительной агрессивности ВВ. Сумма выбросов различных ВВ определяется в этом случае в зависимости от методов испытаний по Правилам ООН №83 (1г/км) и №49 (1г/квт.ч) по формуле:

$$M_{ВВ}^{НП} = 0{,}33\ M_{CO} + 6{,}3 M_{CH} + 25\ M_{NOx} + 50\ M_{ТЧ} + 30\ M_{SO2} + 333 M_{CHO} + 10^6 M_{БП}$$

В таблице 1 приведены на примере Правил ООН № 49 результаты анализа суммарной массы выброса ВВ по ранее используемой методике $M_{ВВ}$ и разработанной методике $M_{ВВ}^{НП}$= с учетом относительной степени вредности ВВ.

Предложенная методика значительно повышает точность оценки и сравнительного анализа выбросов ВВ.

2. Комплексный метод определения и оценки эффективности экологических мероприятий по снижению выбросов ВВ и ПГ автомобилями выполнялся по:

а) методике определения предотвращенного экологического ущерба;

б) методике оценки экономических затрат на всех стадиях ПЖЦ.

Таблица 1

Нормы	Год введения		Допустимая норма с учетом ПДК ВВ г/кВт.ч					
	Европа	Россия	CO	CH	NO_X	PM	Мвв	$М_{вв}^{нп}$
Евро-1	1993	2003	4,5	1,1	8,0	0,36	13,96	226,4
Евро-2	1996	2006	4,0	1,1	7,0	0,15	12,25	190,7
Евро-3	2000	2008	2,1	0,66	5,0	0,1	7,86	134,8
Евро-4	2005	2010	1,5	0,46	3,5	0,02	5,48	91,9
Евро-5	2008	2014	1,5	0,46	2,0	0,02	4,95	54,4
Евро-6	2013	2018	1,5	0,13	0,4	0,01	2,04	11,8

В качестве примера годовые совокупные затраты на стадии эксплуатации, как наиболее затратной части в ПЖЦ, определялись по системе уравнений:

$$З_{год} = \sum_{i=1}^{t}(З_т + З_{эм} + З_ш + З_{рем} + З_н + З_{инф} + З_{зп} + З_{хп} + З_{ам}) \cdot \left(\frac{1}{(1+r)^t}\right), \text{ где}$$

$$З_{т\ год} = H_т L_{год}(1+K_т)C_т$$

$$З_{эм} = \sum_{i=1}^{k} G_{эм_i} C_{эм_i} + \sum_{t=1}^{n} G_т \alpha_м C_м (1+g_{см}/100)^t,$$

$$З_{рем} = \sum_{t=1}^{n}\left[C_{мех} L_{год}\left(\frac{t_{то-1}}{L_{то-1}} + \frac{t_{то-2}}{L_{то-2}}\right) + 2t_{со} + \sum_{i=1}^{l_{тр}} \frac{L_{год}}{L_{дет_i}}\left(C_{мех} t_{рз_i} + C_{дет_i}\right)\right](1+g_{рем}/100)^t +$$

$$+ n_{кр}\left(C_{мех} t_{кр} + \sum_{i=1}^{l_{кр}} C_{дет_i}\right),$$

$$З_{инф} = \frac{E_н}{N}\sum_{t=1}^{n} K_{инф_t},$$

$$З_{ам} = \frac{m_{ам} C_{атс} L_{год} k_{ам}}{100000},$$

$$З_{хп} = 2\, H_т l_{хп} Д_{р.год}(1+K_т)C_т$$

Принятые обозначения расшифрованы в диссертации.

Дополнительно были доработаны алгоритм оценки экологической безопасности автомобиля (Рис.1) и математическая модель материальных и энергетических потоков в ПЖЦ автомобилей в части процессов износа шин и тормозных механизмов.

Рисунок 1 – Уточненный алгоритм оценки экологической безопасности автомобиля по полному жизненному циклу

На основе уточненной математической модели использовалась доработанная во ФГУП «НАМИ» программа «Carl CA 2,5» для расчетов единичных процессов и ПЖЦ автомобилей.

Использование этих методик при исследованиях и испытаниях различных автомобилей и энергоносителей, позволило количественно определить уровень негативного воздействия на окружающую среду различных процессов в ПЖЦ автомобиля, независимо от времени проведения сравнительных исследований.

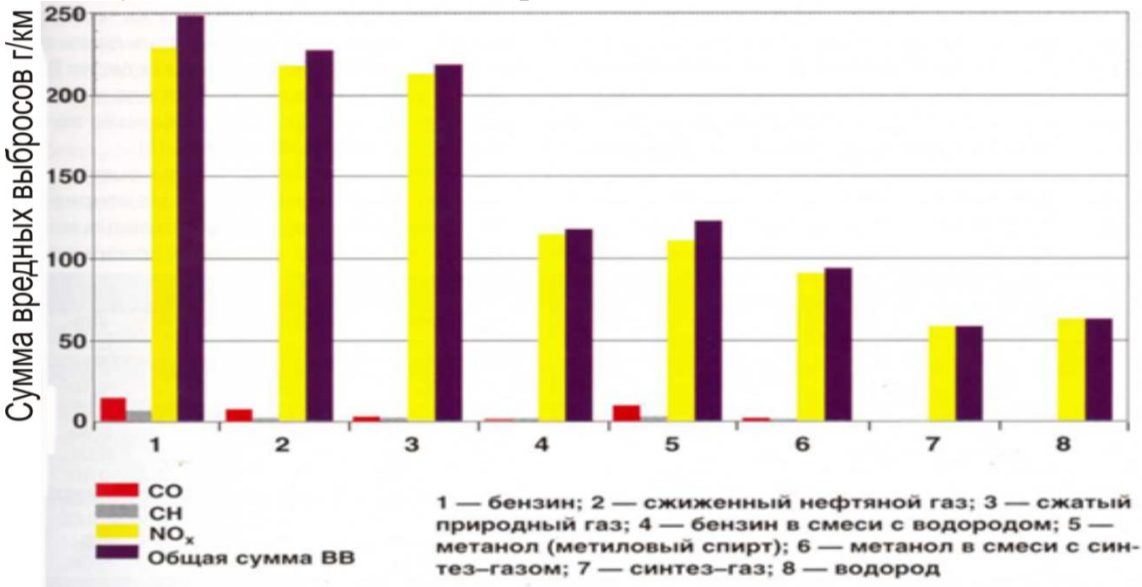
На рисунках 2 и 3 показано оборудование, применявшееся для испытаний автомобилей по оценке выбросов ВВ по Правилам ООН №83.

Рисунок 2 – Роликовый стенд для испытаний автомобилей по определению выбросов вредных веществ, парниковых газов и расхода топлива по Правилам ООН №83

Рисунок 3 - Газоаналитическая аппаратура для измерений выбросов вредных веществ (CO,CH,NO_x,ТЧ и CO_2)

В третьей главе выполнены теоретические и экспериментальные исследования экологических показателей автомобилей по выбросу ВВ с ОГ с существующими ДВС и новыми силовыми установками при работе на традиционных и альтернативных топливах.

На рисунке 4 приведены экспериментальные данные по выбросу нормируемых ВВ легковыми автомобилями с искровыми двигателями, работающими на различных видах топлива по ездовому циклу Правил ООН № 83 с анализом по простой сумме выбросов ВВ - $M_{вв}$, и по разработанной методике, с учетом относительной агрессивности ВВ - $M_{вв}^{нп}$.



$M_{вв}$ г/км	250	228	220	120	125	93	60	65
$M_{вв}^{нп}$ г/км	5800	5500	4250	2875	2800	2250	1375	1625
Топливо	1	2	3	4	5	6	7	8

Рисунок 4- Суммарный выброс вредных веществ автомобилями, работающими на различных топливах при испытаниях по Правилам ООН №83

Сравнительный анализ по сумме выбросов ВВ - $M_{вв}^{нп}$ становится более объективным, так как величины выбросов оксида углерода (CO) и углеводородов (CH) имеют малые значения относительно величин выброса оксидов азота (NO_x). При расчете по разработанной методике с учетом относительной агрессивности NO_x – суммарная величина выбросов ВВ, т.е. их степень токсичности (вредности) объективно оценивается в среднем уже в 25 раз выше, чем по старой методике.

В результате проведенных теоретических и экспериментальных исследований по 2-ой методике был осуществлен экономический анализ эффективности существующих и внедряемых методов снижения экологического ущерба от загрязнения атмосферы выбросами ВВ.

В таблицах 2 и 3 приведены примеры снижения экологического (экономического) ущерба от снижения выбросов ВВ с ОГ на примере легкового и грузового автомобилей, при поэтапном введении норм от Евро-0 до Евро-6.

Таблица 2 - Снижение экологического ущерба от легковых автомобилей за 300 тыс. км в крупных городах.

Переход по годам нормирования		Ущерб, рубли	Предотвращенный ущерб, рубли
Евро-0		231965	
Евро-0 – Евро-1	2002	45688	186277
Евро-1 – Евро-2	2006	24693	20995
Евро-2 – Евро-3	2008	17554	7139
Евро-3 – Евро-4	2012	8860	8694
Евро-4 – Евро-5	2014	7670	1190
Евро -5– Евро-6	2018	7670	0

Таблица 3 - Снижение экологического ущерба от грузовых автомобилей и автобусов за 1 млн. км.

Переход по годам нормирования		Ущерб, рубли	Предотвращенный ущерб, рубли
Евро-0		3162000	
Евро-0 – Евро-1	2002	1669700	1492300
Евро-1 – Евро-2	2006	817405	852295
Евро-2 – Евро-3	2008	544710	272695
Евро-3 – Евро-4	2010	348418	196295
Евро-4 – Евро-5	2014	223000	125418
Евро-5 – Евро-6	2018	108000	115000

Это значит, что предотвращенный ущерб за весь срок эксплуатации одного легкового автомобиля при переходе с нормативов Евро – 0 на Евро – 6 составил~ (231965-7670) = 224295 рублей, т.е. уменьшен в 30 раз!

Для грузовых автомобилей при переходе с норм Евро – 0 на Евро – 6, величина предотвращенного экологического (экономического) ущерба составляла (3162000 – 108000) = 3054000 рублей, т.е. степень снижения будет обеспечена в 29 раз. Однако, учитывая остающийся еще значительный ущерб

при Евро-5 и Евро-6, необходима разработка дальнейших эффективных мероприятий по снижению ущерба от грузовых автомобилей и автобусов.

В четвертой главе осуществлен анализ теоретических и экспериментальных исследований с целью определения ситуации с глобальным потеплением климата, прогнозируемого к 2100 году приростом температуры на 4^0С, связанного с бурным ростом мировой промышленности и резким ростом мирового парка транспортных средств что приводит к чрезмерному выбросу в атмосферу парниковых газов - CO_2.

На рисунке 5 приведены статистические материалы по выбросам CO_2 с ОГ современными и перспективными автомобилями и нормы Евросоюза на 2015 год, а также прогноз ожидаемого снижения CO_2 автомобилями с КЭУ, электромобилями и автомобилями с пневмодвигателями.

На базе этих материалов, приведенных на рис. 5 и произведенных расчетно-экспериментальных исследований, выполнен анализ эффективности внедряемых и планируемых к внедрению мероприятий по снижению выбросов ПГ российским и в целом мировым парком автотранспорта в текущий период времени и определен прогноз на перспективу до 2050 года (таблица 4).

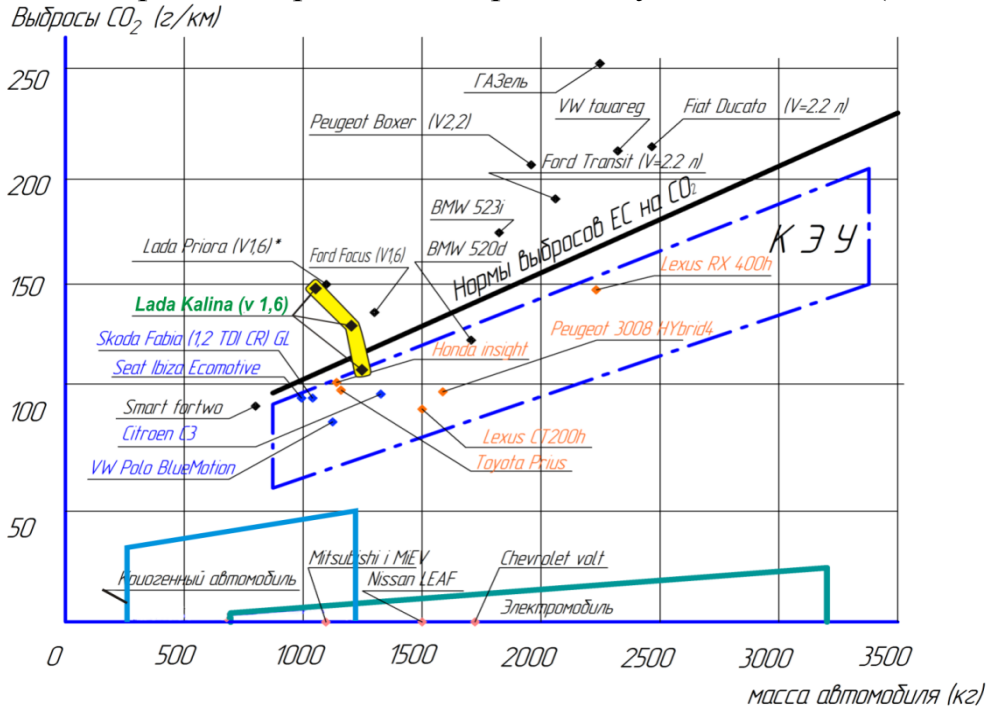


Рисунок 5 - Уровень выбросов парниковых газов различными конструкциями автомобилей относительно норм Евросоюза на 2012 год

С целью оценки возможности снижения выбросов ПГ, с помощью применения новых технологий по энергосбережению, были проведены расчетно-экспериментальные исследования реальной возможности и экономической целесообразности разработки и создания массового производства экологичного автомобиля с наименьшим выбросом ПГ на примере современного массового автомобиля «LADA» (рисунок 6). Расход бензина автомобилем в смешанном цикле Правил ООН составляет 7,2 л/100 км. Для сравнения были выбраны автомобили в следующих вариантах: бензиновый ДВС; ДВС на газовом топливе; ДВС на дизельном топливе; КЭУ на бензине, КЭУ на газовом топливе и электромобиль.

Оценка выбросов CO_2 производилась для двух стадий жизненного цикла: затраты на получение топлива (либо электроэнергии) и затраты на его эксплуатацию (без учета стадий производства автомобиля и его утилизации).

Расчетно-экспериментальные исследования показали, что газовый ДВС обеспечивает снижение выброса CO_2 на 29% по сравнению с бензиновым ДВС и на 5% по сравнению с дизельным двигателем. Использование автомобилей с КЭУ с параллельной схемой позволяет уменьшить выброс CO_2 на 44%, а электромобиля на 63% по сравнению с бензиновым ДВС. Наиболее предпочтительным в настоящее время и наиболее эффективным альтернативным топливом является природный газ метан.

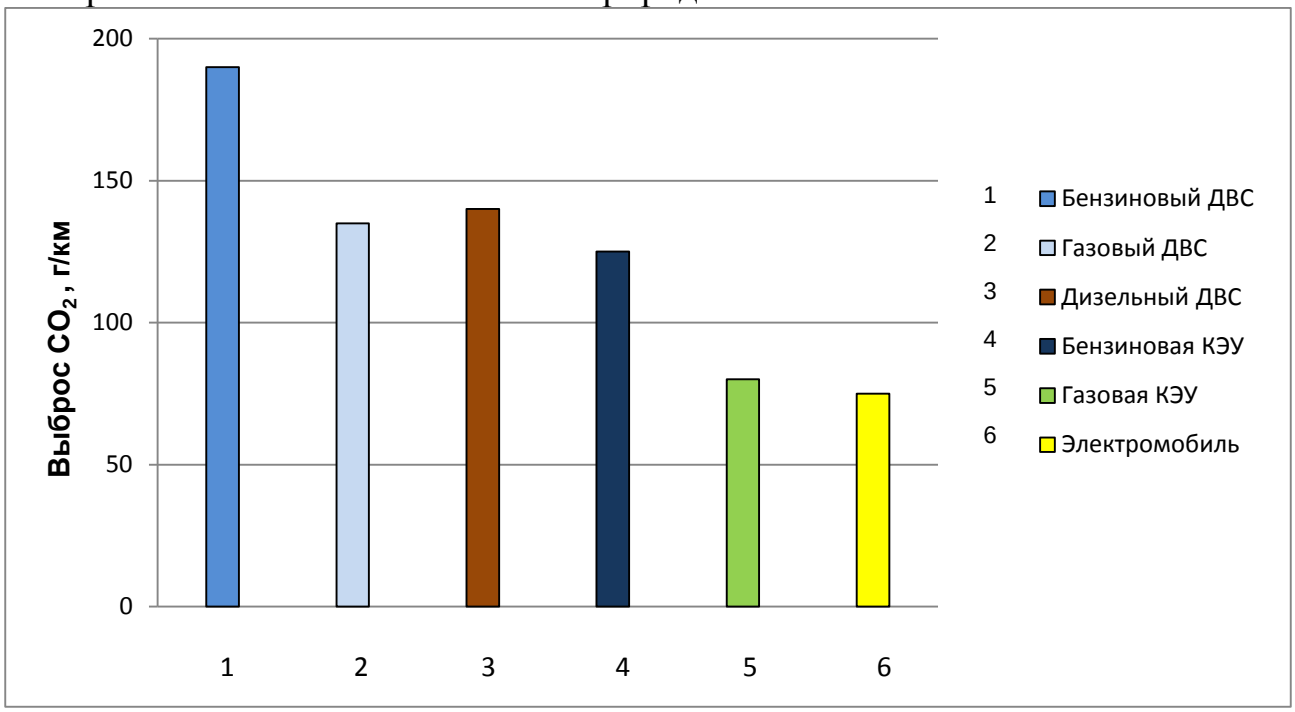


Рисунок 6 - Выбросы CO_2 от автомобилей с различными энергетическими установками, работающих на различных энергоносителях (только выбросы на этапах ПЖЦ: получение топлива и эксплуатация автомобиля)

Направление развития электромобилей считается сегодня наиболее оптимальным на перспективу с точки зрения решения проблемы экологии в крупных мегаполисах (города с населением более 1-2 млн. чел.), а также мегарегионов (курортных зон) с учетом все возрастающим загрязнением атмосферы городов и ужесточающихся требований по снижению выбросов ВВ и CO_2.

Анализ преимуществ и недостатков внедрения электромобилей часто рассматривается с такой положительной позиции, что даже с учетом загрязнений от электростанций, как правило, расположенных вне города, ЭМ почти на 80% экологичнее, чем автомобили с ДВС, так как эксплуатация ЭМ практически исключает выделение окиси углерода, оксидов азота, углеводородов, CO_2, твердых частиц с канцерогенными свойствами, а также обеспечивает снижение уровня шума на 2-3 децибела по сравнению с ДВС.

Для объективной оценки были проведены специальные сравнительные исследования экономических затрат на всех стадиях жизненного цикла: (производство, эксплуатация и утилизация) легковых автомобилей с различными силовыми установками (рисунок 7).

Как показывают результаты анализа, наименьший уровень экономических (энергетических) затрат имеет автомобиль с ДВС, работающим на природном газе, что объясняется относительно дешевым топливом в период эксплуатации при незначительном удорожании стадии производства автомобиля. Применение комбинированных энергоустановок приводит к увеличению стоимости ПЖЦ автомобиля на 35…65%, что, главным образом связано с увеличением стоимости производства и ремонта таких автомобилей.

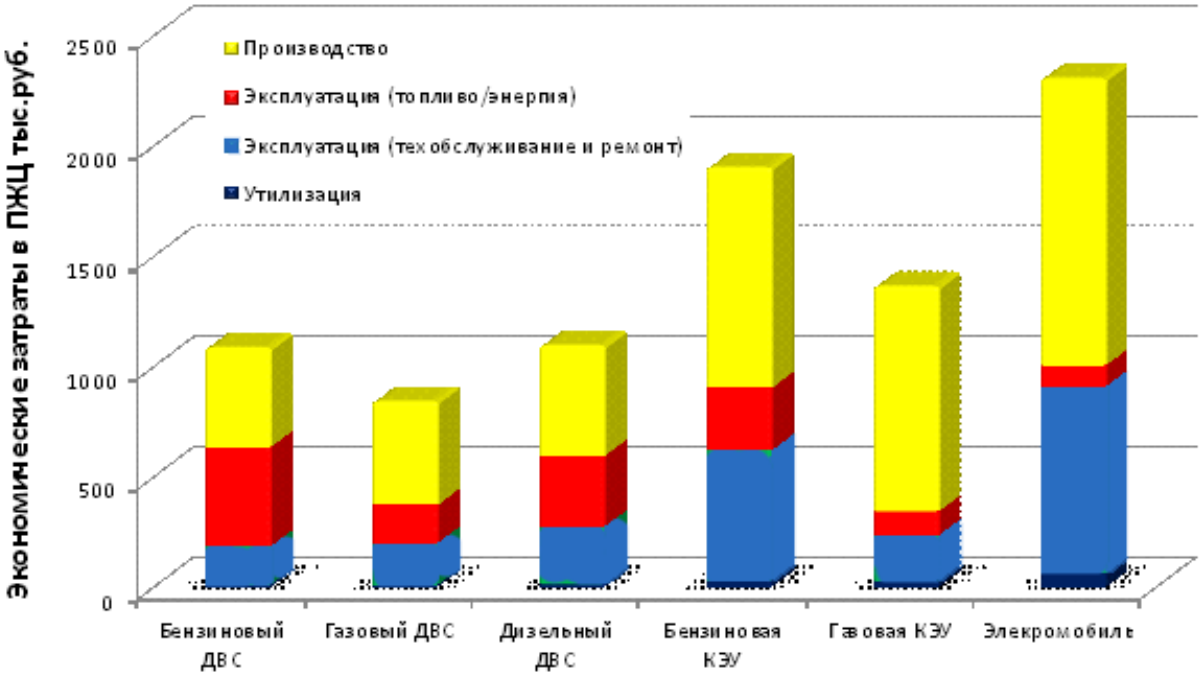


Рисунок 7 - Экономические энергетические затраты в полном жизненном цикле автомобилей с различными энергетическими установками на различных энергоносителях

Наиболее высокую стоимость ПЖЦ имеет электромобиль, несмотря на то, что затраты на зарядку энергией у него в 3 раза ниже, чем у традиционного легкового автомобиля, однако, стоимость производства его в настоящее время достаточно высока и дополнительно необходимо в процессе эксплуатации менять комплект аккумуляторных батарей, т.к. они имеют относительно низкий ресурс и высокую стоимость.

В настоящий период мировой парк автотранспортных средств составляет уже более 900 млн единиц и при годовом усредненном выбросе для всех категорий транспортных средств на уровне 500 г/км CO_2 общий выброс уже составляет более 8,0 млрд. тонн ПГ.

В Евросоюзе были приняты правила по ограничению усредненных выбросов CO_2 от новых легковых автомобилей на уровне 120 г/км к 2013 году, а после 2020 года – на уровне 95 г/км.

В таблице 4 приведены расчеты валовых выбросов CO_2 от мирового парка автомобилей в 2000, 2005 и 2011 году и прогноз этих выбросов, их ожидаемое изменение при внедрении экологических мероприятий к 2030 и 2050 годам с учетом роста и ежегодного обновления парка в объеме 50-60 млн. автомобилей в течение предстоящих лет.

Таблица 4

Год	Парк автомо-билей млн.шт.	Средний еже-годный пробег одного авто-мобиля, км.	Средний выброс CO_2 одним автомобилем г/км	Валовой выброс CO_2 мировым парком автомобилей млрд т/год
2000	400	15000	600	3,6
2005	550	18000	550	5,4
2011	800	20000	500	8,0
2030	1600	22000	300	10,56
			150	5,28
2050	2200	25000	100	5,5
			50	2,75

Итак, принимаемые мировым сообществом меры по (снижению) выбросов CO_2 автотранспортом ежегодно в среднем по 3 млрд.т обеспечат даже при увеличении парка в 5 раз к 2050 году уменьшение выбросов CO_2до уровня 2000 - 2005 гг., т.е. реально ожидать снижения выбросов ПГ более чем в два раза от максимально возможного уровня 2025-2030 гг.

Анализ эколого-экономической эффективности внедрения экологичного транспорта в крупных мегаполисах предопределяет для разрабатываемой в настоящее время технологической платформы РФ «Экологически чистый транспорт – Зеленый автомобиль» первоочередную реализацию семейства электробусов и экологичного коммунального транспорта; экологичного легкого коммерческого транспорта (почта, маршрутное такси и т.п.).

В пятой главе проведены расчетно-аналитические и экспериментальные исследования экологических и технико-экономических проблем, связанных с выбросом твердых частиц (ТЧ) с ОГ и от износа шин и тормозных систем при эксплуатации автомобилей.

Ужесточение нормативов на выброс твердых частиц с ОГ, автомобилей в правилах ООН №49 и № 83 ведется с 2000 года и по настоящее время. Нормами Евро-6 на 2013-2014 они снижены до реального минимума 0,005 г/км (для легковых) и 0,01г/квт.ч (для грузовых автомобилей).Однако, в 2012 году Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) предложила запретить использование автомобилей с дизельным двигателем в городах Европы по причине выброса с ОГ значительного количества дисперсных и твердых частиц менее 2.5 мкм.

Проведенный анализ различных шин на Российском рынке, применяемых в эксплуатации, позволил определить усредненную интенсивность износа протекторов шин на один километр пробега от легкового автомобиля на уровне 0,13 г/км, от автомобилей до 3,5 т – 0,32 г/км и от грузовых автомобилей и автобусов на уровне 1,5 г/км, что превышает нормативы Евро- 6 по выбросу ТЧ с ОГ, в 26 раз, 60 и 150 раз соответственно.

В таблице 5 приведены сравнительные данные по экологическому ущербу только от выбросов твердых частиц (ТЧ) с шинной пылью и с ОГ при будущих нормах Евро-6 для населения в крупных городах.

Таблица 5

Пробег		Выбросы твердых частиц, г/км		Выброс ТЧ в кг за ПЖЦ		Ущерб, руб. Показатели экологической опасности	
Автомобили	**Км**	**От шин**	Евро-6	от шин	с ОГ	от шин	от ОГ
Легковые	300000	0,132	0,005 г/км	39,6	1,5	63152	1130
Грузовые	1000000	1,5	0,01 г/кВт	1500	10	2385000	7050

Таким образом, ущерб от шинной пыли в настоящее время превышает ущерб наносимый от ОГ легкового автомобиля более чем в 50 раз, а по автобусам и грузовому транспорту более чем в 300 раз.

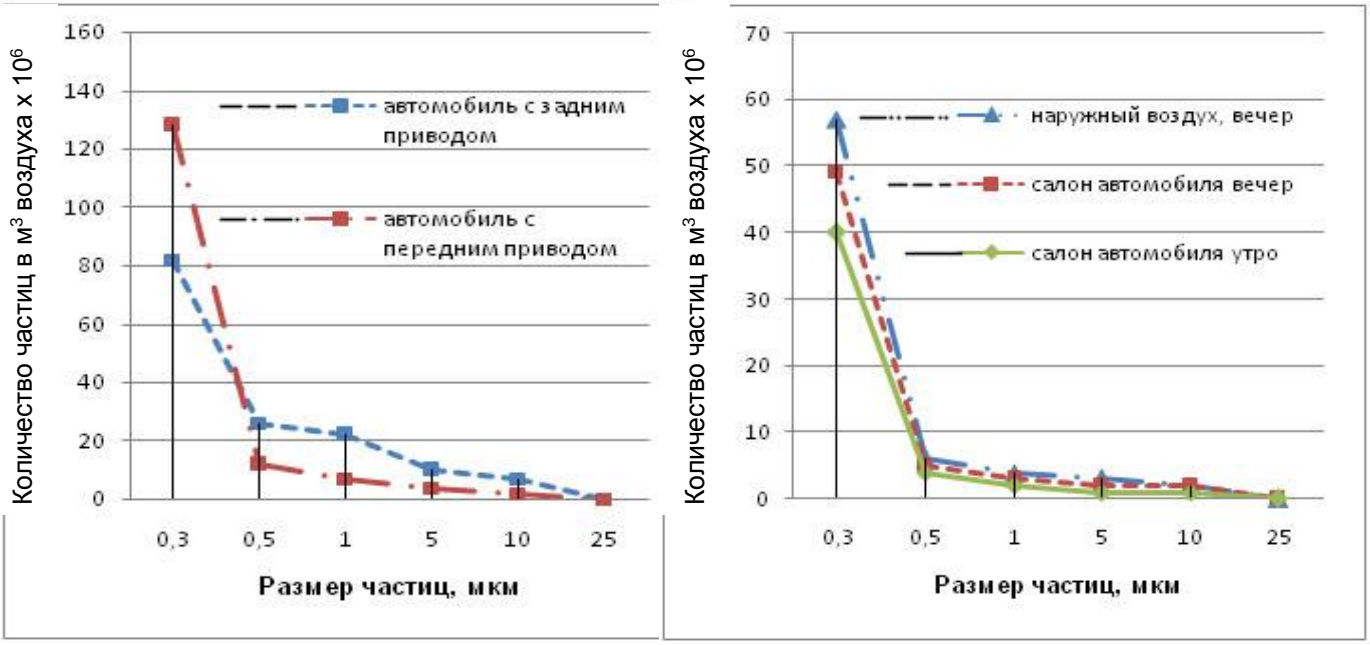
На основании проведенных исследований можно констатировать что предложение ВОЗ, заявленное в конце 2012 года о запрете использования в городах автомобилей с дизельными двигателями, является необъективным и ошибочным в то время как повышенные выбросы ВВ с шинной пылью никак не ограничиваются международными и национальными нормативными документами.

Дополнительно, проведенными экспериментальными исследованиями с использованием счетчика частиц Lighthouse Handheld 3016 (рисунок 8) выявлено, что в процессе эксплуатации в результате износа шин, тормозных колодок, дисков и дорожного полотна формируется повышенное содержание твердых частиц над проезжей частью улицы, а также и внутри салонов и кабин автомобилей, причем основное их количество составляют частицы размером до 1 мкм (рисунок 9).

а) б)

Рисунок 8 – Счетчик частиц Lighthouse Handheld 3016:

а – общий вид счетчика; б – интерфейс пользователя в режиме счета частиц



А Б

Рисунок 9 - Содержание твердых частиц в наружном воздухе при заборе воздуха из под колеса (А) и перед лобовым стеклом и в салоне (Б) автомобиля при движении в городе (в плотном транспортном потоке)

Из представленных на рисунке 9 данных следует, что основные размеры твердых частиц в воздухе над проезжей частью дорог, а также и в салонах и кабинах автомобилей от износа шин и дорожного покрытия, находятся в диапазоне от 0,3 до 1 мкм.

В виду отсутствия нормативных требований к эффективной очистке воздуха от твердых частиц в салонах автомобилей, недостаточной тонкости очистки воздуха с помощью существующих салонных фильтров создается повышенное содержание ВВ в воздушной среде салонов автомобилей и автобусов, часто превышающие гигиенические стандарты РФ (ГОСТ Р51206-20011).

Для устранения этого негативного процесса были осуществлены следующие мероприятия:

- разработан проект ГОСТа Р 51206-2015 « Автотранспортные средства. Салонные фильтры. Салонные очистители воздуха. Нормы и методы испытаний»;
- включены в стратегический план исследований технологической платформы Российской Федерации «Зеленый автомобиль» проблемные вопросы по разработке мероприятий с целью снижения выбросов ТЧ от износа шин и дорожного полотна.

Основные результаты и выводы

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача: на основании расчетных и экспериментальных исследований определено не эффективное нормирование международными и национальными стандартами выбросов вредных веществ от автомобилей. Показано значительное превышение в 25-150 раз международных нормативов Евро-6 на выброс особо опасных твердых частиц с ОГ выбросами ТЧ от износа шин и дорожного

полотна. Изучены и определены пути снижения загрязнения вредными веществами воздушной среды внутри салонов и кабин автомобилей путем разработки салонных фильтров нового поколения. Исследованы и выработаны рекомендации по эффективным направлениям разработок по снижению выбросов вредных веществ и парниковых газов по первоочередным мероприятиям в рамках технологической платформы РФ «Экологически чистый транспорт – Зеленый автомобиль».

Результаты проведенных теоретических и экспериментальных исследований позволяют сделать следующие выводы:

1. Разработанная комплексная методика исследований и оценки экологической безопасности автомобилей на базе суммарного показателя выбросов ВВ с учетом их относительной агрессивности позволяет объективно сравнить различные конструктивные новшества (мероприятия) по их экологической эффективности.

2. Выбранный комплекс математических моделей и методика расчета для оценки экологических и экономических показателей автомобилей с традиционными ДВС, с КЭУ и ЭМ в их полном жизненном цикле по предотвращенному экологическому ущербу позволяет определить экономически целесообразные направления развития конструкций на ближайшую и отдаленную перспективу.

3. Выполненные комплексные теоретические и экспериментальные исследования позволяют определить экономическую эффективность планируемых мероприятий по снижению выбросов ВВ и ПГ, при разработке и внедрении различных конструкций автомобилей Российскими производителями на ближайшую перспективу до 2020 года в соответствии с перспективными требованиями международных Правил ООН.

4. Проведенные теоретические оценки экономической эффективности различных планируемых мероприятий мировыми производителями автомобилей для обеспечения выполнения перспективных норм на выброс CO_2 на предстоящие периоды 2030 и 2050 годы, позволили подтвердить реальность уменьшения выброса ПГ мировым парком автотранспорта к 2050 г. до уровня 2005 г.

5. Впервые в мировой практике проведена сравнительная оценка выброса твердых частиц с ОГ автомобилей и выброса твердых частиц от износа шин, выброс которой превышает в 25-150 раз нормы ЕВРО-6, предусмотренные международными Правилами ООН выбросов твердых частиц из ОГ автомобилей, что указывает на необъективность и ошибочность требований, выдвинутых в 2012 году Всемирной организации здравоохранения дальнейших ужесточений нормативов на выброс ТЧ с отработавшими газами, вплоть до запрещения использования автомобилей с дизельными двигателями в городах Европы. На основании проведенных исследований, Всемирный Форум по конструкции транспортных средств, включил в план работ Рабочей группы по загрязнению, изучение проблемы с выбросом шинной пыли и тормозных накладок.

6. Разработаны и обоснованы основные технические требования к новым системам очистки воздуха по эффективному снижению содержания ТЧ и особо

опасных вредных веществ от износа шин, и дорожного полотна в салонах автомобилей для обеспечения экологической безопасности человека внутри автомобиля, особенно на магистралях крупных городов в проекте ГОСТа «Автомобильные транспортные средства. Устройства для очистки воздуха салона, кабины, пассажирского помещения и фильтры к ним. Технические требования и методы испытаний».

7.Исследованы и определены мероприятия по достижению перспективных нормативов на 2015 год по выбросу парниковых газов (СО2) на примере легковых автомобилей «ЛАДА», с наименьшими экономическими затратами, путем перехода на газовое топливо и применения системы «Стоп-Старт».

8. Предложены научно обоснованные варианты наиболее экологичных мероприятий в проект дорожной карты технологической платформы «Экологически чистый транспорт – Зеленый автомобиль» Российской Федерации по повышению экологической безопасности автомобильного транспорта.

С п и с о к научных публикаций АЗАРОВА В.К.

1. **Азаров В.К., Кутенёв В.Ф.** К вопросу об экономической целесообразности и обоснованности внедрения экологических мероприятий в конструкции силовых установок // Труды НАМИ: сб. науч. ст.– М.,2011. – Вып. №246, –С. 130–141.
2. **Азаров В.К., Кутенев В.Ф., Теренченко А.С.** Роль колесных транспортных средств в глобальном загрязнении атмосферы выбросами парниковых газов - CO_2 // «Журнал ААИ». – М., 2012.– №2(73).–С. 8–11.
3. **Азаров В.К., Кутенев В.Ф., Теренченко А.С., Ягупов С.В.** Биотоплива и другие энергоносители для колесных транспортных средств // Жур. «Транспорт на альтернативном топливе» – М., 2012. – №3(27).– С. 72–74.
4. **Азаров В.К.** Новые нормы на черный углерод в саже и их влияние с парниковыми газами CO_2 на потепление климата планеты // «Журнал ААИ». –М., 2012. – №4(75). – С. 54–57.
5. **Азаров В.К., Козлов А.В., Кутенев В.Ф., Теренченко А.С.** Анализ возможностей повышения энергетической эффективности и улучшения экологических показателей современного легкового автомобиля массового производства применением новых энергетических установок // Труды НАМИ: сб. науч. ст.– М., 2012. – Вып. №249, –С15–22.
6. **Азаров В.К., Кутенев В.Ф., Степанов ВВ.** О выбросе твердых частиц автомобильным транспортом // Журнал ААИ». – М., 2012. – №6(77). – С. 55–58.
7. **Азаров В.К.** Методика исследования экологической безопасности автомобиля по суммарному показателю выброса вредных веществ с отработавшими газами с учетом их относительной агрессивности // Труды НАМИ: сб. науч. ст.– М., 2013. –Вып. №252, – С.81–93.
8. **Азаров В.К., Козлов А.В., Кутенев В.Ф., Теренченко А.С.** Экономика современных и перспективных конструкций автомобилей в их полном жизненном цикле // «Журнал ААИ». – М., 2013. №1(78). –С. 46–48.
9. **Азаров В.К., Кутенев В.Ф., Степанов В.В**., Реальный выброс твердых частиц автомобильным транспортом // «Журнал ААИ». –М., 2013. – №3(80). –С. 81–93.
10. **Азаров В.К., Кутенев В.Ф., Сайкин А.М.** Автомобиль и его влияние на систему «Дорога – окружающая среда – человек» // Труды НАМИ: сб. науч. ст. – М., 2013. –Вып. №254, – С.47–58.
11. **Азаров В.К.** Обзорный анализ проблемных вопросов нормирования экологических показателей и эффективности реализации их в производстве и эксплуатации автотранспортных средств // Труды НАМИ: сб. науч. ст.– М., 2013. –Вып. №255, – С.48–64.
12. **Азаров В.К., Кутенев В.Ф., Сайкин А.М.** Проблемы при создании экологически «чистого» автомобиля // Жур. «Автомобильная промышленность» – М., 2013. №10. –С.5–7.
13. **Азаров В.К., Сайкин А.М., Кутенев В.Ф., Малкин М.А.** Шины и дорожное покрытие как источник загрязнения атмосферного воздуха автотранспортными средствами, // Труды НАМИ: сб. науч. ст.– М.,2014 – Вып. №256, –с.72-85.