

АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени доктора философии PhD по направлению подготовки: 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», образовательной программе: 8D07102 – «Транспорт, транспортная техника и технологии»

САРСЕМБЕКОВА БАУЫРЖАНА КОБЛАНОВИЧА

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ УЛЬТРАЗВУКОВОГО АВТОМОБИЛЬНОГО ГЛУШИТЕЛЯ

Актуальность диссертационной работы. Диссертация выполнена в рамках Государственной программы инфраструктурного развития Республики Казахстан «Нұрлы жол» на 2020-2025 годы, на соискание степени доктора философии PhD по направлению подготовки 8D071 – «Инженерия и инженерное дело», образовательная программа докторантуры PhD 8D07102 – «Транспорт, транспортная техника и технологии».

Развитие транспорта, научно-технический прогресс и прогрессивный рост производства влияют на состояние окружающей и природной среды на всей планете. Отработанные газы автомобилей попадают на нижний слой атмосферы и влияют на дыхательные пути человека. По причине неполного сгорания топлива в двигателе автомобилей, частицы углеводородов превращаются в состояние, содержащее смолистые вещества. Причиной большого количества вредных веществ в выхлопных газах автотранспорта является низкий технический уровень автотранспорта, сильный износ, отсутствие средств обнаружения неисправностей в двигателях.

Существуют ряд способов очистки отработавших газов автомобилей от вредных примесей. Наиболее распространенные из них: сухой, влажный, электрический, каталитический и ультразвуковой.

К недостаткам приведенных методов газоочистки относится: большой абразивный износ внутренних частей аппарата при сухом методе очистки; пыль с малой электрической проводимостью не фильтруется, необходимо производить чистоту осадительных и коронирующих электродов, сложность и высокая стоимость аппаратов, большой расход энергии при электрическом методе очистки; небольшой срок службы каталитических нейтрализаторов при каталитическом методе очистке выхлопных газов автомобилей. Кардинальное решение заключается в применении электромобилей. Однако автомобили с ДВС будут эксплуатироваться еще долгое время.

Известен эффективный способ очистки газов ультразвуковыми колебаниями. Этот способ обладает рядом достоинств: простота оборудования, дешевизна в сравнении с катализаторами. Его возможно применять для модернизации уже существующих глушителей. Сущность его заключается в воздействии на выхлопной газ ультразвуковых волн от 28 кГц

до 40 кГц. Однако глушители, использующие этот метод очистки отсутствуют.

Отсутствие исследований процесса ультразвуковой очистки выхлопных газов в глушителе ДВС автомобиля и предложений по их конструкциям определяют **актуальность исследования**.

Гипотезой исследования является предположение о возможности эффективной очистки выхлопных газов внутри глушителя автомобиля за счет повышения коагуляции частиц при воздействии ультразвуковых волн.

Целью исследования является установление зависимостей описывающих процесс работы ультразвукового автомобильного глушителя.

Для достижения цели решены следующие **задачи**:

- произведен анализ методов очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания автомобилей;
- выполнен сравнительный анализ конструкции автомобильных глушителей;
- выбран вариант метода очистки выхлопных газов автомобилей;
- разработана и исследована математическая модель работы ультразвукового автомобильного глушителя;
- разработаны экспериментальные автомобильные глушители и подтверждены полученные аналитическим путем результаты;
- предложена конструкция ультразвукового автомобильного глушителя с оптимальными параметрами и максимальной эффективностью системы очистки выхлопных газов автомобильного транспорта от вредных примесей, а также метод технического обслуживания глушителя.

Методы исследования. В диссертации использованы методы математической статистики, математического анализа, планирования и обработки эксперимента.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- экспериментальным путем подтверждена гипотеза о возможности очистки выхлопных газов ДВС ультразвуком, доказана, что физическая сущность процесса очистки газа заключается в возникновении кроме ортокинетической коагуляции частиц, также гидродинамической коагуляции, что увеличивает массу осаживаемых частиц в глушителе;
- теоретическим путем установлены зависимости между амплитудно-частотными характеристиками ультразвукового излучателя, длиной и диаметром глушителя, плотностью и динамической вязкостью газа;
- получено граничное условие осаждения сажи в глушителе автомобиля в зависимости от скоростей движения газа и геометрических параметров конструкции;
- описан закон изменения коэффициента коагуляции частиц сажи в зависимости от ее начальной и текущей массы и времени воздействия в ультразвуком глушителе, подтвержденный экспериментально;

- установлено что, дымность газа и масса осаживаемой сажи возрастает при увеличении числа оборотов двигателя автомобиля и расстояния проходимого частицей;

Научные положения, выносимые на защиту:

- сущность процесса очистки газа заключается в возникновении гидродинамической коагуляции газов в глушителе автомобиля под действием ультразвука;

- закономерности изменения коэффициента коагуляции и массы коагулируемых частиц от расстояния осаживания, концентрации вредных веществ от числа оборотов коленчатого вала ДВС автомобиля;

- ультразвуковое воздействие на выхлопные газы в проточном ультразвуковом автомобильном глушителе позволяет уменьшить степень токсичности выхлопных газов автомобилей более чем в 2 раза и увеличить гидродинамическую коагуляцию в 1,5 раза;

- зависимости уменьшения токсичности и увеличения массы сажи от расстояния осаживания при различных оборотах ДВС под воздействием ультразвука в экспериментальном полноразмерном стенде;

- формулу критического отношения скоростей движения газа, длины и диаметра глушителя.

Автор защищает:

1. Метод очистки выхлопных газов от вредных примесей ультразвуковым автомобильным глушителем;

2. Математическую модель, которая позволяет рассчитать оптимальные параметры ультразвукового автомобильного глушителя для получения максимальной эффективности ультразвуковой очистки отработавших газов автомобилей;

3. Результаты экспериментальных исследований;

4. Предложенную конструкцию устройства для очистки отработавших газов автомобилей;

5. Методику расчета и техническое задание на проектирование опытной конструкции ультразвукового автомобильного глушителя для очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта.

Объектом исследования является ультразвуковой автомобильный глушитель для очистки выхлопных газов автомобилей.

Предметом исследования является процесс уменьшения токсичности выхлопных газов ДВС.

Практическая значимость заключается в разработке методики расчета и технического задания на проектирование ультразвукового автомобильного глушителя для проведения модернизации существующих автомобилей. В частности:

Разработаны несколько вариантов конструкции экспериментальных полноразмерных ультразвуковых автомобильных глушителей при оптимальных параметрах, позволившие получить экспериментальные

зависимости изменения массы сажи от расстояния осаживания без ультразвука и с ультразвуковым воздействием при различных режимах работы ДВС;

Результаты исследований переданы в ТОО «ИНСТИТУТ ГРАДИЕНТ ПРОЕКТ».

Получено **грантовое финансирование** молодых ученых по проекту «Жас ғалым» по теме «Разработка и исследование ультразвукового метода очистки выхлопного газа двигателей внутреннего сгорания транспортной техники» на 2022-2024 годы.

Краткое содержание. В первой главе диссертации проведен анализ загрязнения воздуха автомобилями на примере города Караганда. Проанализированы способы очистки газов, рассмотрены патенты автомобильных глушителей. Установлено, что глушители с вмонтированным в него излучателем ультразвука нет. Поставлены цель и задачи исследования.

Во второй главе описана физика процесса очистки выхлопного газа в автомобильном глушителе. Разработана и исследована математическая модель движения газа в глушителе. Проинтегрировано дифференциальное уравнение движения и получена зависимость скорости движения частицы в зависимости от параметров глушителя и среды.

Получено граничное условие эффективности очистки газа, заключающееся в том, что время осаживания частицы сажи должна быть меньше чем время движения по глушителю. Получено значение коэффициента коагуляции частиц газа.

В третьей главе описан эксперимент. Целью эксперимента являлось получение зависимостей определяющие параметры коагуляции: массу сажи, коэффициент коагуляции и его скорость. Для достижения поставленных целей были проведены натурные эксперименты на разработанных полноразмерных стендах. Задачами экспериментов являлись: на первом этапе определить степень очистки выхлопного газа от СО и СН, на втором этапе установить графики зависимости массы осаживаемой сажи от длины глушителя L. Далее при обработке вычислить коэффициент коагуляции.

В результате экспериментов получены зависимости подтверждающие гипотезу об эффективности очистки выхлопных газов автомобилем в глушителе.

Экспериментальным путем подтверждена гипотеза о возможности очистки выхлопных газов ДВС ультразвуком, масса коагулированных частиц (сажи) под действием ультразвука увеличивается более чем в 2 раза, также увеличивается процентное содержание кислорода и уменьшается количество углекислого газа, значительно уменьшается степень помутнения выхлопного газа, более чем на 21%;

Четвертая глава посвящена реализации результатов исследования, в частности: методике расчета, определению величины экономического эффекта, разработке карт технического обслуживания ультразвукового автомобильного глушителя и технического задания на проектирование.

Личный вклад диссертанта.

Работа выполнена автором лично, в том числе, автор произвел анализ методов очистки выхлопных газов двигателей внутреннего сгорания автомобилей, выполнил сравнительный анализ конструкции автомобильных глушителей. Разработал и исследовал математическую модель работы ультразвукового автомобильного глушителя. Создал экспериментальные автомобильные глушители в трех вариантах для подтверждения полученных аналитическим путем результатов. Получил и сравнил аналитические и экспериментальные зависимости описывающие работу ультразвукового автомобильного глушителя.

Публикации и апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в 11 научных работах, в том числе в 2 статьях, входящей в базу данных Scopus и имеющих ненулевой импакт-фактор, 3 статьях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере образования и науки МОН РК, 1 статье, входящей в реферативную базу РИНЦ, 5 тезисах международных научно - практических конференций.

Отправлены 2 заявки на получения Евразийских патентов на изобретение. Многие аспекты работы доложены и обсуждены в форме устных докладов на международных, республиканских и университетских научных конференциях: в Международной конференции XV Международная научно-практическая конференция «Перспективные вопросы мировой науки – 2019», г. София, Болгария; в Международных научно-практических конференциях (Сагиновские чтения №12, №13, №14); В статье «Experimental research of the process of coagulation of exhaust gases under the influence of ultrasound» в журнале «КОМУНИКАЦИЕ» входящий в базу Scopus, 3 квартиль, процентиль по Транспорту 43, в разделе журнала «Automotive in Transport», <https://doi.org/10.26552/com.C.2021.4.B288-B298> автор разработал экспериментальный ультразвуковой автомобильный глушитель, провел экспериментальное исследование и получил положительные результаты по очистке выхлопного газа ДВС автомобилей ультразвуком. В статье «Ultrasonic unit for reducing the toxicity of diesel vehicle exhaust gases» в журнале «КОМУНИКАЦИЕ» входящий в базу Scopus, 3 квартиль, процентиль по Транспорту 43, в разделе журнала «Automotive in Transport», <https://doi.org/10.26552/com.C.2022.3.B189-B198> автор провел экспериментальное исследование. В статье «Моделирование процесса коагуляции частиц выхлопного газа ультразвуковым глушителем» в журнале «Труды Университета» КарГУ, раздел «Машиностроение» автор разработал и исследовал математическую модель работы ультразвукового автомобильного глушителя. В статье «Исследование процесса ультразвуковой очистки выхлопных газов двигателя внутреннего сгорания» в журнале «Вестник Евразийского национальный университет имени Л.Н. Гумилева, серия Технические науки и технологии» автор провел экспериментальное исследование, получил результаты и составил диаграмму содержания СН и СО в выхлопном газе при 1000 оборотах коленчатого вала

в минуту для автомобиля Volkswagen Passat B3. В статье «Establishment of the Reynolds criterion for ultrasonic cleaning of exhaust gases of internal combustion engines» в журнале «Труды Университета» КартУ, раздел «Транспорт», автор написал раздел материалы и методы, разработал металлический ультразвуковой автомобильный глушитель, провел эксперимент, произвел фото и видеофиксацию внутренних процессов происходящих внутри ультразвукового автомобильного глушителя встроенным микроскопом.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа из введения, 4 разделов и выводов, изложенных на 114 страницах печатного текста, содержит 54 рисунка, 28 таблиц, список использованных источников из 114 наименований, 6 приложений.

Автор выражает благодарность научным консультантам - д.т.н., профессору Кадырову А.С., зарубежным научным консультантам: к.т.н., профессору Суюнбаеву Ш. М. и д.т.н., профессору Илесалиеву Д.И., а также директору ТОО «ИНСТИТУТ ГРАДИЕНТ ПРОЕКТ» Королеву Д.Е. за помощь и содействие во внедрении ультразвукового автомобильного глушителя в производство.

Результаты исследования и основные выводы. Диссертация содержит новые научно-обоснованные результаты, использование которых обеспечивает решение важной прикладной задачи разработки методики расчета конструктивных параметров ультразвукового автомобильного глушителя для снижения токсичности выхлопного газа и вредных выбросов мелкодисперсных твердых частиц (сажи) в атмосферу в процессе работы двигателей внутреннего сгорания автомобильного транспорта.

1. Теоретическим и экспериментальным путем подтверждена гипотеза о возможности очистки выхлопного газа ДВС автомобилей ультразвуковым генератором вмонтированным в глушитель;

2. Произведенный сравнительный анализ автомобильных глушителей позволил сделать вывод об отсутствии эффективных устройств очистки выхлопных газов автомобильного транспорта;

3. Анализ способов очистки выхлопных газов обосновывает необходимость уменьшения их токсичности за счет ультразвукового воздействия;

4. Описана физическая сущность процесса коагуляции выхлопных газов под воздействием ультразвука в автомобильном глушителе, понимание которой необходимо для разработки математической модели процесса очистки выхлопных газов ДВС;

5. Получено граничное условие осаждения сажи в глушителе автомобиля в зависимости от скоростей движения газа и геометрических параметров конструкции;

6. Описан закон изменения коэффициента коагуляции частиц сажи в зависимости от ее начальной и текущей массы и времени воздействия в ультразвуком глушителе, подтвержденный экспериментально;

7. Экспериментальным путем подтверждена гипотеза о возможности очистки выхлопных газов ДВС ультразвуком, масса коагулированных частиц (сажи) под действием ультразвука увеличивается более чем в 2 раза, также увеличивается процентное содержание кислорода и уменьшается количество углекислого газа, значительно уменьшается степень помутнения выхлопного газа, более чем на 21%;

8. Дымность газа и масса осаживаемой сажи возрастает при увеличении числа оборотов двигателя автомобиля и расстояния проходимого частицей;

9. Доказана, что физическая сущность процесса очистки газа заключается в возникновении кроме ортокинетической коагуляции частиц, также гидродинамической коагуляции, что увеличивает массу сажи.

10. Предложены конструкции ультразвуковых автомобильных глушителей, произведенный экономический эффект составляет 438 тенге.

11. Перспективность исследований заключается в установлении оптимального режима работы системы двигатель-ультразвуковой глушитель.