

## **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 «КОМУНИКАЦИЈЕ» 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 «КОМУНИКАЦИЈЕ» 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 смонтированным 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.