

## **АННОТАЦИЯ**

Диссертация на соискание степени доктора философии (PhD)  
По направлению подготовки 8D071 – «Инженерия и инженерное дело»,  
По образовательной программе 8D07102 – «Транспорт, транспортная техника  
и технологии»

**СИНЕЛЬНИКОВА КИРИЛЛА АНАТОЛЬЕВИЧА**

### **РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И ЭКСПЛУАТАЦИИ АВТОМОБИЛЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА**

**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 8D07102 – «Транспорт, транспортная техника и технологии».

В мире насчитывается десятки миллионов автомобилей. С ростом технологического развития в автомобильной транспортной индустрии также увеличивается сложность автомобильных систем, что, в свою очередь приводит к появлению новых видов неисправностей и проблем.

Автомобиль сложная совокупность узлов и деталей, состоящий из следующих систем: двигатель, трансмиссия, ходовая часть, электрооборудование, система охлаждения и отопления, топливная система, выхлопная система, система зажигания, система смазки и тормозная система.

Система трансмиссии, двигатель, ходовая часть, каркас непрерывно совершенствуются крупными автомобильными компаниями.

Однако некоторые системы могут быть усовершенствованы вне автомобильных заводов. К ним относится очистка радиаторов автомобилей и очистка выхлопных газов в глушителе машин.

Анализ показал эффективность использования ультразвука для очистки загрязнений деталей, газов в помещениях, жидкостей. Ультразвуковая акустическая коагуляция при воздействии на жидкость создает кавитацию, а на газ коагуляцию крупных частиц.

В настоящее время трубки радиаторов автомобилей очищаются механическим и химическим способом. Оба этих способа не безопасны для деталей радиаторов. Необходим новый метод очистки радиаторов, лишенный этих недостатков. Например, очистка радиаторов за счет кавитации жидкости в трубках под действием ультразвука.

Проведены успешные исследования по очистке выхлопных газов автомобилей с бензиновыми двигателями. За критерий оценки принимался коэффициент коагуляции (образование сажи) в глушителе под действием ультразвуковой волны.

В связи с разницей в принципе действия бензиновых и дизельных двигателей: разным давлением и используемом топливе полученные результаты не вполне корректны для двигателя, работающего на солярке.

Научных и практических результатов по очистке радиаторов кавитацией нет, по очистке выхлопных газов дизельного двигателя их недостаточно.

В связи с этим установление зависимостей, определяющих процесс очистки трубок радиаторов и выхлопных газов дизельного двигателя ультразвуком актуальным.

**Гипотезой исследования** является предположение о возможности очистки трубок радиаторов системы охлаждения кавитацией жидкости, а выхлопного газа в глушителе коагуляцией его частиц, возникающих под действием ультразвуковых волн.

**Цель исследования** является получение зависимостей, определяющих процессы очистки ультразвуковой волной трубок радиаторов автомобилей и выхлопных газов в глушителе дизельного двигателя.

Для достижения цели решены следующие **задачи**:

- проведен анализ неисправностей, способов очистки, охлаждающих жидкостей и систем охлаждения автомобилей;
- выполнен анализ конструкций, систем нейтрализации выхлопных газов и экологических норм для автомобилей, оснащённых дизельным двигателем;
- произведен анализ результатов исследования по воздействию ультразвуковой волны с жидкими и газообразными средами;
- проведены теоретические и экспериментальные исследования способа очистки трубок радиаторов системы охлаждения автомобиля кавитацией, возникающей в жидкой среде за счет ультразвука;
- получено уравнение регрессии, массы вычищаемой накипи и скорости истечения жидкости из трубок от времени воздействия ультразвука
- обоснованы безразмерные коэффициенты, определяющие эффективность процесса очистки радиатора;
- разработана и исследована математическая модель очистки выхлопных газов в глушителе дизельных двигателей;
- выполнены экспериментальные исследования снижения токсичности и дымности выхлопных газов дизельного автомобиля при помощи ультразвука.
- разработаны технологические карты, техническое задание и произведен расчет экономической эффективности.

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

**Научная новизна исследования заключается в следующем:**

- экспериментальным путем получены регрессионные зависимости связывающие массу вымытой из радиаторов накипи с временем воздействия ультразвука, температуры жидкости и плотности пульпы;

- представлены и установлены коэффициенты эффективности очистки радиаторов в зависимости от плотности пульпы, массы вымытой накипи и скорость истечения жидкости до и после воздействия ультразвуком;

- экспериментально установлено, что под воздействием ультразвука дымность выхлопного газа уменьшается, а содержание кислорода увеличивается, получены уравнения регрессии связующие параметр увеличивается;

- в результате разработки и исследовании математической модели коагуляции выхлопных газов дизельного двигателя установлены безразмерные коэффициенты подобия, определяющие динамические, кинетические характеристики процесса;

- предложен коэффициент эффективности процесса очистки, зависящей от числа оборотов коленчатое вала двигателя.

**Научные положения, выносимые на защиту:**

- под действием ультразвуковой волны в радиаторе залитой теплой водой с температурой около 60 С<sub>о</sub> происходит интенсивная кавитация срывающая накипь со стенок трубок;

- зависимости коэффициентов эффективности процесса очистки характеризующие увеличения массы накипи и скорости движения жидкости в радиаторе от времени воздействия ультразвуком;

- зависимости дымности выхлопного газа от числа оборотов двигателя до и после воздействия ультразвуком;

- безразмерные коэффициенты, описывающие соотношение динамического трения частиц газа в турбулентном и ламинарном режимах, скоростей движения газа в этих режимах и отношение мощностей УЗ 100 Вт, ДВС 120 кВт.

**Автор защищает:**

1. Способ очистки трубок радиаторов автомобилей ультразвуковым воздействием;

2. Способ очистки выхлопных газов дизельного ДВС ультразвуком в глушителе автомобиля;

3. Полученные результаты экспериментальных исследований;

4. Математическую модель движения частицы газа в глушителе автомобиля;

5. Полученные коэффициенты подобия для процессов очистки радиаторов и газа в глушителе;

б. Разработанные технические карты по очистке радиаторов системы охлаждения автомобиля ультразвуком и техническое задание на проектирование системы очистки выхлопных газов дизельного двигателя.

**Объекты исследования:** является радиатор автомобиля и система очистки выхлопных газов дизельного двигателя.

**Предметом исследования:** является процесс очистки радиаторов системы охлаждения автомобиля и выхлопных газов дизельного двигателя с применением ультразвука.

**Практическая значимость** заключается в разработке технологической карты очистки трубок радиаторов ультразвуком и технического задания на оборудование по очистке выхлопных газов дизельных двигателей в глушитель;

Результаты исследований переданы в ТОО «ИНСТИТУТ ГРАДИЕНТ ПРОЕКТ».

#### **Краткое содержание.**

В первой главе по литературным и патентным источникам произведен анализ работы и технического обслуживания систем транспортных средств, оснащаемого ДВС. На основании проведенного анализа, автором выбраны системы для модернизации работы и технического обслуживания транспортного средства. Произведен аналитический обзор ультразвуковых систем и сравнение ультразвукового и электроимпульсного способа очистки выхлопных газов автомобиля. Анализ состояния вопроса и аналитический обзор завершается постановкой задач исследования.

Во второй главе автором был произведен анализ конструкции, неисправностей и способов очистки системы охлаждения и радиаторов. Приведена физическая сущность процесса очистки трубок радиатора при помощи ультразвука. Автор разработал и изготовил экспериментальную установку, произвел экспериментальное исследование и анализ результатов по разработке и исследованию способа очистки радиаторов системы охлаждения автомобиля при помощи ультразвука.

Третья глава диссертации посвящена исследованию процесса ультразвуковой очистки выхлопных газов дизельного ДВС. Автором был выполнен обзор конструкции и работы дизельного двигателя, систем выпуска и нейтрализации выхлопных газов дизельного двигателя, приведена физика процесса ультразвуковой коагуляции, разработана математическая модель коагуляции выхлопных газов дизельного двигателя. Автором была создана конструкция для снижения токсичности выхлопных газов дизельного двигателя, выполнен эксперимент и анализ полученных результатов. разработал и изготовил экспериментальную установку

В четвертой главе представлена реализация результатов исследования. Автором были предложены карты технического обслуживания автомобильных радиаторов при помощи ультразвука и техническое задания на оборудование по очистке выхлопных газов дизельных двигателей в глушителе, произведен расчет экономической эффективности метода

технического обслуживания очистки радиаторов системы охлаждения при помощи ультразвука. В заключении представлены краткие выводы по результатам диссертационного исследования.

#### **Личный вклад диссертанта.**

Работа выполнена автором лично, в том числе, автор произвел анализ методов очистки радиаторов системы охлаждения двигателей внутреннего сгорания автомобилей, выполнил сравнительный анализ конструкции глушителей дизельных двигателей. Разработал и исследовал математическую модель работы ультразвукового автомобильного глушителя. Создал экспериментальные стенд для очистки трубок радиатора при помощи ультразвука и автомобильный глушитель для дизельного двигателя для подтверждения полученных аналитическим путем результатов. Получил и сравнил аналитические и экспериментальные зависимости, описывающие работу очистки трубок радиатора автомобиля и глушителя для дизельного двигателя при помощи ультразвука.

**Публикации и апробация работы.** Основные положения диссертации опубликованы в 11 научных работах, в том числе в 3 статьях, входящей в базу данных Scopus и имеющих ненулевой импакт-фактор, 5 статьях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в науке и высшего образования МНВО РК, 2 тезисах международных научно - практических конференций. Получен патент на полезную модель «Способ очистки газов»

Многие аспекты работы доложены и обсуждены в форме устных докладов на международных, республиканских и университетских научных конференциях:

В Международных научно-практических конференциях (Сагиновские чтения №14, №15);

В статье «Studying the Process of Transport Equipment Cooling System Ultrasonic Cleaning» 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.2022.4.B288-B300> автор разработал экспериментальную установку для ультразвуковой очистки радиаторов автомобиля, провел экспериментальное исследование и получил положительные результаты по возможности очистке трубок радиатора автомобиля при помощи ультразвука.

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 разработал ультразвуковой глушитель для дизельных двигателей внутреннего сгорания, провел экспериментальное исследование и получил положительные результаты по очистке дизельных выхлопных газов ультразвуком.

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.

В статье «Development of a methodology for experimental studies to determine the optimal operating modes of an ultrasonic muffler» в журнале «Вестник КазАТК», раздел «Транспорт, транспортная инженерия» автор провел экспериментальное исследование по усовершенствованию системы очистки отработавших газов двигателей внутреннего сгорания, посредством внедрения в устройство глушителя ультразвукового излучателя.

**Структура и объем диссертации.** Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов и выводов, изложенных на 147 страницах печатного текста, содержит 76 рисунков, 24 таблицы, список использованных источников из 187 наименований, 3 приложений.

Автор выражает благодарность научным консультантам - д.т.н., профессору Кадырову А.С., зарубежному научному консультанту д.т.н., профессору Сахапову Р.Л., а также директору ТОО «ИНСТИТУТ ГРАДИЕНТ ПРОЕКТ» Королеву Д.Е. за помощь и содействие во внедрении способов очистки радиаторов системы охлаждения автомобиля и выхлопных газов дизельных двигателей за счет воздействия ультразвуковой волны в производство.

**Результаты исследования и основные выводы.** Диссертация содержит новые научно-обоснованные результаты, использование которых обеспечивает решение важной прикладной задачи: разработки способов очистки радиаторов системы охлаждения автомобиля и выхлопных газов дизельных двигателей за счет воздействия ультразвуковой волны.

В результате исследования сделаны следующие выводы:

1. Подтверждена гипотеза эффективности использования ультразвука для очистки трубок радиатора системы охлаждения двигателя
2. Произведен анализ конструкций, неисправностей, способов очистки системы охлаждения автомобилей;
3. Выполнен анализ конструкций, систем нейтрализации выхлопных газов и экологических норм для автомобилей, оснащённых дизельным двигателем;
4. Проанализированы результаты исследования по воздействию ультразвуковых волн на жидкие и газообразные среды;
5. Установлено что 40% отказов двигателей внутреннего сгорания происходит из-за неисправности системы охлаждения.
6. Экспериментально получены регрессионные зависимости массы, вымытой накипи из трубок радиатора от времени воздействия ультразвука и температуры жидкости;
7. Скорость истечения жидкости через трубки радиатора после воздействия ультразвуком и плотность жидкости увеличивается;
8. Насыщение жидкости воздухом путем барботажа повышает эффективность очистки, так как увеличивается кавитация в трубках;

9. Предложены и определены безразмерные коэффициенты эффективности процесса, определяемые отношениям массы накипи, скорости истечения жидкости и плотности пульпы к начальным значениям;

10. Разработана и исследована математическая модель очистки выхлопных газов в глушителе автомобиля при ламинарном и турбулентном движении газов;

11. Предложены безразмерные коэффициенты, определяющие влияние турбулентности и скорости амплитуды движения частиц газа на эффективность процесса;

12. Разработаны технические карты по очистке радиаторов системы охлаждения автомобиля ультразвуком;

13. Разработано техническое задание на проектирование системы очистки выхлопных газов дизельного двигателя;

14. Произведен расчет экономического эффекта.