

АННОТАЦИЯ

Диссертации на соискание степени доктора философии (PhD)
По направлению подготовки 6D071 – «Инженерия и инженерное дело»,
По специальности 6D071300– «Транспорт, транспортная техника и технологии»

МОЛДАБАЕВА БАУРЖАНА ГЫЛЫМОВИЧА

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБА И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ОЧИСТКИ РАДИАТОРОВ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ УЛЬТРАЗВУКОМ

Актуальность диссертационной работы. В мире неуклонно возрастает экологическая нагрузка от автомобилей важное значение для уменьшения вреда от этого имеет нормальная работа всех систем автомобиля и транспортной техники в том числе системы охлаждения. Неисправность системы охлаждения может привести к перегреву двигателя, снижению его эффективности, увеличению выбросов вредных веществ и, в конечном итоге, к серьёзным повреждениям и выходу двигателя из строя. Очень важно чтобы система охлаждения работала эффективно и важнейший элемент системы охлаждения трубки радиатора были в надлежащем состоянии. В настоящее время для очистки радиаторов используются механические и химические методы, каждый из которых обладает как достоинствами, так и существенными недостатками. Химическая очистка подразумевает использование химических реагентов, которые вызывают коррозионные процессы в элементах радиатора и системы охлаждения, способствуют образованию микротрещин и протечек, что снижает его ресурс и надёжность. Механическая очистка, в свою очередь, чревата повреждениями поверхности радиатора — царапинами, вмятинами и сколами, которые ослабляют конструкцию и ускоряют процессы коррозии. Альтернативным и перспективным направлением является ультразвуковая очистка трубок радиатора, основанная на использовании кавитационного эффекта в жидкости. В диссертационной работе К.А. Синельникова была доказана эффективность очистки трубок радиатора ультразвуком. В сравнении с механическим и химическим способом, ультразвуковой способ обладает преимуществами. Он не вызывает разрушения элементов радиатора и системы охлаждения, так как не предполагает агрессивного химического воздействия и физического износа, характерного для механической обработки. Ультразвук обеспечивает деликатное и в то же время эффективное удаление загрязнений, что делает его безопасным и перспективным методом обслуживания.

Несмотря на успешные результаты по очистке разработанный метод трудно применить, так как не решен вопрос эффективности очистки в

зависимости от амплитуды ультразвуковой волны и ее направления по отношению к трубкам: вдоль или поперек, а также времени воздействия.

Не разработана также методика расчета оборудования для очистки, справедливая для радиаторов разных размеров с необходимой амплитудой колебаний звуковой волны и временем воздействия. В связи с этим исследования, направленные на разработку методики расчета оборудования для очистки трубок радиатора **является актуальной**.

Гипотезой исследования является предположение о повышении эффективности очистки радиаторов ультразвуком за счет оптимизации расположения излучателей и амплитуды колебаний.

Цель исследования является разработка методики расчета оборудования для очистки трубок радиатора ультразвуком.

Для достижения цели исследования поставлены следующие **задачи**:

- анализ конструкций систем охлаждения двигателей, их неисправностей и способов устранения;
- анализ физической сущности процесса кавитации и методов расчета очистки трубок радиатора кавитацией;
- разработка теоретической модели процесса, основанный на методах теории подобия, получение критериев подобия и описаниях их физического смысла;
- проведение экспериментальных исследований с переменной амплитудой ультразвука поперечным и продольным воздействием волны на трубки радиатора;
- анализ полученных результатов и сравнение их с аналитическими результатами;
- анализ уравнения регрессии вымываемой массы шлака от амплитуды колебаний и времени воздействия;
- разработка методики расчета и реализация исследований.

Методы исследования:

В исследовании использовались следующие методы: аналитический обзор литературы; теория подобия и размерностей; математический анализ; регрессионный анализ.

Научная новизна исследования заключается в следующем:

- экспериментальным путем получены зависимости изменения плотности вымытой жидкости от амплитуды колебаний и времени воздействия на нее;
- получено уравнение регрессии, связывающее массу вымытой накипи с амплитудой и временем воздействия;
- методами теории подобия и размерностей получена система критериев подобия, описывающая процесс очистки трубок радиатора, а именно геометрии трубок, затраты энергии, массу вымытой накипи и амплитуду колебаний;
- разработанная регрессионная модель указывает на тесную взаимосвязь между амплитудой колебаний волны, временем воздействия, расположением излучателей энергии и массы вымытой жидкости;

- анализ полученного уравнения на экстримум показал, что функция массы ведет себя разнонаправлено, увеличивается при увеличении времени процесса и уменьшается при возрастании амплитуды;

- в результате масштабирования с эталонной моделью получены масштабные коэффициенты по геометрическим, физическим, ультразвуковым, энергетическим и параметрам очистки;

- экспериментальным путем подтвержден и рассчитан коэффициент использования акустической энергии и эрозионной эффективности.

Научные положения, выносимые на защиту:

- теоретическая модель, основанная на теории подобия, корректно описывает процесс очистки трубок радиатора, что подтверждено экспериментом;

- для конкретных радиаторов существуют оптимальные решения их очистки, определяемый соотношением амплитуды ультразвуковой волны, временем воздействия и расположением излучателя.

- анализ физики процесса ультразвуковой кавитации и ультразвуковой очистки трубок радиатора показал ее эффективность. Схлопывание кавитационных пузырьков очищают внутренние стенки трубки.

Автор защищает:

- предложенный метод очистки трубок радиаторов ультразвуковой кавитацией;

- полученные критерии подобия;

- результаты эксперимента и уравнение регрессии;

- разработанную методику расчета;

- полученные масштабные коэффициенты.

Объектом исследования является ультразвуковая кавитация.

Предметом исследования является очистка трубок радиаторов

Практическая значимость заключается в разработке способа очистки радиаторов.

Результаты научных исследований и разработки внедрены на ТОО «ИНСТИТУТ ГРАДИЕНТ ПРОЕКТ» и в учебный процесс НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова» для студентов образовательной программы 6B07106 - «Транспорт, транспортная техника и технологии» по дисциплине «Сервис и фирменное обслуживание транспортной техники».

Краткое содержание.

В первой главе по литературным и патентным источникам произведен анализ систем двигателей внутреннего сгорания, рассмотрены способы охлаждения двигателей автомобилей и конструкции радиаторов транспортных средств. Произведен аналитический обзор методов ультразвуковой очистки. Анализ состояния вопроса и аналитический обзор завершается постановкой задач исследования.

Во второй главе автором была проведено теоретическое исследование процесса очистки трубок радиатора автомобилей, рассмотрена физическая сущность процесса кавитации, установлены критерии подобия,

описывающих процесс очистки трубок радиатора ультразвуком, сделаны выводы по теоретическим исследованиям процесса очистки трубок радиатора автомобилей

Третья глава диссертации посвящена экспериментальному исследованию процесса ультразвуковой очистке трубок радиатора ультразвуковой кавитацией. Автором были обозначены цель и задачи экспериментальных исследований, разработан план и методика проведения экспериментальных исследований на стендах. Выполнен анализ результатов экспериментального исследования на новом и модернизированном стендах ультразвуковой очистки и расчет основных параметров.

В четвертой главе представлена реализация результатов исследования. Автором была предложена методика расчета оптимальных параметров ультразвуковой кавитационной очистки трубок радиатора, разработаны масштабные коэффициенты для экстраполяции результатов на различные радиаторы, 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. Установил критерии подобия, описывающих процесс очистки трубок радиатора ультразвуком. Создал экспериментальные стенд для очистки трубок радиатора при помощи поперечного ультразвукового воздействия для подтверждения полученных аналитическим путем результатов. Получил и сравнил аналитические и экспериментальные зависимости, описывающие работу очистки трубок радиатора автомобиля при помощи ультразвука.

Публикации и апробация работы. Основные положения диссертации опубликованы в 4 научных работах, в том числе в 2 статьях, входящей в базу данных Scopus и имеющих ненулевой импакт-фактор, 2 статьях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в науки и высшего образования МНВО РК.

В статье «Justification of the Method of Vehicle Engine Radiator Ultrasonic Cleaning» в журнале «Communications - Scientific Letters of the University of Zilina» входящий в базу Scopus, 3 квартиль, процентиль по Транспорту 29, <https://doi.org/10.26552/com.C.2025.015> автор провел теоретические и экспериментальные исследования по ультразвуковой очистке радиатора в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания. Получил теоретические зависимости подтверждаемые экспериментально. Полученные результаты подтверждают возможность применения метода ультразвуковой очистки в радиаторе автомобиля.

В статье «Determination of optimal parameters for ultrasonic cleaning of vehicle radiators» в журнале «Communications - Scientific Letters of the University of Zilina » входящий в базу Scopus, 3 квартиль, процентиль по

Транспорту 29, <https://doi.org/10.26552/com.C.2025.031>. автор разработал методику, учитывающую влияние амплитуды ультразвуковых колебаний и времени воздействия на процесс удаления загрязнений. Представленные автором результаты экспериментальных исследований, подтверждают, что увеличение времени воздействия способствует росту массы вымытой накипи и уменьшению времени истечения жидкости.

В статье «Автомобиль радиаторларын тазалау әдістерін талдау» в Республиканском журнале «Труды Университета» рассмотрена система охлаждения двигателей автомобилей, автор провел анализ способов очистки автомобильных радиаторов, применение ультразвуковых колебаний для очистки трубок радиатора, а также дал описание экспериментального стенда ультразвуковой очистки радиаторов.

В статье «Theoretical and Experimental Analysis of Ultrasonic Cleaning of Internal Combustion Engine Radiators with the Development of Practical Recommendations» в журнале «Material and mechanical engineering technology», автор установил критериальные зависимости между энергией ультразвука, кинетической энергией жидкости и энергией ударных волн, которые позволяют определить энергоэффективность процесса кавитации и оценить действенность очистки радиатора ультразвуком. Полученные результаты подтверждают возможность применения метода ультразвуковой очистки в радиаторе автомобиля

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, 4 разделов и выводов, изложенных на страницах печатного текста, содержит 67 рисунков, 23 таблицы, список использованных источников из 147 наименований.

Автор выражает благодарность научным консультантам - к.т.н., и.о. доцента Рожкову А.В., доктору PhD Синельникову К.А., доктору PhD ассоциированному профессору Сулееву Б.Д., зарубежному научному консультанту к.т.н., доценту Горшковой Н.Г., а также директору ТОО «ИНСТИТУТ ГРАДИЕНТ ПРОЕКТ» Королеву Д.Е. за помощь и содействие во внедрении способов очистки радиаторов системы охлаждения автомобиля за счет воздействия ультразвуковой волны в производство.

Результаты исследования и основные выводы.

1. Подтверждена гипотеза о повышении эффективности очистки трубок радиаторов ультразвуком за счет оптимизации расположения излучателей и величины амплитуды колебаний;

2. Обоснована необходимость расположения излучателей поперек трубок радиаторов с определенной амплитудой ультразвуковой волны для радиаторов разного объема и конструкции;

3. Произведен анализ конструкций радиаторов, системы охлаждения и их неисправностей их методов очистки;

4. Описана физическая картина кавитации жидкости, обоснованы параметры, влияющие на процесс, приведены результаты исследований по определению энергии кавитации, кавитационного числа и эррозионной активности кавитации;

5. Разработана теоретическая модель исследуемого процесса кавитации методом теории подобия, позволяющая определить безразмерные критерии, описывающих процесс;

6. Полученные безразмерные критерии позволяют анализировать и рассчитывать процесс кавитации и параметры ультразвука для радиаторов разных размеров и объемов;

7. Разработан экспериментальный полноразмерный стенд и произведены эксперименты, получены уравнения регрессии, связывающие вымытую массу с амплитудой колебаний, временем воздействия и расположениями излучателей;

8. Анализ уравнения регрессии показал положительное влияние времени воздействия на эффективность очистки, а также на необходимость точного выбора амплитудой;

9. По результатам эксперимента рассчитаны коэффициенты подобия:

- коэффициент изменения массы показал изменение его массы от времени и амплитуды;

- коэффициент кавитационного использования акустической энергии определил степень перехода акустической энергии в кавитационные эффекты;

- коэффициент эффективности показал необходимость настройки параметров;

- поперечное воздействие ультразвука показало свою эффективность и простоту обслуживания в сравнении с продольной;

10. Разработана методика расчета режима очистки радиаторов и параметров оборудования.

Предлагаемый способ очистки позволяет устранить загрязнения без риска повреждения и разборки конструкций использовать его при техническом обслуживании автомобиля.