

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по научной работе
ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный
университет (национальный исследовательский
университет)» д.т.н., доц.



А.В. Коржов

«03» 03 2021 г.
МП

ОТЗЫВ

ведущей организации – Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Южно-Уральский государственный университет (национальный исследовательский университет)» на диссертационную работу Надарейшвили Гиви Гурамовича «Научные основы создания комплексных систем обеспечения современных экологических и акустических показателей двигателей внутреннего сгорания», представленную в диссертационный совет Д 217.014.01 при ФГУП «НАМИ» на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели» (технические науки)

1 Актуальность темы исследования

Обеспечение выполнения постоянно ужесточающихся требований экологических стандартов к поршневым двигателям внутреннего сгорания (ДВС) является одним из основных направлений развития современного зарубежного и отечественного двигателестроения. Снижения «сырых» выбросов вредных веществ с отработавшими газами за счет совершенствования процессов в камере сгорания ДВС недостаточно для обеспечения действующих и перспективных норм токсичности, поэтому основное внимание уделяется вопросам разработки и повышения эффективности систем обработки отработавших газов (СООГ).

Так как методы нейтрализации основных компонентов отработавших газов (оксиды азота, твердые частицы, оксид углерода, углеводороды) из-за существенных отличий их физических и химических свойств различны, современные СООГ представляют собой сложные системы, состоящие из

элементов, селективно воздействующих на те или иные компоненты. Кроме того, необходимо учитывать влияние СООГ на уровень шума системы выпуска ДВС. Создание подобных систем представляет собой комплексную проблему, требующую применения новых научно-обоснованных технических решений. Поэтому актуальность темы диссертационной работы не вызывает сомнений.

2 Оценка структуры и содержания работы

Диссертация состоит из введения, семи глав и заключения. Объём диссертации (без приложенных актов внедрения) составляет 461 страницу.

Во **введении** автором сформулирована актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость, основные методы исследования, степень достоверности и сведения об апробации и публикации результатов работы.

В **первой главе** автором приведен очень подробный обзор и анализ работ по теме диссертационного исследования. Этот анализ имеет продолжение и в последующих главах диссертации, т.к. автор постоянно апеллирует к передовому зарубежному и отечественному опыту. Необходимо отметить, что Надарейшвили Г.Г. очень хорошо знает современное состояние науки, техники и законодательства в области нейтрализации выбросов вредных веществ с отработавшими газами ДВС и акустики. На основе результатов выполненного анализа обоснована актуальность представляемой на защиту работы, намечены пути решения поставленных задач.

Вторая глава посвящена разработке математической модели процессов в канале каталитического блока на основе теории подобия, методах массового и энергетического балансов, базовых уравнениях гидродинамики (Навье-Стокса), механизме химической кинетики и схеме Ленгмюра-Хиншельвуда. Автором скорректирована динамическая диффузионная модель массопереноса с учетом особенностей процессов на начальном участке канала каталитического блока. Определены критерии подобия СООГ и их связь с показателями двигателя, предложена обобщенная критериальная модель каталитического блока. Получены оригинальные расчетные формулы для определения минимальной площади сечения блока от скоростей реакции, плотности и размера ячеек, начальной концентрации реагентов и целевой степени конверсии вредных веществ. Выполнена верификация математических моделей по результатам экспериментальных исследований, подтвердившая их адекватность.

Необходимо отметить высокий уровень владения автором математическим аппаратом и методологическими подходами к моделированию сложных пространственно-неоднородных газо- и

термодинамических, химических процессов. Важным моментом является то, что автор в математической модели связал процессы функционирования СООГ с показателями двигателя и обеспечил возможность применения модели для комплексной доводки процессов как двигателя (снижения «сырых» выбросов), так и системы доочистки.

В **третьей главе** изложены методы и часть результатов испытаний дизелей различных марок, оснащенных СООГ в различных вариантах комплектации и регулировок, на соответствие требованиям нормативно-технических документов, сформулированы рекомендации, касающиеся совершенствования конструкции СООГ, выбора и мест установки тех или иных датчиков в составе испытательного оборудования.

Экспериментальная часть работы выполнена с полным соблюдением требований действующих стандартов к методам испытаний и точности применяемого оборудования, поэтому достоверность результатов не вызывает сомнений. В ходе исследований автор определял, как «сырые» выбросы, зависящие от процессов в камере сгорания ДВС, так и концентрацию вредных веществ после СООГ.

В **четвертой главе** приведены результаты исследований покрытий каталитических блоков нейтрализаторов, в том числе структуры, физических и механических свойств, химического состава. Получены зависимости между различными показателями. По результатам исследований сформулированы рекомендации по выбору каталитических блоков для различных типов двигателей. Предложены формулы для определения кислородной ёмкости блоков. Разработаны методики выбора конструкции и лабораторных испытаний каталитических блоков, старения, расчета скорости реакций.

Полученные результаты могут найти применение при выборе каталитических блоков СООГ и их стендовых испытаниях.

В **пятой главе** приведены результаты экспериментальных исследований различных блоков СООГ. На основе результатов эксперимента сформулирован вывод о том, что выполнение требований к выбросам вредных веществ с отработавшими газами промышленных, тепловозных и судовых дизелей возможно при совместном применении окислительного катализатора и фильтра твердых частиц. Определены зависимости потребного расхода топлива (влияющего на суммарный расход топлива ДВС) для регенерации сажевого фильтра, числа подобия Эйлера, Дамкеллера, Боенштайна, скорости диффузии и конверсии, пределы эффективности работы окислительного нейтрализатора и сажевого фильтра. Доказано, что степень конверсии оксидов азота может достигать 95 % при правильном выборе конструкции и режима функционирования СООГ.

Научную и практическую значимость имеют сформулированные автором рекомендации по выбору рационального алгоритма управления подачей топлива для регенерации сажевого фильтра и стратегия калибровки

селективного нейтрализатора в составе СООГ, полученные зависимости влияния концентрации мочевины и температуры каталитического блока на величину конверсии.

Шестая глава посвящена расчетным (в системе ANSYS) и экспериментальным исследованиям акустических показателей глушителей-нейтрализаторов в составе СООГ. Установлено, что типовая система нейтрализации имеет хорошую эффективность при глушении высокочастотных шумов, но недостаточную в низкочастотном диапазоне. Предложено применение двухкамерной системы нейтрализации, включающей дополнительный объём для глушения низкочастотных шумов.

В седьмой главе предложен и обоснован универсальный подход к созданию СООГ для любых типов поршневых ДВС на основе обобщенной структуры и с учетом как экологической, так и акустической эффективности. Разработана процедура построения структуры СООГ, включающая: анализ требований стандартов к выбросам вредных веществ, анализ экспериментальных данных по уровню «сырых» выбросов с существующими настройками системы управления, зависящих от качества процессов в камере сгорания ДВС, определение соотношения выбросов оксидов азота и твердых частиц, оценку возможностей модернизации систем ДВС с учетом компоновочных ограничений, разработку стратегии по снижению выбросов вредных веществ с учетом условий эксплуатации, выбор конкретных типов каталитических блоков, расчет эффективности СООГ, оценку акустических показателей.

Применение данного подхода позволило для двигателя КамАЗ-950 повысить эффективность конверсии оксидов азота до 96.9 % (до уровня Евро-6) с одновременным уменьшением объема каталитических блоков почти в 2 раза и выполнением требований по противодавлению и уровню глушения шума.

Предложена методика оценки эффективности каталитических блоков, а также методика оптимизации конструкции СООГ. Разработано программное обеспечение для расчета комплексных СООГ.

Результаты исследования, приведенные в седьмой главе, могут найти применение при разработке СООГ поршневых ДВС различных типов.

В заключении приведены выводы, отражающие основные итоги диссертационной работы. Приведенные результаты соответствуют целям и задачам исследования, отражают её научную новизну и практическую ценность.

3 Новизна полученных результатов

Научной новизной обладают следующие результаты диссертационного исследования:

- уточненная математическая модель процессов в каталитических блоках СООГ, учитывающая особенности массообмена и реакций на начальном участке канала, включающая зависимости безразмерных критериев от показателей двигателя, скорректированные значения предэкспоненциального множителя и энергии активации реакции окисления углеводородов и соответствующие коэффициенты старения;

- выявленные зависимости расхода топлива при регенерации сажевых фильтров, показателей окислительного катализатора и фильтра твердых частиц при совместном функционировании, показателей системы селективного восстановления оксидов азота от конструктивных и режимных параметров СООГ, начальной концентрации вредных веществ, определяемой особенностями рабочих процессов в камере сгорания ДВС.

4 Теоретическая и практическая значимость результатов, полученных автором диссертации

Теоретическая значимость диссертационной работы заключается в развитии научных основ создания СООГ, включающих универсальную методику их расчета и конструирования, модифицированную математическую модель процессов в каталитических блоках, выявленные в ходе работы зависимости показателей системы от конструктивных и режимных параметров. В совокупности это может являться базой для дальнейшего развития теории взаимосвязанных гидро- и термодинамических, химических процессов в компонентах СООГ.

Практическая значимость диссертации заключается в создании комплексных инженерных методов проектирования и испытаний СООГ, которые были реализованы при создании конкретных систем для применения в составе различных силовых установок, методик калибровки и поддержания температуры катализатора. В ходе работы теоретически и экспериментально обоснованы рациональные параметры СООГ (расположение участка смешения, характеристики каталитических блоков, форсунок, температурных режимов), обеспечивающие получение высокой степени конверсии токсичных веществ. Практическая ценность работы подтверждена многочисленными актами внедрения.

5 Степень достоверности результатов исследования

Достоверность полученных научных результатов обусловлена применением поверенных и аттестованных, в соответствии с действующими нормативно-техническими документами, средств измерений, стандартизованных методик испытаний двигателей и их компонентов энергоустановок.

Автором используются общепризнанные и многократно апробированные математические модели, описывающие процессы в системах СООГ и двигателя и обработки отработавших газов. Результаты расчетов сравниваются с экспериментальными данными.

Результаты диссертационного исследования обсуждались на международных и российских научных конференциях, они с достаточной полнотой изложены в монографии, журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата технических наук, рекомендованных ВАК при Министерстве науки и высшего образования РФ, патентах и публикациях, индексируемых в международной базе данных SCOPUS.

6 Рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации

Результаты работы могут найти применение, в первую очередь, на предприятиях и в организациях, занимающихся разработкой СООГ, а также поршневых ДВС. Кроме того, теоретические и методологические разработки могут использоваться в НИИ и учебном процессе ВУЗов.

Применение рекомендаций, сформулированных в работе позволит повысить эффективность конструкторско-доводочных работ, обеспечит соответствие новых моделей ДВС требованиям действующих и перспективных экологических стандартов.

7 Замечания по диссертационной работе

В целом диссертационная работа Надарайшвили Г.Г. заслуживает положительной оценки. В качестве замечаний, не снижающих общей научной и практической ценности работы, может быть отмечено следующее:

1. Нет ясности на что претендует автор диссертации: разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, либо решена научная проблема, имеющая важное хозяйственное значение, либо изложены новые научно обоснованные технические решения, внедрение которых вносит значительный вклад в

развитие страны? (п. 9 «Положения о порядке присуждения ученых степеней»).

2. Введение термина СПООГ (Система последующей обработки отработавших газов) вызывает сомнения, т.к. слово «последующей» здесь лишнее. Оно отражает не функции системы, а направление движения газов из цилиндра в атмосферу. Кроме как после цилиндра отработавшие газы не могут быть обработаны.

3. Автором не исследовались процессы образования вредных веществ в камере сгорания двигателя, поэтому в диссертации ДВС по сути является генератором отработавших газов. В качестве рекомендации: предлагаемая автором методика разработки систем обработки отработавших газов была бы ещё более комплексной, если бы автор учёл возможность влияния на процессы в камере сгорания.

4. В выводах к главе 3 автор пишет: «частные методики сведены в единую методику комплексных испытаний», но нигде не приводит эту комплексную методику и не описывает её особенности и преимущества перед стандартными.

5. Не соблюдены требования ГОСТ Р 7.0.11-2011. В автореферате отсутствуют обязательные элементы: степень разработанности темы (п. 9.2.1); положения, выносимые на защиту (п. 9.2.1); перспективы дальнейшей разработки темы (п. 9.2.3). Во введении диссертации отсутствуют обязательные элементы: степень разработанности темы (п. 5.3.1); положения, выносимые на защиту (п. 5.3.1). В заключении отсутствуют перспективы дальнейшей разработки темы (п. 5.3.3). Акты внедрения результатов работы не выделены в тексте диссертации в виде приложений (п. 5.7). Отсутствует формулировка объекта исследования.

Заключение

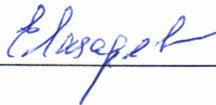
В целом по диссертации необходимо отметить, что она выполнена автором самостоятельно, обладает внутренним единством, изложена грамотным техническим языком, оформлена в соответствии с требованиями ВАК. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели», так как в ней изложены результаты теоретических и экспериментальных исследований по обеспечению экологической чистоты объектов применения силовых установок применением доочистки отработавших газов, с учетом показателей рабочих процессов тепловых двигателей. Требования к публикации основных результатов в журналах, входящих в перечень рецензируемых научных изданий ВАК соблюдены. В тексте даны ссылки на источники информации и авторов. Содержание автореферата соответствует диссертации в части основных положений, результатов и выводов.

Диссертационная работа Надарейшвили Г.Г. «Научные основы создания комплексных систем обеспечения современных экологических и акустических показателей двигателей внутреннего сгорания» является законченной научно-квалификационной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические решения по повышению экологической и акустической эффективности поршневых ДВС с использованием комплексной методики разработки систем обработки отработавших газов, учитывающей процессы акустики, химической кинетики, термодинамики и теплообмена, массо- и газообмена и аэродинамики.

Таким образом, диссертация соответствует критериям, установленным п.п. 9...14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 № 842, а её автор, Надарейшвили Гиви Гурамович, заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели».

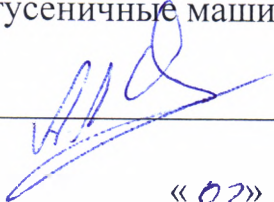
Отзыв составлен:

д.т.н., профессором
Лазаревым Евгением Анатольевичем,
профессором кафедры «Двигатели внутреннего сгорания и электронные системы автомобилей»


_____ Е.А. Лазарев
«03» 03 2021 г.

Докторская диссертация защищена
по специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели»

д.т.н., доцентом
Малозёмовым Андреем Адиевичем
профессором кафедры «Колесные и гусеничные машины»


_____ А.А. Малозёмов
«02» 03 2021 г.

Докторская диссертация защищена
по специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели»

Адрес организации: Россия, 454080 Челябинск, проспект Ленина, 76
Телефон: +7 (351) 267-99-00
Адрес эл. почты: info@susu.ru