

## **Отзыв**

**официального оппонента доктора технических наук, профессора  
Драгомирова Сергея Григорьевича на диссертационную работу  
Лукшо Владислава Анатольевича «Комплексный метод повышения  
энергоэффективности газовых двигателей с высокой степенью сжатия  
и укороченными тактами впуска и выпуска», представленной  
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности  
05.04.02 – «Тепловые двигатели»**

### *Актуальность темы диссертации*

В XXI веке научно-исследовательские работы, связанные с альтернативными топливами, всегда будут актуальными. Это, безусловно, относится и к газовым топливам (сжатые или сжиженные газы), которые представляют собой реальную альтернативу бензину и дизтопливу.

Газовые топлива являются перспективными, но для их широкого распространения необходимо не только во многом изменить топливную инфраструктуру в стране, но и провести комплекс научно-исследовательских работ по адаптации современных двигателей к этому виду топлив.

Об актуальности тематики газомоторных топлив свидетельствуют стратегические решения правительства РФ (Распоряжение Правительства РФ от 13.05.2013г. №767-Р, Постановление Правительства РФ от 17.03.2015г. №2420 и др.), направленные на стимулирование применения этого вида топлив в нашей стране.

Расширение использования газомоторных топлив для поршневых двигателей соответствует мировым тенденциям развития поршневого двигателестроения.

Диссертации по исследованию и применению газовых топлив выполнялись и ранее, но данное пространство исследований настолько многомерно, а круг научных и практических задач настолько широк, что и появление данной диссертации также не ставит точку в этом вопросе. Вместе с этим следует отметить, что автор диссертации сумел найти новые подходы к решению ряда важных научно-практических проблем в этой области.

Особенность защищаемого диссертантом труда состоит в комплексном подходе к задачам применения газового топлива в транспортных поршневых двигателях. Автор поставил своей целью повышение энергоэффективности газовых двигателей, конвертируемых из дизелей.

Таким образом, данная диссертация непосредственно направлена на решение важных научных и практических задач, связанных с государственными научно-техническими программами по расширению применения газомоторного топлива, а поэтому ее тема, бесспорно, актуальна.

### *Научная новизна работы*

Научная новизна работы содержится в оригинальных подходах к повышению энергоэффективности газовых двигателей с высокой степенью сжатия и управляемым термодинамическим циклом, предложенным автором.

Разработанные диссидентом принципы совершенствования газовых двигателей, конвертируемых из дизелей, касающиеся выбора оптимального термодинамического цикла, оптимизации конструктивных и регулировочных параметров систем двигателя (питания, зажигания, воздухоснабжения, газораспределения), а также проведенная им комплексная оценка эколого-экономической эффективности применения газовых двигателей в полном жизненном цикле автотранспортных средств, несомненно, обладают научной новизной и представляют собой значимый научный вклад в решение важной научно-технической проблемы повышения энергоэффективности и топливной экономичности газовых двигателей.

Особо следует отметить научную новизну полученных автором результатов теоретических и экспериментальных исследований по повышению энергетических и экономических показателей газовых двигателей за счет организации рабочего процесса с управляемым термодинамическим циклом.

В плане новизны можно отметить также научную концепцию построения системы управления газовым двигателем с применением наддува и фазированной подачей газа электромагнитными форсунками.

## *Практическая значимость работы*

Практическая ценность диссертации заключается в создании методов и средств повышения энергетических и экономических показателей газового двигателя. В частности, в результате системного подхода автора к проблеме повышения энергоэффективности газового двигателя, конвертированного из дизеля, разработаны подсистемы питания, зажигания, газораспределения, воздухоснабжения, входящие в комплексную систему электронного управления газовым двигателем.

Автором предложен ряд новых конструктивных решений (на уровне патентов РФ на изобретения и полезные модели) по совершенствованию газовых двигателей, обеспечивающие повышение их энергоэффективности.

Особую ценность работе придает проведенная опытно-экспериментальная проверка разработанного газового двигателя на различных транспортных средствах, с комплексной эколого-экономической оценкой эффективности его применения.

Полученные конкретные технические решения предложены и реализованы в промышленном производстве газовых двигателей, их элементов и узлов.

## *Достоверность и обоснованность результатов*

Достоверность выводов и положений диссертации основывается на достаточно большом объеме теоретических и экспериментальных исследований.

При теоретических исследованиях автором использованы компоненты математических и термодинамических моделей рабочего процесса поршневых двигателей, многократно проверенные экспериментально и применяемые для решения различных задач. Сходимость результатов теоретических исследований с экспериментальными данными убедительно доказывает достоверность результатов и выводов работы. Данные теоретических исследований базируются на классических положениях теории поршневых двигателей, термодинамики и теплопередачи. Экспериментальные исследования проведены с использованием современного научного инструментария и информационно-измерительного комплекса.

Можно считать, что поставленные в работе задачи решены диссертантом в полном объеме.

### *Структура работы и оформление диссертации*

Диссертация включает в себя введение, шесть глав, заключение с общими выводами, список литературы из 166 наименований (включая 109 иностранных источников). Текст работы занимает 365 страниц, имеет 162 рисунка, 44 таблицы. Материалы диссертации опубликованы автором в 51 печатных трудах, в том числе в 2-х монографиях, 29 публикациях в изданиях из перечня ВАК, 10 патентах РФ на изобретения и полезные модели. Опубликованные материалы достаточно полно отражают основное содержание работы.

**Во введении** дана общая характеристика работы, обоснована актуальность решаемой научной задачи, дается краткая характеристика выполненных исследований и полученных результатов. Показана необходимость повышения энергоэффективности газовых двигателей, конвертируемых из дизелей.

**В первой главе** приведен обзор отечественной и зарубежной научно-технической информации по исследованию, разработкам и производству газовых двигателей, а также дан анализ путей повышения их энергоэффективности.

Рассматриваются результаты работ, проводимых как в нашей стране, так и за рубежом. Анализируется и обобщается опыт создания газовых двигателей путем их конвертации из дизелей.

Показано, что создаваемые таким путем газовые двигатели, как правило, имеют примерно на 30% худшие показатели по эксплуатационным расходам топлива по сравнению с дизельными аналогами.

Детально рассмотрен принцип работы и практическая реализация так называемого цикла Миллера и его особенности по сравнению с циклом Аткинсона. Показана возможность использования цикла Миллера для газовых двигателей, конвертируемых из дизелей.

Высказана гипотеза (позже успешно подтвержденная) о целесообразности использования управляемого термодинамического цикла (с сокращенными тактами впуска и выпуска).

На основании материалов 1-й главы выявлены малоизученные вопросы и сформулированы задачи диссертационного исследования.

**Вторая глава** посвящена теоретическому исследованию рабочих процессов газовых двигателей, конвертируемых из дизелей различными способами.

На базе классической теории поршневых двигателей разработана феноменологическая модель термодинамических циклов для анализа возможных способов конвертации дизеля в газовый двигатель.

Рассмотрены различные результаты расчетного определения работы и среднего эффективного давления цикла с учетом термодинамического КПД цикла, разницы подведенной и отведенной теплоты, а также работу, рассчитанную по отдельным участкам цикла. Эти теоретические исследования проведены для различных циклов – Отто и Миллера (в последнем случае для 2-х вариантов сокращенного такта впуска – с ранним закрытием или поздним открытием впускного клапана).

Рассмотрены также насосные потери в этих циклах, во многом определяющие КПД цикла на частичных нагрузках. Показано преимущество цикла Миллера за счет увеличения механического КПД (снижения насосных потерь) на малых нагрузках.

На основе этих теоретических выкладок показана целесообразность применения термодинамического цикла с сокращенными тактами **впуска и выпуска** при высокой геометрической степени сжатия. Таким образом был обоснован выбранный способ организации рабочего процесса газового двигателя, конвертируемого из дизеля.

**В третьей главе** решались задачи анализа энергетических и экономических показателей газовых двигателей, конвертированных различными способами на основе экспериментальных и расчетных исследований с целью конкретного выбора пути решения проблемы повышения энергоэффективности газового двигателя.

Для получения опытных данных был проведен ряд моторных экспериментов. При расчетном исследовании была использована двухзонная математиче-

ская модель (модификация ФГУП «НАМИ») с внесенными изменениями для учета сокращенного такта впуска.

Выполнено сравнению расчетных показателей двигателей, виртуально работающих по трем термодинамическим циклам – Тринклера, Отто и Миллера.

Результаты расчетных исследований показали, что существуют резервы улучшения топливной экономичности газовых двигателей за счет снижения насосных потерь, увеличения степени сжатия, снижения температуры отработавших газов путем организации цикла с продолженным расширением.

По результатам этого исследования сформулированы технические требования в целом к газовому двигателю, конвертированному из дизеля, а также к его системам, узлам, компонентам.

**Четвертая глава** посвящена рассмотрению результатов расчетной оптимизации систем газового двигателя с управляемым термодинамическим циклом (сокращенными тактами впуска и выпуска) для определения конкретных конструктивных решений по создаваемому двигателю.

Было решено несколько взаимосвязанных задач для реализации управляемого термодинамического цикла:

- проведена расчетная оптимизация фаз газораспределения;
- разработаны принципы построения системы питания с распределенной фазированной подачей газа;
- выполнены расчетные работы по оптимизации системы воздухоснабжения.

По фазам газораспределения проведенная работа дала возможность установить рациональные фазы газораспределения для реализации различных вариантов цикла Миллера.

При разработке системы питания с распределенной фазированной подачей газа были преодолены существенные трудности для практического осуществления этого способа подачи газа.

При создании системы воздухоснабжения был разработан способ подбора диаметра дроссельной заслонки расчетным путем.

Рациональный выбор турбокомпрессора базировался на определении расчетных характеристик и основных геометрических размеров колес компрессора и турбины для обеспечения требуемого воздухоснабжения двигателя на режимах внешней скоростной характеристики.

По результатам работ, изложенных в этой главе, были определены конструктивные параметры систем двигателя для экспериментальных исследований.

**В пятой главе** представлены результаты экспериментальных исследований и оптимизации параметров газового двигателя с высокой степенью сжатия и управляемым термодинамическим циклом (сокращенными тактами впуска и выпуска).

Представлено обоснование выбора базовой модели дизеля, приведены его основные данные и характеристики для последующего сравнения с конвертированным газовым двигателем. Приведена конструкция газового двигателя и технология его конвертации.

Разработаны технические требования к электронному блоку управления газовым двигателем с учетом ранее полученных данных и для обеспечения комплексного управления двигателем. Представлена концепция работы электронного блока управления и структурная схема системы комплексного управления создаваемым газовым двигателем.

Отдельно подробно проанализирован вопрос возможного возникновения детонации в газовом двигателе, принципиально обоснованы параметры системы зажигания с антидетонационным контуром. Разработан алгоритм управления двигателем для обеспечения его бездетонационной работы путем согласованного управления углом опережения зажигания и положением дроссельной заслонки.

Детально выполнен анализ требований к нейтрализатору отработавших газов с учетом работы двигателя на газовом топливе.

В ходе экспериментальных исследований оптимизированы регулировочные параметры систем питания, зажигания, воздухоснабжения, а также отработаны алгоритмы управления, положенные в основу функционирования контроллера двигателя.

**В шестой главе** представлены экспериментальные исследования различных автотранспортных средств (АТС) с разработанным новым газовым двигателем. При этом проведена оценка не только эксплуатационных качеств АТС, но и дан комплексный эколого-экономический анализ эффективности применения разработанного газового двигателя в полном жизненном цикле АТС.

Испытания созданного опытного образца газового двигателя проводились в реальных условиях с использованием возможностей Центра «Испытания» ФГУП «НАМИ» (г. Дмитров).

Выявлено, что новый газовый двигатель с концептуальными решениями, заложенными в него автором работы, практически не уступает дизелю по топливной экономичности (в массовых единицах сравнения). Сопоставление топливных характеристик нового газового двигателя с традиционным вариантом газового двигателя позволяет сделать вывод о том, что если при больших скоростях движения АТС выигрыш в топливной экономичности невелик, то на малых скоростях (нагрузках) выигрыш нового двигателя составляет до 40%.

По результатам проведенного экономического анализа установлено, что положительный экономический эффект достигается с новым двигателем только за счет снижения затрат на топливо. По остальным затратам происходит удорожание двигателя, но в целом, в итоге достигается существенный положительный экономический эффект. Окупаемость нового газового двигателя возможна в первый же год эксплуатации.

В заключение работы приведены основные полученные научные и практические результаты и выводы.

При этом следует отметить высокий уровень представленной работы, определяемый комплексным расчетно-экспериментальным подходом к достижению поставленной цели.

### *Основные замечания по диссертационной работе*

**1.** В своем исследовании автор почему-то формулирует цель работы не в конце первой главы, как это принято делать на основе анализа проблем в области исследования, а во введении, где не дает никакого обоснования поставленной цели. В конце 1-й главы он формулирует только задачи исследования.

**2.** При формулировке пунктов научной новизны работы (с. 5-6 авторефера и с. 9 диссертации) автор допускает тождественность формулировок в п.3 и в п.6.

**3.** В своей работе автор злоупотребляет использованием термина «метод», применяя его часто и, на наш взгляд, необоснованно. Так, этот термин содержится в названии работы, в основных положениях, выносимых на защиту (в 5 пунктах из 6) и т.д.

В большинстве случаев термин «метод» целесообразно было бы заменить, по нашему мнению, терминами «способ», «принцип», «концепция». Например, на с. 231 диссертации пишется о «методе расчета и выбора диаметра дроссельной заслонки». Очевидно, что это всего лишь способ подбора необходимого диаметра дроссельной заслонки по расходным характеристикам двигателя. Есть и другие примеры неоправданного применения термина «метод».

**4.** В работе не приведено хотя бы какое-нибудь описание двухзонной математической модели процесса сгорания (модификация ФГУП «НАМИ»). На с. 132-133 диссертации дано только два предложения, с указанием, что используется эта модель. Ссылки на литературу тоже отсутствуют.

**5.** Для газовых двигателей проблемными являются режимы пуска и последующего прогрева двигателя. В диссертации об этих режимах совершенно

ничего не говорится. Не ясно, отрабатывались ли эти режимы и если да, то каким образом.

6. Не смотря на общее высокое качество оформления диссертационной работы (ясный и технически точный язык, множество цветных иллюстраций и др.), работа несвободна от опечаток, неудачных и неинформативных рисунков и др. Так, рис. 1.14 (с.56) и рис. 5.1 (с.233) абсолютно неинформативны. Множество рисунков (рис. 4.9 – 4.11, 4.34, 5.2, 5.3, 5.25, 5.26, 5.29, 5.38 и др.) даны настолько мелко, что их анализ весьма затруднен. У ряда рисунков отсутствуют расшифровки в подрисуночных подписях (рис. 3.4, 3.5, 4.6, 4.13, 4.22, 5.35 и др.), что затрудняет восприятие и осмысление сути рисунка.

### *Общая оценка работы*

Диссертация полностью соответствует специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели».

Основные результаты исследований достаточно полно отражены в 53 печатных работах автора. Текст автографера соответствует основным положениям диссертации.

Указанные выше замечания не затрагивают основного существа диссертации, достоверности ее выводов, актуальности и научной новизны выполненной работы.

Представленная диссертация является завершенной научно-квалификационной работой, содержащей научно обоснованные теоретические и прикладные результаты, совокупность которых вносит существенный вклад в решение проблемы улучшение технико-экономических характеристик газовых поршневых двигателей. Диссертация отвечает всем требованиям «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. (№842), а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.04.02 – «Тепловые двигатели».

Официальный оппонент  
доктор технических наук, профессор,

ФГБОУ ВПО «Владимирский государственный университет  
имени Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых», кафедры «Тепловые двигатели  
и энергетические установки», профессор



Драгомиров С.Г.

01.12.2015

Докторская диссертация по специальности  
05.04.02. – «Тепловые двигатели»

Федеральное государственное бюджетное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования «Владимирский  
государственный университет имени  
Александра Григорьевича и Николая Григорьевича  
Столетовых»,

**Адрес:** 600000, г. Владимир, ул. Горького, 87

**Тел.** (4922)-53-25-75, 47097-37, 33013-91

**E-mail:** oid@vlsu.ru, ds33@bk.ru

Подпись Драгомирова С.Г. заверяю.

Ученый секретарь

Коннова Т.Г.

