

На правах рукописи

Харенко Игорь Алексеевич



**ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПОРШНЕВЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ  
ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЖАТОГО ВОЗДУХА**

Специальность 05.04.02 – Тепловые двигатели

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Барнаул – 2013

Работа выполнена в ФГБОУ ВПО «Алтайский государственный  
технический университет им. И.И. Ползунова»  
Экспериментальная часть работы выполнена в  
НП «Сертификационный центр автотракторной техники» (г. Челябинск)

***Научные руководители***

доктор технических наук, профессор

Матиевский Дмитрий Дмитриевич

доктор технических наук, профессор

Кукис Владимир Самойлович

***Официальные оппоненты:***

**Мироненко Игорь Геннадьевич**, доктор технических наук, доцент  
начальник управления научно-исследовательских работ ФБОУ ВПО «Но-  
восибирская государственная академия водного транспорта»

**Закомолдин Иван Иванович** доктор технических наук, доцент, профес-  
сор кафедры «Автомобили и автомобильное хозяйство и методика препо-  
давания технических дисциплин» ФГБОУ ВПО «Челябинского государ-  
ственного педагогического университета».

***Ведущая организация***

ОАО «Научно-исследовательский институт двигателей» (г. Москва)

Защита состоится 5 декабря 2013 г. в 12 часов на заседании диссертацион-  
ного совета Д 212.004.03 при Алтайском государственном техническом  
университете им. И.И. Ползунова по адресу: 656038 г. Барнаул,  
пр. им. В.И. Ленина, 46 (тел/факс (3852) 26 05 16; E-mail: D21200403@mail.ru).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью,  
просим направлять по указанному адресу на имя ученого секретаря дис-  
сертационного совета.

Автореферат разослан «30» октября 2013 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук, доцент



С.П. Кулманаков

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** В настоящее время существует острое противоречие между безальтернативной потребностью человечества продолжать широкое использование поршневых ДВС (ПДВС) для своих нужд, с одной стороны, и относительно низкой эффективностью процессов энергопреобразования в них, вредным воздействием отработавших газов (ОГ) на человека и окружающую среду (ОС) – с другой. Проведенный автором анализ специальной литературы и патентных источников показал, что это противоречие, может быть существенно сглажено использованием сжатого воздуха, получаемым за счет утилизации «бросовой» теплоты.

В настоящее время сжатый воздух, полученный за счет энергии ОГ, успешно используется только для повышения давления свежего заряда, подаваемого в цилиндры ПДВС, для увеличения мощности без изменения их размеров в системах наддува. В относительно редких исследованиях, посвященных присадке воздуха к топливу при его впрыскивании в дизелях (М.В. Мазинг, А.Е. Свистула, Д.Д. Матиевский) и ряде других работ отмечается, что достоинствами такого впрыскивания являются дополнительное диспергирование топлива, более равномерное распределение его по окислительно и улучшение условий его воспламенения. Однако в этих работах не указывается источник получения добавляемого в топливо воздуха. Между тем, материалы работ В.С. Кукиса, В.В. Руднева, М.Л. Хасановой, В.П. Босякова, В.А. Ткаченко и автора диссертации свидетельствуют о целесообразности и возможности использования сжатого воздуха, получаемого за счет утилизации «бросовой» энергии ОГ для решения целого ряда актуальных задач, стоящих перед современным двигателестроением.

**Цель настоящего исследования:** повысить мощностные, экономические и экологические показатели ПДВС путем использования сжатого воздуха, получаемого за счет энергии отработавших газов.

**Гипотеза исследования.** Мощностные, экономические и экологические показатели ПДВС можно повысить, используя сжатый воздух, получаемый за счет «бросовой» энергии их отработавших газов

Для достижения указанной цели на основании выдвинутой гипотезы было необходимо решить следующие **задачи**:

1. Выявить целесообразность и показать возможность использования пневматического распыливания топлива для повышения мощностных, экономических и экологических показателей ПДВС.

2. Разработать программу, методику исследования и создать экспериментальную установку для проведения натурных испытаний ПДВС с пневматическим распыливанием топлива и его самовоспламенением от сжатия.

3. Провести натурные исследования рабочего процесса дизеля с пневматическим распыливанием топлива.

4. Оценить эффективность использования пневматического распыливания топлива вместо механического на примере дизеля размерностью 15,0/20,5.

5. Количественно оценить возможность получения сжатого воздуха за счет утилизации энергии ОГ опытного дизеля 1Ч15,0/20,5 для обеспечения пневматического распыливания топлива.

6. Провести анализ других возможных путей повышения мощностных, экономических и экологических показателей ПДВС путем использования сжатого воздуха, получаемого за счет «бросовой» энергии их ОГ.

**Объектом исследования** служили процессы в ПДВС, использующих сжатый воздух для повышения мощностных, экономических и экологических показателей этих двигателей.

**Предметом исследования** являлись мощностные, экономические и экологические показатели дизеля с пневматическим распыливанием топлива и возможные пути повышения этих показателей в других ПДВС, при использовании сжатого воздуха, получаемого за счет «бросовой» энергии их ОГ.

**Научную новизну** имеют следующие положения, **выносимые автором на защиту**:

- особенности протекания процесса сгорания в дизеле с распыливанием топлива сжатым воздухом;
- результаты оценки энергетических возможностей ОГ дизеля для получения сжатого воздуха, необходимого для пневматического распыливания топлива.
- результаты оценки предложенных автором новых возможных направлений использования сжатого воздуха, получаемого за счет «бросовой» энергии ОГ ПДВС, для повышения их мощностных, экономических и экологических показателей.

**Практическую значимость** работы составляют следующие результаты:

- подтверждение возможности повышения мощностных, экономических и экологических показателей дизеля за счет реализации распыливания топлива сжатым воздухом;
- подтверждение энергетических возможностей ОГ дизеля для обеспечения сжатым воздухом системы пневматического распыливания топлива;
- новые возможные направления использования сжатого воздуха, получаемого за счет «бросовой» энергии ОГ ПДВС, для повышения их мощностных экономических и экологических показателей.

Новизна предложенных технических решений подтверждена тремя Патентами на полезную модель.

Результаты исследования могут быть использованы при создании новых и модернизации существующих поршневых и комбинированных ДВС, при проведении НИР и ОКР, а также в учебном процессе.

**Методология и методы исследования** базировались на системном, комплексном и процессном подходах к решению сформулированных выше задач, методах изучения специальной литературы, теоретического анализа и синтеза полученного экспериментального материала, индуктивного и дедуктивного методах обобщения полученных эмпирическим путем данных, математических и статистических методах обработки полученных экспериментальных материалов, а также для установления количественных зависимостей между изучаемыми явлениями. Теоретическая основа работы базировалась на использовании основных положений технической термодинамики, теории рабочих процессов тепловых двигателей, методов статистической обработки результатов испытаний и компьютерного моделирования, а также научных исследований в области двигателестроения, термодинамики и теплотехники, выполненных А.С. Орлиным, М.С. Хованом, Р.З. Кавтарадзе, Н.Н. Иванченко, В.Н. Луканиным, Н.К. Шокотовым, В.М. Бродянским, Д.Д. Матиевским, В.С. Кукисом и др. Выводы и рекомендации в своей основе сформулированы на базе результатов натурного экспериментального исследования дизеля 1Ч15/20,5 в исходной и опытной комплектациях.

**Степень достоверности** результатов работы подтверждается достаточным объемом экспериментов, применением комплекса современных, информативных и объективных методов исследования, соответствующих государственным стандартам, использованием современной измерительной аппаратуры, систематической её проверкой и контролем погрешностей, подтверждением теоретических результатов экспериментальными.

**Реализация результатов работы.** Материалы диссертации используются в ООО ГСКБ «Трансдизель» (г. Челябинск), Уральском федеральном университете им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина (г. Екатеринбург) и в Военном учебно-научном центре сухопутных войск «Общевойсковая академия сухопутных войск ВС РФ» (филиал г. Омск).

**Апробация работы.** Материалы диссертации были доложены и одобрены на: Международной научно-технической конференции ААИ «Приоритеты развития автомобиле- и тракторостроения и подготовки кадров», посвященной 145-летию МГТУ «МАМИ» (Москва, 2010); Международном Форуме по проблемам науки, техники и образования (Москва, 2010) (*работа удостоена Золотого диплома Форума*); юбилейной научно-технической конференции 5-е Луканинские чтения «Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе». (Москва, 2011); Международной научно-технической конференции «Многоцелевые гусеничные и колесные машины: актуальные проблемы теории, практики и подготовки кадров», (Челябинск, 2011); 75-й Международной научно-технической конференции ААИ «Перспективы развития автомобилей. Развитие транспортных средств с альтернативными энергоустановками» (Тольятти, 2011); VIII Международной научно-практической конференции

«Настоящи изследования и развитие -2012 (София, 2012); IX Международной научно-практической конференции «Настоящи изследования и развитие -2013 (София, 2013).

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 15 научных статей, в том числе 6 – в изданиях, рекомендованных ВАК, получены три Патента на полезную модель.

**Объем и содержание работы.** Диссертация содержит 117 с., включающих 50 рисунков, 6 таблиц, и состоит из введения, четырех глав, заключения, списка использованной литературы (129 наименований) и приложения.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** показана актуальность темы диссертации, сформулированы цель и задачи исследования, его научная новизна и практическая значимость, дана общая характеристика диссертационной работы.

В **первой главе** обсуждаются целесообразность и возможность использования пневматического распыливания топлива для повышения мощностных, экономических и экологических показателей ПДВС. Показано, что термодинамический цикл с подводом теплоты при неизменном давлении (что возможно при пневматическом распылиании топлива) обладает существенными достоинствами и в случае его реализации позволит получить лучшие мощностные, экономические, экологические показатели и обеспечить более высокие пусковые качества в условиях низких температур ОС, чем у современных дизелей и ПДВС с искровым зажиганием при одинаковой механической и термической нагруженности. Обсуждаются предполагаемые особенности рабочего процесса ПДВС при пневматическом распылиании топлива. Результаты этого обсуждения в тезисном виде представлены на рисунке 1.

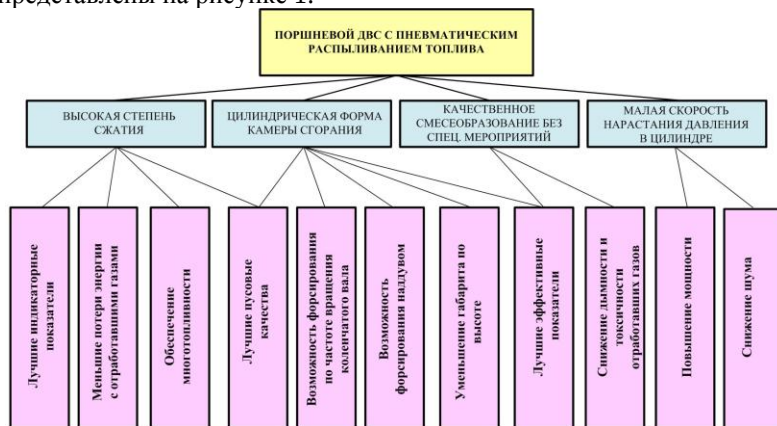


Рисунок 1 - Специфические особенности дизеля с пневматическим распыливанием топлива

Как известно, производившиеся в начале прошлого века ПДВС с пневматическим распыливанием топлива (компрессорные дизели) не могли конкурировать с бескомпрессорными (современными) дизелями и ДВС с искровым зажиганием в связи необходимостью существенных затрат мощности на получение сжатого воздуха для пневматического распыливания топлива. В настоящей работе предлагается для получения сжатого воздуха использовать «бросовую» энергию ОГ. При этом возможны три варианта привода компрессора: за счет термической эксергии ОГ с помощью двигателя Стирлинга или с помощью термоциркуляционного насоса, и за счет механической эксергии ОГ. Последний вариант предложен автором (в соавторстве) и показан на рисунке 2.

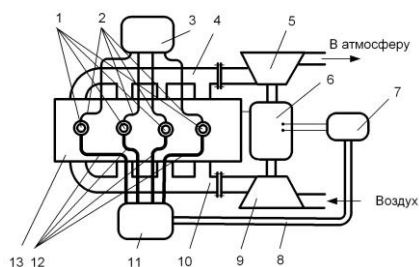


Рисунок 2 - Принципиальная схема комбинированного двигателя с пневматическим распыливанием топлива (Патент на полезную модель РФ 127824):

1 - пневматические форсунки, оборудованные электромагнитной системой управления; 2 - топливопроводы; 3 - топливный бак; 4 - выпускной коллектор; 5 - газовая турбина; 6 - высокочастотный электрический генератор; 7 - электродвигатель с компрессором высокого давления; 8 - воздушный трубопровод - 9 - компрессор низкого давления; 10 - впускной коллектор; 11 - ресивер; 12 - воздухопроводы; 13 - поршневой двигатель внутреннего сгорания

Во *второй главе* рассмотрены программа и методика проведения экспериментального исследования. Программа была посвящена сравнительному анализу рабочего процесса одноцилиндрового дизеля 1Ч15,0/20,5 в исходной комплектации и с пневматическим распыливанием топлива.

Испытания проводились на стенде (рисунок 3) по методикам ГОСТ 18509-88. При проведении испытаний применялись аттестованные в установленном порядке приборы и оборудование. Перечень средств измерений приведен в тексте диссертации. Обработка результатов испытаний проводилась в соответствии с ГОСТ 18509-88 и ГОСТ Р 41.96-2005.

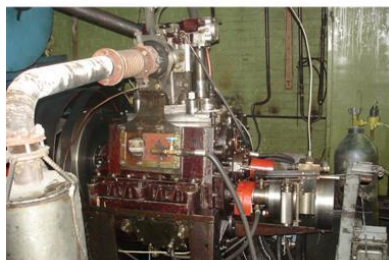


Рисунок 3 - Общий вид экспериментальной установки

Для работы с пневматическим распыливанием топлива в комплектацию дизеля 1Ч15,0/20,5 были внесены следующие изменения. Заменен поршень. Его днище выполнено вогнутым с радиусом 119 мм (рисунок 4,а). В результате объем камеры сгорания

уменьшился на 23 %. Разработана и изготовлена форсунка для пневматического распыливания топлива оригинальной конструкции (рисунок 4,б). Из односекционного топливного насоса удален нагнетательный клапан.

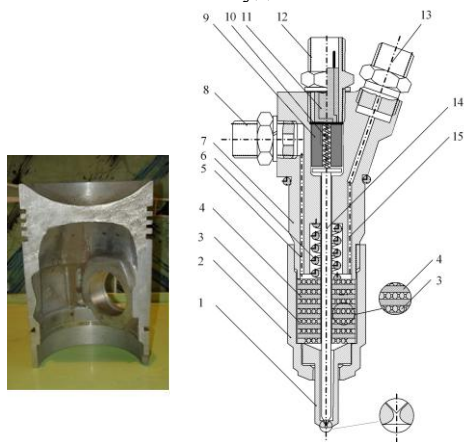


Рисунок 4 - Поршень (а) и пневматическая форсунка (б):

1 – распылитель; 2 – накидная гайка; 3 – проставочные кольца; 4 – сетка; 5 – канал подвода сжатого воздуха; 6 – пружина; 7 – корпус форсунки 8 – штуцер подвода сжатого воздуха; 9 – катушка электромагнита; 10 – пружина иглы распылителя; 11 – изолятор; 12 – штуцер подключения блока управления; 13 – штуцер подвода топлива; 14 – якорь-игла форсунки; 15 – канал подвода топлива.

В *третьей главе* приведены результаты экспериментального исследования. При этом совершенство рабочего процесса оценивалось по индикаторным показателям, так как механические потери связаны с совершенством конструкции, а не процессов, протекающих во внутрицилиндровом пространстве рассматриваемых машин. Прежде всего, были проведены испытания дизеля 1Ч15,0/20,5 в исходной комплектации: получена индикаторная диаграмма рабочего цикла на режиме номинальной мощности, определены особенности протекания рабочего процесса и процесса сгорания на этом режиме, оценено содержание выбросов вредных веществ с ОГ.

Затем дизель был подготовлен для работы с пневматическим распыливанием топлива. После этого было оценено влияние момента начала впрыскивания топлива и давления распыливающего воздуха на удельный индикаторный расход топлива, среднее индикаторное давление и индикаторный КПД. На основании этого угол, соответствующий моменту начала впрыскивания топлива, был выбран равным 10 град ПКВ до ВМТ, а давление воздуха, распыливающего топливо - 9,5 МПа (при этом цикловой расход воздуха равнялся 2,75 мг/цикл, что составляло 1,52% от цикловой подачи топлива). На рисунке 5 показаны индикаторные диаграммы, полученные на режиме номинальной мощности.

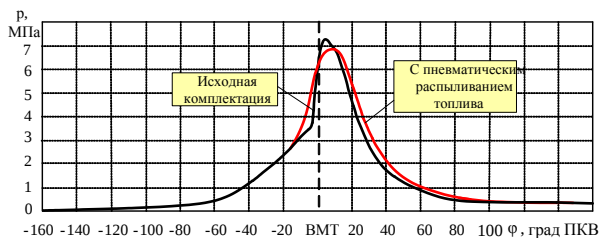


Рисунок 5 - Индикаторные диаграммы дизеля 1Ч15,0/20,5 при работе на режиме номинальной мощности

На рисунке 6 показан фрагмент индикаторных диаграмм, а на рисунке 7 – изменение температуры рабочего тела, характеристики и скорости выгорания топлива.

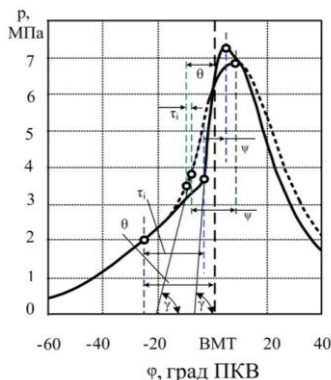


Рисунок 6 - Фрагмент индикаторных диаграмм рабочего процесса дизеля 1Ч15,0/20,5:

(сплошная линия - в исходной комплектации; пунктирная линия - в опытной комплектации)

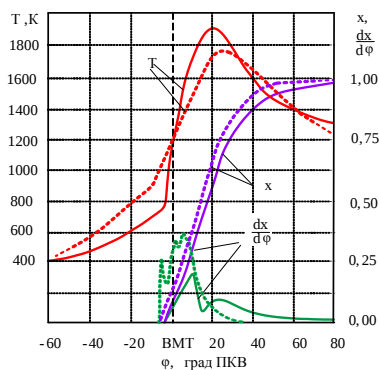


Рисунок 7 - Изменение температуры рабочего тела, характеристики (x) и скорости выгорания топлива ( $dx/d\phi$ )

Анализ полученных материалов, выполненный во втором разделе третьей главы, позволил оценить специфические особенности рабочего процесса дизеля 1Ч15,0/20,5 в случае пневматического распыливания топлива (в диссертации подробно рассмотрена и проанализирована природа этих особенностей), которые при работе на номинальном режиме (при частоте вращения коленчатого вала  $1250 \text{ мин}^{-1}$ ) сводятся к следующему (первыми приведены значения для двигателя в исходной комплектации): индикаторная мощность 36,7-42,5, кВт; среднее индикаторное давление 0,74-0,85, МПа; удельный индикаторный расход топлива  $219,1-197,7 \text{ г/(кВт ч)}$ ; индикаторный КПД 0,37-0,41; максимальное давление 7,3-6,9 МПа; максимальная температура 1907-1770, К; момент достижения максимального давления 5,5-9,6 град ПКВ после ВМТ; степень повышения давления 2,14-1,43; степень предвари-

тельного расширения 3,28-5,43; максимальная скорость нарастания давления 0,844 - 0,694 МПа/(град ПКВ); момент начала впрыскивания топлива 24-10 град ПКВ до ВМТ; Момент начала воспламенения топлива 3,5-7,5 град ПКВ до ВМТ; период задержки воспламенения 20,0-2,5 град ПКВ; период быстрого горения 8,6-17,1 град ПКВ; продолжительность процесса сгорания более 85-менее 70 град ПКВ. Соответствующие данные о содержании вредных веществ в ОГ выглядят следующим образом: дымность 17,0-7,1 %; NO<sub>x</sub> 14,2-9,1 г/(кВт·ч); СО 0,30-0,23 г/(кВт·ч); СН 0,020-0,015 г/(кВт·ч); твердые частицы 0,46-0,03 г/(кВт·ч).

В завершение второго раздела третьей главы приведены материалы по визуализации развития рабочего процесса в надпоршневом пространстве, полученные с помощью программного пакета FIRE фирмы AVL, и обсужден характер изменения полей скоростей движения заряда, массовых долей углеводородов, сажи и оксидов азота в надпоршневом пространстве при перемещении поршня вблизи ВМТ.

В последнем разделе третьей главы количественно оценены возможности получения сжатого воздуха для обеспечения пневматического распыливания топлива за счет утилизации энергии ОГ опытного дизеля 1Ч15,0/20,5. Результаты расчетов приведены на рисунке 8.

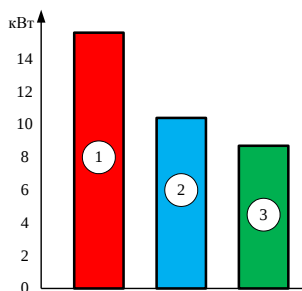


Рисунок 8 - Величина мощности, передаваемой от отработавших газов компрессору при использовании в качестве привода:  
1 - газовой турбины; 2- двигателя Стирлинга; 3 - термоциркуляционного насоса

В **четвертой главе** рассмотрены другие возможные новые направления использования сжатого воздуха для повышения мощностных, экономических и экологических показателей ПДВС, предложенные в работах В.С. Кукиса, В.В. Руднева, М.Л. Хасановой, В.П. Босякова, В.А. Ткаченко и автора диссертации.

На рисунке 9 показана теплосиловая установка (ТСУ) с разделенными процессами сжатия – расширения и утилизацией теплоты ОГ, принципиальная схема которой предложена автором диссертации (в соавторстве).

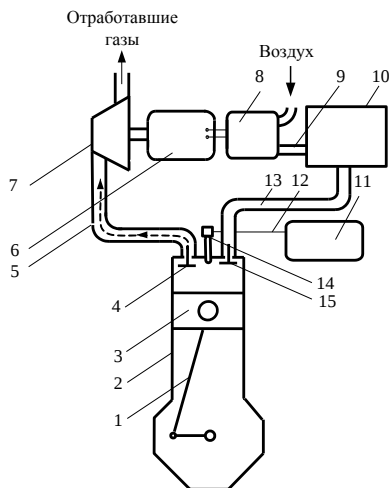


Рисунок 9 - Принципиальная схема теплосиловой установки с разделенными процессами сжатия-расширения и утилизацией теплоты отработавших газов:

(Патент на полезную модель  
РФ 127824)

1 - кривошипно-шатунный механизм;  
2 - поршневая расширительная машина; 3 - поршень; 4 - выпускной клапан; 5 - выпускной коллектор; 6 - высокочастотный электрогенератор; 7 - газовая турбина; 8 - компрессор; 9 - трубопровод; 10 - ресивер; 11 - топливный бак; 12 - топливопровод; 13 - впускной коллектор; 14 - форсунка; 15 - впускной клапан

Работает, она следующим образом. Когда после завершения процесса сгорания и рабочего хода поршень начинает перемещаться вверх, открывается выпускной клапан и продукты сгорания выходят из цилиндра в выпускной трубопровод. Отработавшие газы по выпускному коллектору поступают в газовую турбину, вал которой вращает ротор высокочастотного электрогенератора, производящего электроэнергию, используемую для привода в действие компрессора высокого давления. Здесь атмосферный воздух сжимается и направляется в ресивер. В момент, когда поршень начинает перемещаться сверху вниз, открывается впускной клапан и сжатый воздух поступает в цилиндр, туда одновременно через форсунку подается топливо. Происходит обычный процесс сгорания и расширения.

Достоинства, недостатки и особенности функционирования ТСУ данной схемы и других схем ТСУ с разделенными процессами сжатия и расширения рассмотрены в двух печатных работах автора диссертации.

Другим примером использования сжатого воздуха для повышения эффективности ПДВС являются многотопливные двигатели с возможностью кратковременного значительного повышения мощности при работе на пиковых нагрузках. На рисунке 10 показана предложенная автором (в соавторстве) возможная принципиальная схема такого двигателя. В случае реализации цикла Тринклера-Сабатэ предлагаемый ДВС работает следующим образом. До и в процессе пуска двигателя, имеющего высокую (от 25 до 30), геометрическую степень сжатия, воздушный клапан закрыт, и процесс пуска осуществляется в обычном режиме.

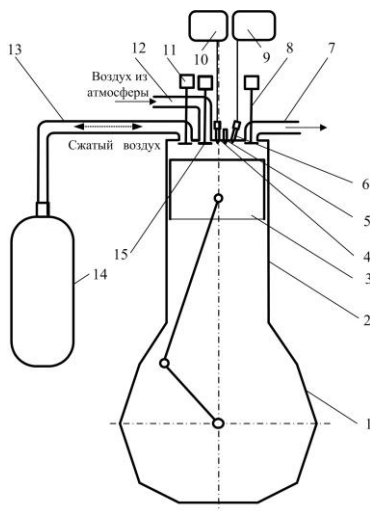


Рисунок 10 - Принципиальная схема ПДВС с возможностью кратковременного значительного повышения мощности при работе на пиковых нагрузках

(Патент на полезную модель РФ 119815):

1 - картер; 2 - цилиндр; 3 - поршень; 4 - форсунка с блоком электронного управления для распыливания бензина; 5 - свеча зажигания; 6 - форсунка с блоком электронного управления для распыливания дизельного топлива; 7 - выпускной патруб; 8 - впускной клапан с электронным блоком управления; 9 - топливный бак с дизельным топливом; 10 - топливный бак с бензином; 11 - воздушный клапан с электронным блоком управления; 12 - впускной патруб; 13 - воздухопровод; 14 - ресивер; 15 - выпускной клапан с блоком управления

При этом сильное сжатие воздуха в цилиндре обеспечивает надежный запуск в условия низких температур окружающего воздуха. После пуска дизеля в каждом рабочем цикле двигателя после частичного перемещения поршня от НМТ к ВМТ блоком электронного управления открывается воздушный клапан, и часть сжатого воздуха по воздухопроводу нагнетается в ресивер. Затем воздушный клапан закрывается, а выпускной – открывается, в результате чего давление в цилиндре снижается практически до атмосферного. После этого закрывается и выпускной клапан. Продолжающий движение к ВМТ поршень сжимает оставшийся в цилиндре воздух. При этом реальная степень сжатия зависит от положения поршня в момент полного закрытия выпускного клапана и может регулироваться соответствующей настройкой электронных блоков управления воздушным и выпускным клапанами. При приближении поршня к ВМТ в цилиндр впрыскивается дизельное топливо, которое воспламеняется и горит как в обычном дизеле, происходит расширение. В связи с тем, что фактическая степень сжатия меньше геометрической, степень расширения рабочего тела будет существенно больше, чем в обычном дизеле. При проявлении необходимости резкого увеличения мощности из ресивера при приближении поршня к ВМТ блок электронного управления открывает нагнетательный клапан, через который в надпоршневое пространство подается под давлением дополнительное количество воздуха, что позволяет сжигать большее количество топлива и временно превышать расчетную максимальную мощность двигателя, т.е. реализуется своеобразный кратковременный наддув. При необходимости или желании перейти на сжигание топлив более легкого фракционного состава с применением искрового зажигания, в блоках электронного управления работой клапанов должны быть произведены переключения, которые обеспечат фактическую степень сжатия, исключая

ющую возможность возникновения детонации. При этом использование бензинов с различным октановым числом должно сопровождаться коррекцией фактической степени сжатия электронными блоками, изменяющими моменты открытия и закрытия воздушного и выпускного клапанов. При необходимости для улучшения распыливания бензина на малых нагрузках, когда скорость движения воздуха около бензиновой форсунки и цикловая подача топлива невелики, можно использовать подачу цилиндра дополнительного воздуха из ресивера.

Другим из технических решений актуальной проблемы уменьшения расхода углеводородного сырья и загрязнения окружающей среды ОГ поршневых ДВС мобильной техники может служить комбинированная энергетическая установка, состоящая из первичного теплового двигателя (ПДВС), аккумуляторов энергии в форме теплоты и сжатого воздуха и вторичного теплового двигателя, использующего накопленную в аккумуляторах энергию и способного пополнять её путем рекуперации, например в режимах торможения. Анализ таких комбинированных энергетических установок посвящены работы В.В. Руднева, В.С. Кукиса и автора диссертации.

Еще одним перспективным, на наш взгляд, направлением использования сжатого воздуха, позволяющим повысить эффективность ПДВС, является применение пневматических поршневых двигателей для утилизации теплоты ОГ ДВС предложенные в работах В.С. Кукиса, В.В. Руднева, М.Л. Хасановой, В.П. Босякова, В.А. Ткаченко и др.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В процессе выполнения диссертации рассмотрены различные варианты устройств (в том числе, предложенных автором диссертации), позволяющих достичь поставленную в начале работы цель – повысить мощностные, экономические и экологические показатели ПДВС, применяя для этого сжатый воздух, получаемый за счет «бросовой» энергии их ОГ.

Проведен комплекс экспериментальных исследований, показавший возможность повысить мощностные, экономические и экологические показатели дизеля путем использования пневматического распыливания топлива. При этом:

- проанализированы достоинства ПДВС с пневматическим распыливанием топлива и его самовоспламенением от сжатия;
- создана экспериментальная установка для проведения стендовых испытаний дизеля 1С15,0/20,5 в исходной комплектации и при использовании пневматического распыливания топлива;
- разработаны и изготовлены поршень и оригинальная форсунка для реализации рабочего процесса с пневматическим распыливанием топлива;
- проведены стендовые испытания дизеля 1С15,0/20,5 в исходной и опытной комплектациях;

– с помощью программного пакета FIRE фирмы AVL выполнена визуализация развития рабочего процесса, получен и обсужден характер изменения полей скоростей движения заряда, массовых долей углеводородов, сажи и оксидов азота в надпоршневом пространстве в ходе процесса сгорания;

– количественно оценены возможности получения сжатого воздуха для обеспечения пневматического распыливания топлива за счет утилизации энергии отработавших газов опытного дизеля 1Ч15,0/20,5.

Рассмотрены возможные новые направления использования сжатого воздуха, полученного за счет утилизации энергии ОГ, для повышения мощностных, экономических и экологических показателей ПДВС, свидетельствующие о целесообразности использования этого сжатого воздуха для решения целого ряда актуальных задач, стоящих перед современным двигателестроением.

Установлено, что переход на распыливание топлива сжатым воздухом благоприятно сказывается на рабочем процессе двигателя и на его показателях в целом. В частности, при этом:

1. Обеспечивается высокая степень гомогенизации рабочего тела в цилиндре, что подтверждается фактом доминирующей роли диффузионного механизма горения даже в самом начале процесса тепловыделения, в отличие от исходного варианта, где вначале явно преобладает кинетический механизм.

2. Снижается механическая и термическая нагруженность узлов и деталей дизеля в связи с уменьшением максимального давления в цилиндре (в частности, на режиме номинальной мощности на 7,25 %), максимальной скорости нарастания давления (на 17,8 %), степени повышения давления в цикле (на 33,2 %) и максимальной температуры рабочего тела (на 7,7 %).

3. Увеличивается индикаторный КПД (на 10,8 %) и соответственно снижается минимальный удельный индикаторный расход топлива, повышается индикаторная мощность (на 15,9 %).

4. Существенно уменьшается содержание токсичных компонентов в ОГ: твердых частиц – в 15,3 раза; дымности – в 2,4 раза; оксидов азота - в 1,6 раза; углеводородов и оксида углерода - в 1,3 раза.

5. Мощность, передаваемая от ОГ дизеля 1Ч15,0/20,5 компрессору, обеспечивающему получение сжатого воздуха для пневматического распыливания топлива, достаточна при использовании в качестве привода любого из рассмотренных во второй главе вариантов: с помощью двигателя Стирлинга, термоциркуляционного насоса или газовой турбины и составляет соответственно 10,1; 8,0 и 14,7 кВт.

Изменение формы камеры сгорания и уменьшение поверхности теплообмена между рабочим телом и стенками внутрицилиндрового пространства позволяет ожидать улучшения пусковых качеств дизеля (особенно в условиях низких температур окружающей среды).

Результаты исследования могут быть использованы при создании новых и модернизации существующих поршневых ДВС и комбинированных двигателей, при проведении НИР и ОКР в области двигателестроения, а также в учебном процессе.

**Основное содержание диссертации опубликовано:**

***В изданиях, рекомендованных ВАК***

1. **Харенко, И.А.** Компрессорный дизель - прошлое или будущее двигателестроения? / В.С. Кукис, И.А. Харенко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. - Вып. 2. - Новосибирск: НГАСУ, 2010.- С. 186-188.
2. **Харенко, И.А.** О целесообразности и возможности реализации пневматического распыливания топлива в дизелях / В.С. Кукис, И.А. Харенко // Вестник АВН № 3 (32), 2010. - С. 287-290.
3. **Харенко, И.А.** Совершенствование рабочего процесса дизелей путем пневматического впрыскивания топлива / И.А. Харенко // Известия Международной академии аграрного образования. - Вып. 11.- 2011. - С. 68-74.
4. **Харенко, И.А.** Влияние степени сжатия на показатели ДВС / В.С. Кукис, И.А. Харенко // Вестник АВН № 2 (35), 2011. - С. 339-344.
5. **Харенко, И.А.** Концепция комбинированной энергетической установки в транспортном комплексе / В.В. Руднев, И.А. Харенко // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. Вып. 1. - Новосибирск: НГАСУ, 2011. С. - 215-218.
6. **Харенко, И.А.** Влияние давления воздуха на впуске на характеристики расширительных машин теплосиловых установок с разделенными процессами сжатия и расширения / В.С. Кукис, И.А. Харенко, В.А. Романов // Научные проблемы транспорта Сибири и Дальнего Востока. Научный журнал. Вып. 1. - Новосибирск: НГАСУ, 2012. С. - 254-257.

***В материалах Международных Форумов и конференций:***

7. **Харенко, И.А.** Повышение эффективности дизелей за счет пневматического распыливания топлива / В.С. Кукис, И.А. Харенко // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования (Москва 7-10 декабря 2010). - М.: Академия наук о земле, 2010 - С. 110-111.
8. **Харенко, И.А.** Гибридные двигатели для городского транспорта / В.В. Руднев, И.А. Харенко // Труды Международного Форума по проблемам науки, техники и образования (Москва 7-10 декабря 2010). - М.: Академия наук о земле, 2010 - С. 107-108.
9. **Харенко, И.А.** Концепция комбинированной энергетической установки городского транспорта / В.В. Руднев, И.А. Харенко // Перспективы развития автомобилей. Развитие транспортных средств с альтернативными энергоустановками: материалы 75-й Международной научно-технической конференции Ассоциации автомобильных инженеров. - Тольятти: ОАО «АВТОВАЗ», 2011. - С. 82-87.
10. **Харенко, И.А.** Поршневые двигатели внутреннего сгорания с разделенными процессами сжатия и расширения / В.С. Кукис, И.А. Харенко, В.А. Романов // Настоящие исследования и развитие-2012 (17-25 января 2012). - Том 20. - Технологии: Материалы за VIII Международной научной практической конференцией. - София «БялГРАД-БГ» ООД, 2012. - С. 72-79.

11. **Харенко, И.А.** Возможные пути обеспечения сжатым воздухом дизелей с пневматическим распыливанием топлива / И.А. Харенко, В.С. Кукис, В.А. Романов // Настоящи исследования и развитие-2013 (17-25 января 2013). - Том 28. - Технологии: Материали за IX Международна научна практична конференция. - София «БялГРАД-БГ» ООД, 2013. - С. 97-107.

***В других изданиях:***

12. **Харенко, И.А.** Комбинированные силовые установки для городского транспорта / В.В. Руднев, М.Л. Хасанова, И.А. Харенко // «Научный вестник. Автомобильная техника». Выпуск 20. - Челябинск: ЧВВАКИУ, 2009. С. 28-36.

13. **Харенко, И.А.** Многотопливный универсальный двигатель для городского транспорта / В.В. Руднев, И.А. Харенко, В.С. Кукис // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук. - № 10. - 2011. - С. 325-331.

14. **Харенко, И.А.** Пневматическое распыливание топлива как способ снижения токсичных выбросов ДВС / В.С. Кукис, И.А. Харенко, В.А. Романов // 5-е Луканинские чтения. «Решение энергоэкологических проблем в автотранспортном комплексе». Юбилейная науч.-техн. конф. М.: МАДИ, 2011 - С. 32-34.

15. **Харенко, И.А.** Многотопливные поршневые ДВС с возможностью кратковременного значительного повышения мощности на режиме пиковых нагрузок / В.В. Руднев, И.А. Харенко, В.С. Кукис // Вестник Сибирского отделения Академии военных наук. - № 12. - 2012. - С. 103-106.

***Патенты***

16. Патент на полезную модель РФ 116901. Двигатель внутреннего сгорания / В.С. Кукис, **И.А. Харенко**, В.А. Романов. Оpubл. 10.06.12. Бюл. № 16.

17. Патент на полезную модель РФ 119815. Силовая установка с разделенными процессами сжатия и расширения / В.С. Кукис, **И.А. Харенко**, В.А. Романов. Оpubл. 27.08.12. Бюл. № 24.

18. Патент на полезную модель РФ 127824. Комбинированный двигатель с газотурбинным наддувом и пневматическим распыливанием топлива / В.С. Кукис, В.А. Романов, **И.А. Харенко**. Оpubл. 10.05.13. Бюл. № 13.