

РЕГУЛИРОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВА

*Н. Н. Патрахальцев, д.т.н., проф. кафедры теплотехн. и тепловых двигателей РУДН;
Л.В.А. Санчес, к.т.н., Национальный университет Эквадора, Кито;
О.В. Камышников, к.т.н., Университет Сан Августина, Перу, Арекипа;
С.А. Казаков, магистр техн. и технологий, РУДН*

В работе представлен ряд результатов экспериментального исследования возможностей воздействия на протекание рабочего процесса дизеля оперативным, т. е. во время работы дизеля, изменением физико-химических свойств топлива путем смешивания основного дизельного топлива с альтернативным или с различными горючими и негорючими добавками. Смешивание компонентов происходит практически в каналах форсунки благодаря установке у нее специального клапана регулирования начального давления (РНД). Приведена систематизация задач, решение которых возможно методом «физико-химического регулирования» — ФХР.

Ограниченность запасов нефти, неравномерность их географического размещения, высокие ежегодные объемы добычи, ухудшение качества нефти в новых месторождениях, увеличения глубины ее залегания, а также рост затрат на их разработку обуславливают необходимость экономии нефтяного сырья и диверсификации топливно-энергетического баланса.

Экономия нефтяного сырья достигается различными путями, в том числе дизелизацией автомобильного транспорта, созданием новых экономичных двигателей и комбинированных энергетических установок (гибридных силовых установок), а также за счет углубленной переработки нефти и других природных углеводородов, использования альтернативных топлив (АТ), топлив из возобновляемых источников сырья. Диверсификация топливно-энергетического баланса транспортного комплекса подразумевает возможность одновременного использования различных топлив, как традиционных, так и нетрадиционных. В числе таких топлив в настоящее время рассматриваются природный и попутный нефтяной газ, продукты синтеза жидких углеводородов из природного газа или твердых топлив, например, каменных и бурых углей, спирты, топлива растительного происхождения, водород и т. д.

Многолетний опыт перевода автомобильного транспорта на газовые топлива показывает, что длительность процесса создания соответствующей инфраструктуры существенно ограничивает возможности крупномасштабного освоения этих топлив, отодвигает сроки решения проблемы полной или частичной замены традиционных топлив альтернативными. В то же время необходимость уже сегодня решать экологические и энергетические региональные проблемы вынуждает идти по пути постепенного внедрения этих топлив в практику эксплуатации.

Улучшение эколого-экономических, а часто и энергетических показателей двигателей возможно за счет изменения физико-химических и моторных свойств топлива на основе применения альтернативных топлив (АТ). Таким образом на основе применения АТ решаются задачи не только экономии, но и в последующем полной замены нефтяных ресурсов альтернативными, что обеспечит повышение эффективной эксплуатации транспорта и других энергетических установок за счет повышения их экономичности, экологичности и других показателей.

Метод регулирования рабочего процесса дизеля изменением физико-химических свойств топлива иногда для сокращения называют методом физико-химического регулирования (ФХР) [1, 2].

С определенной долей условности принцип физико-химического регулирования рабочего процесса может относиться к дизелям, работающим с добавлением к воздуху на всасывании различных горючих (пары спирта, бензина, водород и т. д.) и негорючих (вода, кислород, отработавшие газы) веществ. Однако в этом случае следует скорее говорить о регулировании физико-химических свойств горючей смеси, как это принято в ДВС с внешним смесеобразованием. Воздействие на процесс топливоподачи в таких случаях практически отсутствует.

Регулирование изменением физико-химических свойств топлива подразумевает оперативное, во время работы дизеля, изменение свойств топлива добавкой к нему жидких или газообраз-

ных веществ, как горючих, так и не горючих. Это могут быть различные альтернативные топлива, присадки, растворы каталитически активных веществ, газы и т. д. Важно, что эти добавки вводятся в само топливо непосредственно перед впрыскиванием его в цилиндр дизеля. В результате этого изменяются характеристики впрыскивания, распыливания, распределения топлива по камере сгорания и т. д. В конечном итоге изменяются как свойства горючей смеси, так и процессы воспламенения–сгорания.

Задачей этого исследования не является максимальное замещение дизельного топлива альтернативным, а изучение качественного и количественного изменения характеристик смесиобразования, воспламенения–сгорания различных горючих смесей на различных скоростных, нагрузочных и тепловых режимах работы двигателя.

Реализация метода регулирования дизеля изменением физико-химических свойств топлива стала возможной с появлением ряда систем топливоподачи, получивших название систем с регулированием начального давления топлива (РНД) [3]. Принцип работы систем этого типа заключается в следующем. С помощью клапанов-распределителей различные добавки или присадки вводятся в линию высокого давления топливных систем в максимальной близости от форсунки, где они смешиваются с основным топливом, а затем впрыскиваются штатной форсункой в виде смесей, растворов, эмульсий в цилиндры двигателя.

Анализ моторных свойств топливных смесей с различными добавками и их влияние на протекание рабочего процесса был проведен на установке ИДТ-69, предназначенной для определения цетановых чисел (ЦЧ) топлив. Эта установка представляет собой вихрекамерный дизель 1С8,5/11,5 с частотой вращения 900 об/мин и степенью сжатия 17. Установка оборудована средствами регистрации индикаторной диаграммы, необходимыми датчиками и измерителями расходов [4]. Топливная система установки выполнена с подключением к линии высокого давления устройства для введения различных добавок через клапан, конструкция которого показана на рис. 1.

Система работает следующим образом. При отсечке подачи топлива нагнетательный клапан 2 штатного ТНВД 1 при посадке в седло своим разгрузочным пояском формирует в линии высокого давления (ЛВД) 3 волну пониженного давления (или даже разрежения). Клапан РНД 5 открывается вследствие возникающего перепада давления, и добавка из емкости 16 поступает в ЛВД. Здесь она смешивается с основным ди-

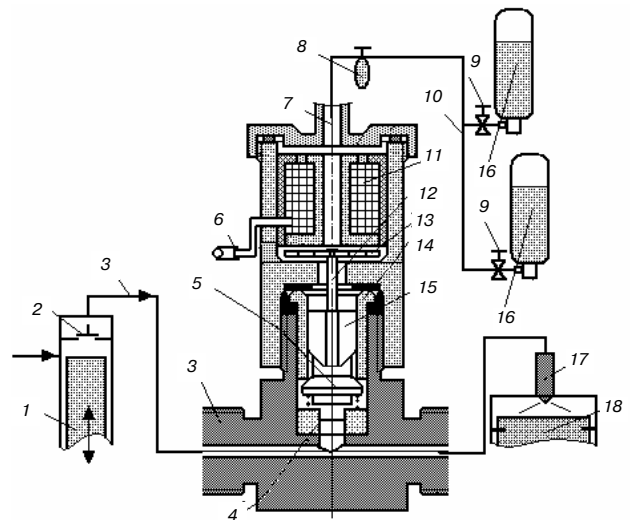


Рис. 1. Система подачи добавок в дизельное топливо для реализации метода ФХР:

1 — ТНВД; 2 — нагнетательный клапан ТНВД; 3 — линия высокого давления; 4 — ограничитель хода клапана РНД; 5 — клапан РНД; 6 — питание электромагнитной катушки; 7 — ввод добавки; 8 — фильтр; 9 — вентиль; 10 — линия подвода добавки; 11 — электромагнитная катушка; 12 — шток; 13 — магнитная пластина; 14 — седло клапана РНД; 15 — направляющий хвостовик; 16 — баллоны с добавками; 17 — форсунка закрытого типа; 18 — дизель

зельным топливом (ДТ), создавая топливную смесь, которая в очередных циклах топливоподачи обычным порядком впрыскивается штатной форсункой 17 в цилиндр дизеля 18.

Для прекращения подачи добавки на режимах, когда эта подача не эффективна или не желательна, на электромагнитную катушку 11 подается электропитание. В результате магнитная пластина 13 притягивается к электромагниту и шток 12 удерживает клапан РНД 5 в закрытом состоянии. Подача добавки прекращается. Осциллограммы на рис. 2 иллюстрируют работу системы с управляемым клапаном РНД.

Исследование показало, что переходный процесс замещения в каналах форсунки дизельного топлива смесевым составляет 3–5 циклов. Исследование проведено методом сравнительного анализа протекания процесса при работе на чистом дизельном топливе (ДТ) и топливе с разными добавками. В качестве добавок к ДТ были использованы этанол, бензин А-76, легкие синтетические парафиновые ($C_{11}H_{24}$) углеводороды (ЛСПУ), вода, водные растворы ряда веществ, обладающих каталитическим действием (неорганические, нерастворимые в углеводородном топливе соли ряда металлов, например $BaCl_2$), аммиак, сжиженный нефтяной газ (пропан–бутан), количество которых варьировалось до 50 % от полной цикловой подачи топлива. Кроме того, проведено исследование возможности воз-

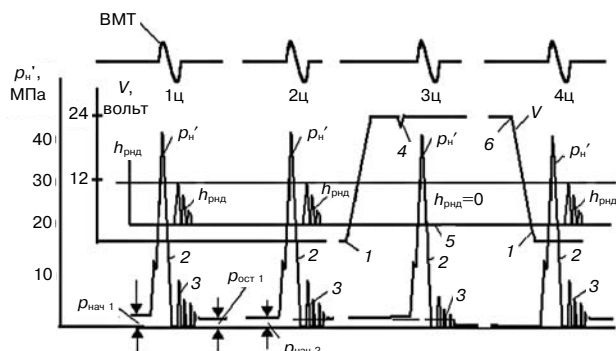


Рис. 2. Осциллограммы работы системы ввода добавки в дизельное топливо в линии высокого давления системы топливоподдачи:

p_n' — давление топлива в штуцере штатного ТНВД; $h_{рнд}$ — ход клапана РНД; V — напряжение питания электромагнитной катушки (11 на рис. 1); 1ц–4ц — номера последовательности циклов работы топливной системы; $p_{нач1}$, $p_{нач2}$ — начальные давления топлива в последовательных циклах 1, 2; $p_{ост1}$ — остаточное давление в ЛВД после первого цикла топливоподдачи; 1 — включение электропитания электромагнитной катушки; 2 — осциллограммы давления топлива в штуцере штатного топливного насоса; 3 — волновой процесс при отсечке подачи; 4 — момент притяжения магнитной пластины (13 на рис. 1) к электромагнитной катушке (11 на рис. 1); 5 — пропуск открытия клапана РНД; 6 — выключение питания электромагнита

действия на протекание рабочего процесса дизеля растворением в топливе воздуха и природного газа, подаваемых в ЛВД через клапан РНД в количестве до 30 % (объемных). Эксперименты проведены на одном скоростном режиме при постоянстве энергоемкости подачи топлива, эквивалентной расходу ДТ, равному 13 мл/мин. Для исключения влияния на результаты исследования переменного начального давления в ЛВД при подаче в нее 10–50 % жидкой добавки, проведено сравнение с протеканием процесса на ДТ, когда аналогичное количество ДТ, т. е. 10–50 %, подавалось через клапан РНД.

На рис. 3 сопоставлены характеристики изменения давления p_r в цилиндре дизеля, температуры T , жесткости процесса $dp/d\phi$, а также характеристики ξ и скорости $d\xi/d\phi$ тепловыделения при добавке к ДТ 30 % ЛСПУ, бензина А-76 или этанола, т. е. легких невязких компонентов с высокой (ЛСПУ, А-76) или низкой (этанол) теплотой сгорания, высоким (ЛСПУ) или низким (этанол, А-76) цетановым числом, высокой теплотой испарения или сравнительно низкой (А-76, ЛСПУ).

Значительное влияние на физико-химические свойства смесевое топлива оказывает добавка к АТ спиртов. При введении спирта в дизельное топливо вблизи форсунки через клапан РНД в цилиндры дизеля впрыскивается спиртотопливная эмульсия (СТЭ). Очевидно благодаря изменению качества распыливания (вторичное распыливание), а также изменению других фи-

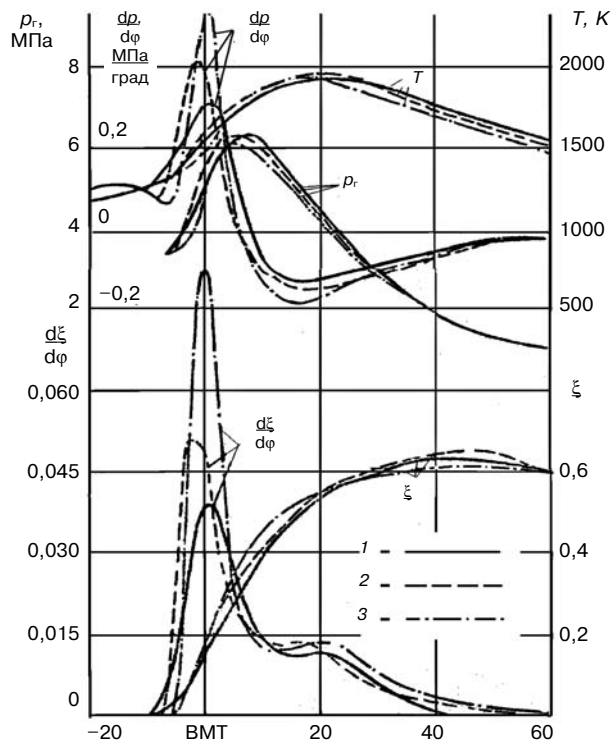


Рис. 3. Характеристики тепловыделения (ξ), скорости тепловыделения ($d\xi/d\phi$), давления газов (p_r), скорости изменения давления ($dp/d\phi$) и средней температуры (T) в цилиндре при работе на разных топливах:

1 — на дизельном топливе (ДТ) с добавкой 30 % синтетических парафиновых углеводородов; 2 — на ДТ с добавкой 30 % бензина А-76; 3 — на ДТ с добавкой 30 % этанола [4]

зических свойств (вязкость, плотность, поверхностное натяжение, испаряемость и т. д.) и химических свойств (цетановое число, теплота сгорания, энергия активации и т. д.) происходит существенное снижение дымности ОГ, уменьшение выброса NO_x , появляется возможность форсирования рабочего процесса по составу смеси α без превышения предела дымления и т. д.

Присадка к топливу 10 % этанола увеличивает период задержки воспламенения. Скорость теплоиспользования в первой фазе сгорания при этом резко возрастает. Увеличение доли этанола свыше 20 % увеличивает задержку воспламенения на 2–3° поворота коленчатого вала.

Добавка к ДТ этанола приводит к увеличению скорости нарастания давления, которая в 2 раза выше по сравнению с работой на ДТ. Момент достижения ξ_{max} при работе на топливе со спиртом смещается дальше за ВМТ на 10–15° ПКВ. На характеристиках наблюдается влияние высокой теплоты испарения спирта при значительном увеличении его количества в цикловой подаче. Добавка к дизельному топливу 10, 30, 50 % этанола снижает цетановое число смеси с 45 до 42, 36, 32 единиц соответственно.

При малых количествах добавки к ДТ бензина А-76 уменьшение на 0,5° периода задержки вос-

пламенения происходит, очевидно, благодаря «физической» части периода задержки. С ростом количества добавки бензина задержка воспламенения увеличивается в соответствии с уменьшением цетанового числа. Максимальная скорость тепловыделения в первой фазе сгорания и жесткость сгорания растут, но не так существенно, как в случае со спиртом. Добавка бензина увеличивает полноту сгорания и ξ_{\max} до 0,64 (вместо 0,6 на ДТ), причем момент достижения максимума смещается ближе к ВМТ, в отличие от работы с добавкой этанола.

Добавка к ДТ ЛСПУ (с составом по углероду от C_5 до C_{10} , обладающим высокими, до 65 единиц, цетановыми числами) приводит к уменьшению периода задержки воспламенения на 2–3° ПКВ, при этом $(d\xi/d\varphi)_{\max}$ первой фазы несколько снижается или значительно превышает аналогичный параметр цикла работы на ДТ, ξ_{\max} повышается до 0,63, а момент его достижения смещается ближе к ВМТ. Варьирование указанных добавок меняет период задержки воспламенения от -3° до $+9^\circ$ ПКВ, жесткость сгорания и скорость теплоиспользования — до 30 и 100 % соответственно, абсолютное тепловыделение — на 5–6 % и момент достижения его максимума ξ_{\max} на 10–20° ПКВ. Добавка ЛСПУ до 50 % увеличивает цетановое число смеси до 53 единиц.

На рис. 4 сравниваются характеристики сгорания для случаев подачи в ДТ 15 % аммиака (NH_3) и жидкой фазы сжиженного нефтяного газа (пропана–бутана топливного СПБТ).

Видно, что добавка в ДТ жидкой фазы СПБТ существенно (на 2–2,5° ПКВ) смещает начало сгорания ближе к началу впрыскивания, а добавка NH_3 увеличивает задержку на 6–7°. Сжиженный газ даже при таком раннем начале сгорания увеличивает $(dp/d\varphi)_{\max}$ на 10–15 % и $(d\xi/d\varphi)_{\max}$ на 20–25 %. В этом случае несколько растет p_r цикла, причем цикл относительно ВМТ занимает близкое к оптимальному положение: $\varphi_z = 2-3^\circ$. Работа на топливе с аммиаком в 1,5 раза увеличивает максимальную жесткость цикла, несколько увеличивает ξ_{\max} при сохранении момента его достижения.

Определенные возможности воздействия на процесс сгорания были выявлены при подаче в ЛВД различных газов [6]. Результаты экспериментальной проверки влияния добавок к основному топливу природного газа (в газовой фазе) и атмосферного воздуха приведены на рис. 5.

В приведенном случае воздух был нагрет до $60^\circ C$, подача воздуха и газа производилась путем простого их всасывания через клапан РНД. Можно предположить, что газ или воздух, поступившие в ЛВД, растворяются в ДТ при повы-

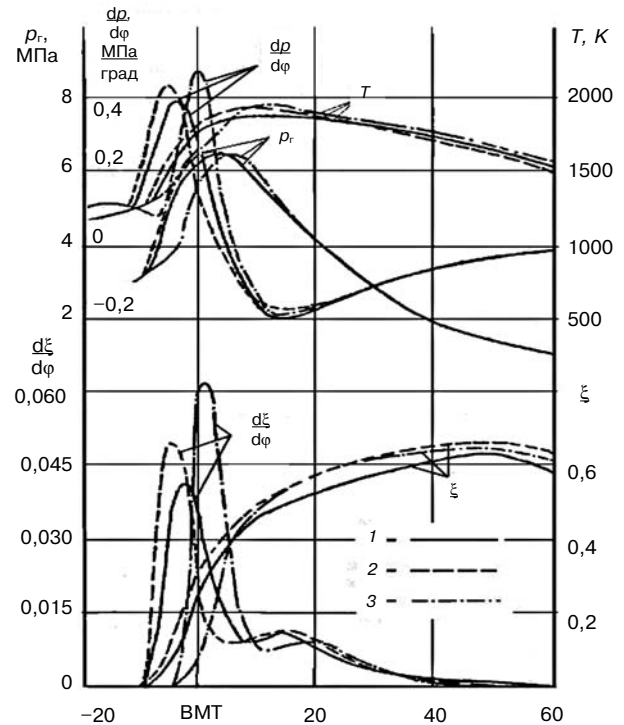


Рис. 4. Характеристики тепловыделения (ξ), скорости тепловыделения ($d\xi/d\varphi$), давления газов (p_r), скорости изменения давления ($dp/d\varphi$) и температуры (T) в цилиндре при работе на разных топливах:

1 — на ДТ с добавкой; 2 — на ДТ с добавкой 10 % сжиженного нефтяного газа (СПБТ); 3 — на ДТ с добавкой 10 % аммиака [4, 5]

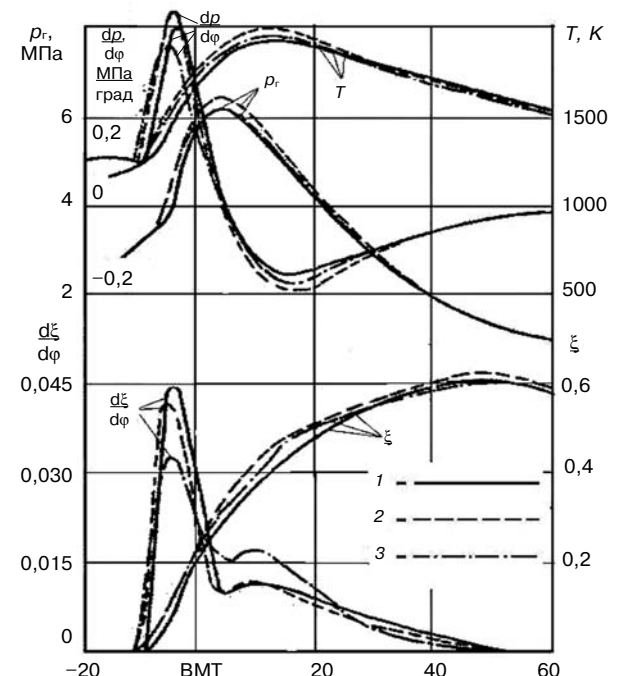


Рис. 5. Характеристики тепловыделения (ξ), скорости тепловыделения ($d\xi/d\varphi$), давления газов (p_r) и скорости изменения давления ($dp/d\varphi$) в цилиндре дизеля:

1 — на ДТ; 2 — на ДТ с растворенным в нем воздухом (30 %об.); 3 — на ДТ с растворенным в нем газом 30 %об. [4, 6]

шении его давления, а затем при впрыске в цилиндр и резком падении давления вновь выделяются, разрушая капли топлива, интенсифицируя процесс смесеобразования. Влияние изменения местного коэффициента избытка воздуха вряд ли можно считать существенным ввиду малости весового количества воздуха, поданного в ЛВД. Присадка воздуха к топливу интенсифицирует первую фазу взрывного горения, добавка газа существенно сказывается на росте максимальной скорости диффузионного сгорания, что объясняется, очевидно, лучшей растворимостью газа в топливе и худшей его дегазацией (выделением из раствора). Протекание рабочего цикла при такой организации процесса смесеобразования характеризуется сравнительно небольшим увеличением жесткости. Для восстановления оптимальности цикла по экономичности необходимо уменьшение угла опережения впрыска на 2° ПКВ. Присадка к ДТ 30 % (объемных) воздуха или газа снижает дымность ОГ с 3,5 до 3,0–3,1 единиц Бош.

Анализ протекания рабочего процесса дизеля при добавке к ДТ раствора катализатора (в первоначальном варианте исследования — хлорида бария), а также воды (для обеспечения сравнения результатов исследований) показал следующее [7]. Добавка к ДТ 20 % двухпроцентного водного раствора $BaCl_2$ способствует уменьшению периода задержки воспламенения на величину до 2–3° ПКВ, а также значительному снижению дымности с 3,5 до 2,2 ед. Бош. Интенсивность тепловыделения при этом меняется мало, а ξ_{max} и момент его достижения не изменяются. Добавка к ДТ 10–20 % двухпроцентного водного раствора $BaCl_2$ увеличивает ЦЧ топлива с 45 до 48 единиц, а такая же добавка воды повышает его лишь до 46 единиц. Причем добавка воды более 30 % снижает ЦЧ, в то время как добавка водного раствора хлорида бария вплоть до 50 % от цикловой подачи топлива поддерживает ЦЧ выше исходного уровня.

На основании результатов выполненного исследования можно сформулировать основные цели (рис. 6), достижение которых возможно за счет регулирования рабочего процесса двигателя изменением физико-химических свойств топлива.

Показана возможность регулирования рабочего процесса дизеля оперативным, т. е. во время работы дизеля, изменением физико-химических свойств топлива путем создания смесевых топлив добавлением в основное дизельное различных альтернативных топлив или других добавок или присадок. Эта возможность может быть реализована путем модернизации штатной топливной системы (прежде всего разделенного типа) оснащением ее клапанами регулирования начального



Рис. 6. Схематическое представление основных целей, достижение которых возможно методом ФХР на основе применения альтернативных топлив

давления (РНД), к которым подключаются источники альтернативных топлив, добавок или присадок. Размещение клапанов РНД в максимальной близости к распылителю форсунки обеспечивает высокое быстродействие системы, т. е. малые задержки создания смесового топлива перед подачей его в цилиндр дизеля.

Работа выполнялась в рамках договора о научно-техническом сотрудничестве между РУДН и университетами Латинской Америки.

Литература

1. Патрахальцев Н.Н. Физико-химическое регулирование дизеля // Материалы междунар. науч. техн. конф. «Двигатель-97». — М., 1997. — С. 98.
2. Патрахальцев Н.Н., Соболев И.А., Силин Е.Л. Повышение динамических качеств автотракторного дизеля изменением физико-химических свойств топлива // Автомобильная промышленность. — 2008. — № 7. — С. 10–13.
3. Патрахальцев Н.Н., Шкаликова В.П. Применение клапана регулирования начального давления в топливной системе дизеля для подачи различных топливных добавок к основному топливу // Вестник РУДН. Сер. «Инженерные исследования». — 2005. — № 1 (11). — С. 66–68.
4. Патрахальцев Н.Н., Санчес Л.В., Шкаликова В.П. О возможности расширения ресурса дизельных топлив и регулирования рабочего процесса дизеля изменением

состава топлива // ДВС. Республиканск. межвед. науч.-технич. сб. — Харьков. Вища школа. — 1988. — Вып. 48. — С. 73–79.

5. *Патрахальцев Н.Н., Виноградский В.Л., Ластра Л.А.* Корректирование скоростных характеристик дизеля добавлением в топливо сжиженного нефтяного газа // Строительные и дорожные машины. — 2002. — № 4. — С. 22–23.

6. *Патрахальцев Н.Н., Санчес Л.В., Мазинг М.В.* Возможности совершенствования эколого-экономических показателей дизелей насыщением топлива воздухом // Известия вузов. Машиностроение. — 1995. — № 1. — С. 65–73.

7. *Кущевалов В.А., Панчишин В.И., Патрахальцев Н.Н.* Возможности совершенствования рабочего процесса дизеля введением каталитических неорганических веществ в камеру сгорания // Двигателестроение. — 1988. — № 9. — С. 8–10.

8. *Патрахальцев Н.Н., Горбунов В.В., Берро М.Б.* Сжигание отработанного масла в цилиндрах дизеля // Строительные и дорожные машины. — 1992. — № 4. — С. 23–25.

9. *Патрахальцев Н.Н., Ластра Л.А., Качо Г.Л.* Альтернативный метод повышения эффективности работы дизеля в условиях высокогорья форсировкой рабочего процесса по составу смеси // Известия вузов. Машиностроение. — 1995. — № 4–6. — С. 38–45.

10. *Патрахальцев Н.Н., Фомин А.В., Бадеев А.А.* Повышение эффективности пуска дизельного двигателя в условиях низких температур // Строительные и дорожные машины. — 2006. — № 3. — С. 14–17.

11. *Патрахальцев Н.Н., Бадеев А.А., Русинов А.Р.* Возможности форсажа дизеля при ограничении дымности выбросов // Строительные и дорожные машины. — 2007. — № 5. — С. 40–42.

КОНФЕРЕНЦИИ. СЕМИНАРЫ. ВЫСТАВКИ



ВСЕРОССИЙСКАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ «РАЗВИТИЕ ДВИГАТЕЛЕСТРОЕНИЯ В РОССИИ»

09-10 апреля 2009 г. Санкт-Петербургский Военный инженерно-технический университет (ФГОУ ВПО ВИТУ) и межотраслевой научно-технический и производственный журнал «Двигателестроение»

проводят Всероссийскую научно-техническую конференцию «Развитие двигателестроения в России», посвященную 30-летию выхода в свет первого номера журнала «Двигателестроение».

Конференция организуется при поддержке Министерства Обороны РФ, Правительства Санкт-Петербурга и участия ведущих ученых и специалистов отраслевых НИИ организаций, специализированных кафедр вузов, предприятий двигателестроения и комплектующих агрегатов, КБ и проектных организаций транспортной техники, силовых и энергетических установок на базе поршневых ДВС.

Во время работы конференции состоится расширенное юбилейное заседание редакционной коллегии журнала.

Цель конференции

Обсуждение состояния и актуальных вопросов развития и повышения конкурентоспособности продукции отрасли Российского двигателестроения, включая перспективные научные исследования и разработки в областях совершенствования рабочего процесса и снижения выбросов вредных веществ, развития конструкций двигателей их систем и агрегатов, технологий производства и ремонта, вопросов эксплуатации поршневых ДВС общепромышленного и специального применения.

Место проведения конференции

Конференция будет проходить в здании ФГОУ ВПО ВИТУ по адресу: 191123, Санкт-Петербург, ул. Захарьевская, дом 22.



Тезисы докладов

Для участия в конференции и формирования ее рабочей программы участникам необходимо направить в адрес организационного комитета по электронной почте тезисы доклада (объемом 1 стр. формата А4 машинописного текста, набранного шрифтом Time New Roman 12, через полтора интервала). Тезисы должны включать название доклада, ФИО и место работы автора, текст тезисов, включая рисунки, таблицы и перечень цитируемых источников. Тезисы докладов будут опубликованы в специальном приложении к журналу «Двигателестроение».

Организационный комитет

Председатель:	Лапин Геннадий Николаевич, Заместитель начальника ФГОУ ВПО ВИТУ по научной работе
Заместители председателя:	Терехин Андрей Николаевич, начальник кафедры ДВС ФГОУ ВПО ВИТУ Новиков Лев Анатольевич, главный редактор журнала «Двигателестроение»
Секретарь:	Вольская Нина Андреевна, выпускающий редактор журнала «Двигателестроение»
Реквизиты оргкомитета:	Тел. (812) 719-7330, факс (812) 719-7316, E-mail: ecology@rdiesel.ru, cnidi_ecoservice@rdiesel.ru