

## ВОЗМОЖНОСТИ ЭКОНОМИИ НЕФТЯНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ТОПЛИВА ЧАСТИЧНЫМ ЗАМЕЩЕНИЕМ ЕГО АЛЬТЕРНАТИВНЫМ

Н.Н. Патрахальцев, И.А. Петруня,  
Р.О. Камышников, Э.А. Савастенко

Кафедра теплотехники и тепловых двигателей  
Российский университет дружбы народов  
*ул. Миклухо-Маклая, 6, Москва, Россия, 117198*

Статья посвящена проблеме использования в существующих автотракторных дизелях альтернативных топлив типа сжиженного нефтяного газа, спиртов и др. с целью снижения дымности ОГ, а также экономии основного дизельного топлива. Для повышения доли замещения дизельного топлива альтернативным целесообразно применять метод регулирования дизеля отключением — включением цилиндров или циклов.

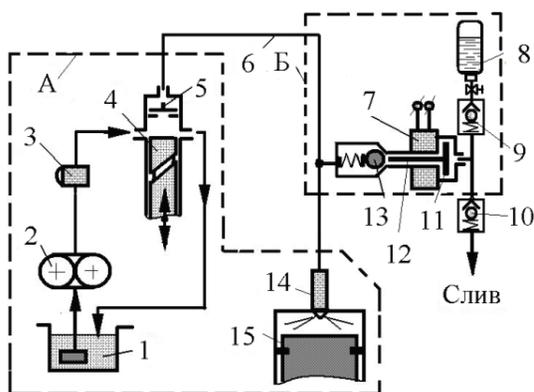
**Ключевые слова:** дизель, альтернативное топливо, сжиженный нефтяной газ, спирт, отключение цилиндров или циклов.

Проблема дальнейшего повышения экономических, а также экологических и эффективных показателей работы дизелей является актуальной во всем мире. В настоящее время в Европе количество легковых автомобилей с дизелями достигло 60% от их общего парка, что стимулируется прежде всего высокими показателями по топливной экономичности таких двигателей. В то же время важнейшим недостатком дизеля является повышенная дымность его отработавших газов, что является не только экологической, но и социальной проблемой. Решение этой проблемы в определенной степени может достигаться использованием различных альтернативных топлив (АТ), в том числе сжиженного нефтяного газа (сжиженного пропана-бутана топливного — СПБТ), спиртовых (СП), прежде всего метанола (М) и этанола (ЭТ), синтетических углеводородов и других [1]. Наименее затратным по времени внедрения и наиболее простым по техническому исполнению является метод использования смесевых топлив, например, смесей дизельного топлива с СПБТ [2], спиртотопливных эмульсий и т.д., создаваемых в процессе работы двигателя [3]. Для реализации такого метода целесообразно применение систем топливоподачи разделенного типа, модернизированных установкой клапанов регулирования начального давления (РНД) [4], называемых иначе клапанами импульсной подачи добавки к основному топливу.

Выбор составов смесевых топлив для реализации широкого диапазона скоростных и нагрузочных режимов зависит от их физико-химических, теплофизических и моторных свойств. При этом возможный и желательный состав смесевого топлива должен быть связан с режимами работы двигателя, так как работа спиртодизеля или газодизеля (работающих по принципу внутреннего смесеобразования) с повышенным содержанием этих топлив на режимах малых нагрузок и холостых

ходов существенно затрудняется из-за низких качеств самовоспламеняемости такого топлива. В современных условиях эксплуатации коэффициент загрузки автомобильных двигателей в условиях города составляет 0,4—0,3. Поэтому на режимах малых нагрузок и холостых ходов необходимо либо отключать добавку альтернативного топлива, либо управлять составом смесевого топлива, т.е. менять его состав во время работы двигателя. Это в принципе возможно [5], но достаточно сложно. Возможно также применять «безреечное» регулирование дизеля, например отключением-включением цилиндров или циклов или, иначе говоря, регулированием двигателя изменением его рабочего объема [6]. В этом случае мощность дизеля меняется не изменением подачи топлива, а отключением — включением одного или нескольких цилиндров. В результате отключения части цилиндров дизель продолжает работать с пониженной мощностью, причем оставшиеся в работе (активные) цилиндры работают с повышенной или даже полной нагрузкой, а следовательно, с повышенным (по сравнению с частичными нагрузками) тепловым состоянием. Это обеспечивает возможность подачи в работающие цилиндры повышенного количества альтернативных топлив с ухудшенными качествами по воспламеняемости. Известно, что применение такого регулирования обеспечивает также повышение удельной топливной экономичности режимов малых нагрузок и холостых ходов, а также позволяет повысить динамические качества дизеля за счет исключения сравнительно инерционной системы регулирования изменением положения регулирующего органа дизеля [7].

Схема системы отключения цилиндров или циклов, а также введения альтернативного топлива в основное дизельное во время работы двигателя показана на рис. 1 [8].



**Рис. 1.** Схема топливной системы с отключателем цилиндра и вводом альтернативного топлива в дизельное:

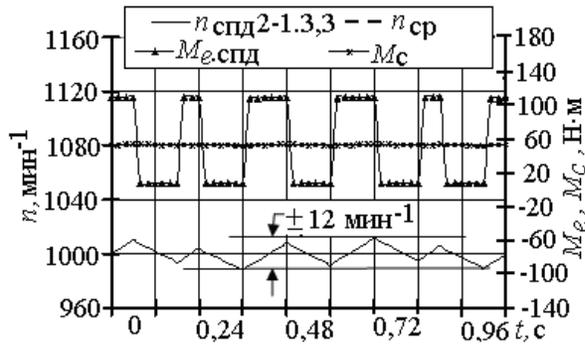
А — узел штатной топливной аппаратуры; Б — узел с клапаном регулирования начального давления (РНД) и элементом отключения подачи топлива; 1 — бак дизельного топлива; 2 — подкачивающий насос; 3 — фильтр топлива; 4 — плунжерная пара топливного насоса высокого давления (ТНВД); 5 — нагнетательный клапан с разгрузочным пояском; 6 — линия высокого давления; 7 — электромагнитная катушка; 8 — емкость с альтернативным топливом; 9 — обратный клапан ввода альтернативного топлива; 10 — обратный клапан слива топлива; 11 — магнитная пластина со штоком 12 удержания клапана РНД в открытом состоянии; 13 — клапан РНД; 14 — форсунка; 15 — дизель

Работа дизеля с такой системой осуществляется следующим образом. После отсечки подачи топлива насосом 4 его нагнетательный клапан 5 при посадке в седло формирует в линии высокого давления (ЛВД) 6 волну пониженного давления. Когда эта волна проходит мимо клапана РНД 13, он открывается благодаря перепаду давления на нем, и АТ из емкости 8 через клапан 9 и каналы в узле с клапаном 13 вводится в основное дизельное топливо в ЛВД 6. За время между циклами волна пониженного давления пробегает мимо клапана РНД 13 несколько раз и АТ несколько раз вводится в ЛВД 6. Таким образом перед форсункой, предпочтительно в максимальной близости к ней, создается смесевое топливо, причем с повышенным давлением (начальным давлением). В очередном цикле топливоподачи насосом 4 это смесевое топливо впрыскивается в цилиндр дизеля 15 обычным порядком. Во время впрыскивания распылители форсунок дополнительно диспергируют и эмульгируют смесь топлив.

Если во время работы дизеля нужно снизить развиваемую им мощность, то на катушку 7 подают электропитание. Магнитная пластина 11 притягивается к катушке 7 и своим штоком 12 нажимает на клапан 13, стремясь его открыть. Но усилия, создаваемого магнитом, недостаточно для открытия клапана в произвольный момент, так как напряжение питания катушки составляет порядка 12—24 вольт. А вот когда волна разрежения подбежит к клапану РНД 13, то он откроется, и в дальнейшем усилием электромагнита будет удерживаться в открытом состоянии. Тогда при очередном нагнетательном ходе плунжера насоса 4 подаваемое им топливо не поступит к форсунке, а сольется через каналы открытого клапана 13, каналы отключателя, обратный клапан 10 — на слив в топливный бак. Тем самым цилиндр дизеля будет отключен. Развиваемая дизелем мощность снижена. Очевидно, что продолжительность открытого состояния клапана 13 определяет продолжительность отключенного цилиндра. Снятие электропитания с электромагнитной катушки 7 приводит к закрытию клапана 13 и дальнейшие циклы работы цилиндра происходят обычным порядком, причем, с вводом АТ через клапан РНД.

Применение метода отключения цилиндров считается целесообразным при числе цилиндров 6 и более. Однако принципиально возможно применение его и на дизеле с четырьмя и даже тремя цилиндрами. При этом поддержание режимов с малой нагрузкой достигается реализацией режимов разгонов — выбегов с разным числом работающих цилиндров. На рис. 2 показано (для примера), что поддержание режима постоянной частоты вращения дизеля типа Д-240 (4 Ч 11/12,5) с частичной нагрузкой достигается попеременной работой дизеля на двух или одном цилиндрах при отключенных остальных.

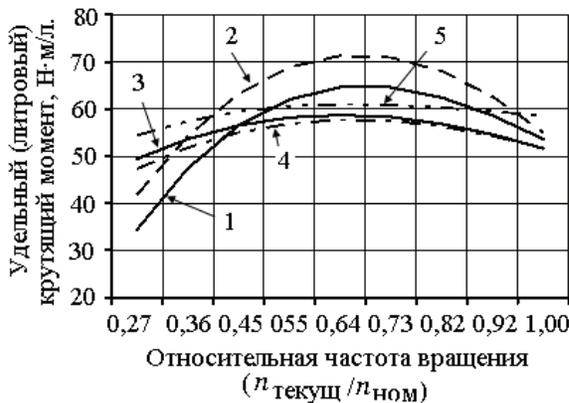
Поддержание такого же режима при чередовании работы на двух цилиндрах и выключении обоих дает нестабильность частоты вращения вала дизеля 16 мин.<sup>-1</sup>, а спиртодизеля — 20. Это связано с уменьшением времени цикла спиртодизеля при его разгонах, благодаря повышенной форсировке по крутящему моменту. При этом часовые выбросы сажи дизелем составляют 125 г/час, а спиртодизеля — 54, т.е. снижаются более чем в 2 раза. Выбросы сажи дизелем и спиртодизелем при работе на режиме  $n = 2000$  мин.<sup>-1</sup> при регулировании установки с моментом инерции  $I_{уст} = 6,3 \text{ Н}\cdot\text{м}\cdot\text{с}^2$  методом отключения-включения двух цилиндров составляют соответственно 227 и 140 г/час (под нагрузкой) и 81 и 44 г/час (без нагрузки).



**Рис. 2.** Поддержание режима работы спирто — дизеля на базе дизеля Д-240 при  $n_{\text{спд}} = 1000 \pm 12 \text{ мин}^{-1}$  и нагрузке  $M_c = f(n) = -58 \text{ Н·м}$ , путем реализации попеременных разгонов — выбегов работой соответственно на двух и одном цилиндрах (2—1) на установке с моментом инерции  $I_{\text{уст.}} = 3,3 \text{ Н·м·с}^2$

Экономия дизельного топлива при работе газодизеля или спиртодизеля достигается прежде всего благодаря замещению его части соответственно сжиженным пропаном-бутаном или спиртом. Так, на режиме  $n = 1000 \text{ мин}^{-1}$  со средней нагрузкой  $76,5 \text{ Н·м}$ , реализуемом путем разгонов-выбегов соответственно на двух и одном цилиндрах, экономия ДТ составляет порядка  $0,74—0,76 \text{ кг/час}$  или около 20% (при полном расходе топлива  $3,6 \text{ кг/час}$ ).

Особенностями работы топливной аппаратуры дизеля с клапанами РНД и свойствами альтернативных топлив объясняется изменение протекания внешних скоростных характеристик дизеля, газодизеля, спиртодизеля. Это иллюстрируется зависимостями удельных (т.е. отнесенных к рабочему объему активных цилиндров) крутящих моментов двигателей на рис. 3.



**Рис. 3.** Сравнение скоростных характеристик дизелей (д), газодизелей (гд) и спиртодизелей (спд) по величинам удельных (литровых) крутящих моментов:

1 —  $M_{e,д}$  — штатный дизель Д-240, 2 —  $M_{e,спд}$  — спиртодизель на базе Д-240, 3 —  $M_{e,д}$  — дизель ЯМЗ-238, 4 —  $M_{e,гд.м.д}$  — газодизель ЯМЗ-238 малодымный, 5 —  $M_{e,гд.ф}$  — газодизель на базе ЯМЗ-238, форсированный

Анализ характеристик показывает, что спиртодизель и газодизель имеют повышенные по сравнению с соответствующими дизелями внешние скоростные характеристики, более высокие коэффициенты приспособляемости, особенно при сохранении исходной номинальной мощности, повышенные максимальные крутящие моменты, что обеспечивает в конечном итоге дополнительные эффекты — повышение динамических качеств таких транспортных дизелей. Так, спиртодизель типа Д-240 реализует разгоны в диапазоне от минимальной до номинальной частоты вращения на 9—10% быстрее, чем исходный дизель. Те же режимы газодизель на базе ЯМЗ-238 реализует на 6—8% быстрее.

Итак, при работе с низкоцетановыми добавками вынужденно приходится отключать их ввод в дизельное топливо на режимах малых нагрузок и холостых ходов. Применение отключения цилиндров обеспечивает сохранение возможности работать с добавками СПБТ, ЭТ и т.д. и на низкотемпературных режимах. В этом случае доля замещения дизельного топлива, например сжиженным нефтяным газом, может быть повышена. При реализации циклограммы эксплуатационного цикла дизеля типа Д-240 трактора МТЗ-80/82 реализация работы двигателя по газодизельному циклу с внутренним смесеобразованием и использованием СПБТ без системы отключения цилиндров, экономия дизельного топлива путем замещения его сжиженным пропаном-бутаном, достигает до 28% от полного расхода топлива. Реализация того же цикла газодизелем с использованием отключения цилиндров (СОЦЦ) позволяет экономить до 35—40% дизельного топлива замещением его пропаном-бутаном. Еще более существенный эффект достигается в части снижения выбросов сажи, которые уменьшаются в 1,5—1,8 раза по сравнению со случаем реализации того же цикла тем же дизелем в исходном исполнении.

Таким образом, применение модернизационного, причем сравнительно простого изменения топливной аппаратуры дизеля оснащением ее клапанами регулирования начального давления и использование системы отключения цилиндров или циклов на их базе позволяет повысить эффективность замещения основного дизельного топлива альтернативным, повысить экономичность и экологичность двигателя.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] *Патрахальцев Н.Н.* Повышение экономических и экологических качеств двигателей внутреннего сгорания на основе применения альтернативных топлив. — М.: РУДН, 2008. — 267 с. [*Patrahalsev N.N.* Povyshenie ekonomicheskikh kachestv dvigatelej vnutrennegnija sgoraniya. — М.: RUDN, 2008. — 267 s.]
- [2] *Мамедова М.Д., Васильев Ю.Н.* Транспортные двигатели на газе. — М.: Машиностроение, 1994. — 224 с.: ил. [*Mamedova M.D.* Transportnye dvigateli na gase. — М.: Mashinostroenie, 1994. — 224 s.]
- [3] *Патрахальцев Н.Н., Гусаков С.В., Медведев Е.В.* Возможности организации газодизельного процесса с внутренним смесеобразованием на базе дизеля 8Ч13/14 // Двигателестроение. — 2004. — № 3. — С. 10—12. [*Patrahalsev N.N. i dr.* Vozmozhnosti organizatsii gazodizel sel process s vnutrennim smeseobrazovaniem na baze disel 8Ч13/14 // Dvigatelistroenie. — 2004. — N 3. — S. 10—12.]

- [4] Патрахальцев Н.Н. Дизельные системы топливоподачи с регулированием начального давления // Двигателестроение. — 1980. — № 10. — С. 33—38. [*Patrahalsev N.N. i dr. Diesel systemy toplivopodathi s regulirovaniem // Dvigatellestroenie. — 1980. — N 10. — S. 33—38.*]
- [5] Мальчук В.И., Дунин А.Ю. Способ совместной подачи двух топлив в камеру сгорания дизеля через одну форсунку // Перспективы развития энергетических установок для автотранспортного комплекса. — Труды МАДИ (ГТУ). — 2006. — С. 68—76. [*Mihalthuk V.I., Dunin A.Yu. Sposob sovmestnoj podathi dvuh topliv v kameru // Perspektivy razvitiya energeticheskikh ustanovok. — Trudy MADI. — 2006. — S. 68—76.*]
- [6] Патрахальцев Н.Н., Вальдеррама А., Градос Х. От отключения цилиндров — к отключению циклов // Автомобильная промышленность. — 1995. — № 11. — С. 23—24. [*Patrahalsev N.N. i dr. Otkluteniya cilindrov k otkluteniyu ciklov // Dvigatellestroenie. — 1995. — N 11. — S. 23—24.*]
- [7] Патрахальцев Н.Н., Костиков А.В., Вальдеррама Ромеро А. Отключение цилиндров и циклов как способ повышения динамических качеств дизель — генераторов // Автомобильная промышленность. — 2001. — № 8. — С. 14—16. [*Patrahalsev N.N. i dr. Otklutenie cilindrov i ciklov kak sposob povysheniya dynamo dissel-generator // Avtomobilna industria. — 2001. — N 8. — S. 14—16.*]

## **OPPORTUNITIES TO ECONOMIZE OF NAPHTHA-DIESEL FUEL BY MEAN OF PARTIAL REPLACEMENT IT BY ALTERNATIVE**

**N.N. Patrakhaltsev, I.A. Petrunya,  
R.O. Kamishnikov, E.A. Savastenko**

The Department of Heat Engineering and Heat Engines  
Peoples' Friendship University of Russia  
*Miklukho-Maklaya str., 6, Moscow, Russia, 117198*

The article deals with usage of such alternative fuels as liquid naphtha gas, alcohol etc. with bad qualities of inflammability, low cetan numbers. The purpose of using some alternative fuels is to minimize the soot in escape gases and to economize the diesel fuel. For rising of a share of alternative fuel in summing injected fuel there used a system of disconnection of cylinders or cycles.

**Key words:** diesel, regimes of low load, cut-off of cylinders and cycles, alternative fuels.