

# ТОПЛИВНЫЕ СИСТЕМЫ ДЛЯ ПОДАЧИ СМЕСЕВЫХ ТОПЛИВ В БЫСТРОХОДНЫХ ДИЗЕЛЯХ

## FUEL SYSTEMS FOR FEEDING MIXED FUELS IN HIGH-SPEED DIESEL ENGINES

**В.И. МАЛЬЧУК**, к.т.н.  
**А.Ю. ДУНИН**, к.т.н.  
**И.В. АЛЕКСЕЕВ**, д.т.н.  
**Ю.В. ТРОФИМЕНКО**, д.т.н.  
**С.М. КАЛИНИНА**

Московский автомобильно-дорожный государственный  
технический университет (МАДИ), Москва, Россия,  
dvs@madi.ru

**V.I. MAL'CHUK**, PhD in Engineering  
**A.YU. DUNIN**, PhD in Engineering  
**I.V. ALEKSEEV**, DSc in Engineering  
**YU.V. TROFIMENKO**, DSc in Engineering  
**S.M. KALININA**

Moscow Automobile and Road Construction State Technical  
University (MADI), Moscow, Russia, dvs@madi.ru

В статье изложены результаты комплектации и испытаний разработанных в Московском автомобильно-дорожном государственном техническом университете вариантов топливных систем, предназначенных для подачи смесового топлива с возможностью изменения их состава в процессе впрыскивания. Корпус форсунки для смесового топлива отличается от корпуса серийного изделия наличием двух каналов для подвода к распылителю, соответственно, основного топлива и присадки. Форсунка укомплектована распылителем, который также имеет каналы для подвода дизельного и альтернативного топлив. Подача дизельного топлива через осевой канал в игле распылителя тоже имеет принципиальное значение, так как оно неминуемо попадает в зазор между иглой и корпусом и тем самым способствует смазке данной прецизионной пары. Смешение компонентов смеси осуществляется в полости, расположенной у основания запирающего конуса иглы. Это еще одна принципиальная особенность конструкции распылителя форсунки, предназначенной для смесового топлива. Моторные исследования смесового топлива проведены на одноцилиндровом двигателе, смонтированном на универсальном картере ИТ-9 (1Ч 10,5/12). Показано, что увеличение доли воды в смеси с дизельным топливом приводит к улучшению состава продуктов сгорания в дизеле. Так, при 50%-м массовом содержании воды наблюдается снижение выбросов сажи почти в 10 раз, оксидов азота – в 2,6 раза, а оксида углерода – в 2,5 раза. Показаны работоспособность разработки при ее функционировании в составе дизеля (2Ч 10,5/12) и возможность улучшения его экологических характеристик при снижении расхода дизельного топлива путем частичной замены его этанолом.

**Ключевые слова:** дизель, альтернативное топливо, топливная система, смесовое топливо.

The article presents the results of the assembly and testing of the fuel system variants developed at the Moscow State Automobile and Road Technical University for the supply of mixed fuel with the possibility of changing their composition during the injection process. The nozzle housing for mixed fuel differs from the housing of the serial product by the presence of two channels for supplying to the atomizer, respectively, the main fuel and additive. The nozzle is equipped with a sprayer, which also has channels for supplying diesel and alternative fuels. The supply of diesel fuel through the axial channel in the nozzle of the nebulizer is also of fundamental importance, since it inevitably falls into the gap between the needle and the body and thereby facilitates the lubrication of this precision pair. Mixing of the components of the mixture is carried out in the cavity located at the base of the locking cone of the needle. This is another principal feature of the nozzle atomizer design, intended for mixed fuel. Motor fuel mixture research was carried out on a single-cylinder engine mounted on the universal crate of IT-9 (1 Ch 10.5 / 12). It is shown that an increase in the proportion of water in a mixture with diesel fuel leads to an improvement in the composition of combustion products in diesel. Thus, with a 50 % water content, carbon emissions are reduced by almost 10 times, nitrogen oxides by a factor of 2,6, and carbon oxide by a factor of 2,5. The working capacity of the development during its operation as a part of the diesel engine (2 Ch 10.5 / 12) is shown and the possibility of improving its ecological characteristics with a reduction in the consumption of diesel fuel by partial replacement with ethanol is demonstrated.

**Keywords:** diesel, alternative fuel, fuel system, mixed fuel.



Форсунка укомплектована распылителем 8, который также имеет каналы для подвода дизельного 7, 10 и альтернативного 4, 5 топлив. Подача дизельного топлива через осевой канал 7 в игле 9 распылителя также имеет принципиальное значение, так как оно неминуемо попадает в зазор между иглой и корпусом и тем самым способствует смазке данной прецизионной пары. Смешение компонентов смеси осуществляется в полости  $V_{\phi_{см}}$ , расположенной у основания запирающего конуса иглы. Это еще одна принципиальная особенность конструкции распылителя форсунки, предназначенной для ТСПСТ. Подвод топлива из канала 7 к полости  $V_{\phi_{см}}$  осуществляется через радиальные каналы 6, выходные кромки которых расположены выше запирающей кромки иглы 9.

Предлагаемый вариант ТСПСТ (рис. 1) был испытан на безмоторной установке и на двигателе. В этих опытах использовалось стандартное дизельное топливо марки Л и воду в качестве присадки. Опытная ТСПСТ была укомплектована ТНВД модели УТН для подачи дизельного топлива и ТНВД Bosch размерности «А» для впрыскивания присадки. Экспериментальная форсунка была изготовлена на Ногинском заводе топливной аппаратуры (ОАО «НЗТА»).

На безмоторной установке определяли характеристики впрыскивания и состав смеси в каждый момент процесса топливоподачи. Для этого использовался механический стробоскоп щелевого типа, ширина щели которого составляла  $1^\circ$  поворота кулачкового вала ТНВД.

Состав смеси оценивался коэффициентом  $K_{см}$ , который характеризует массовую долю присадки в смеси:

$$K_{см} = G_n / (G_n + G_m) = (\rho_n V_n) / (\rho_{см} V_{см}),$$

где с учетом, что  $V_{см} = V_n + V_m$  и

$$\rho_n V_n + \rho_m V_m = \rho_{см} V_{см}, \text{ имеем}$$

$$K_{см} = [(\rho_{см} - \rho_m) \rho_n] / [(\rho_n - \rho_m) \rho_{см}].$$

Здесь  $G_n$ ,  $G_m$  – массовые подачи присадки и дизельного топлива;  $V_{см}$ ,  $V_n$ ,  $V_m$ ,  $\rho_{см}$ ,  $\rho_n$ ,  $\rho_m$  – объемные подачи смеси, присадки и дизельного топлива и их плотности.

Для иллюстрации результатов исследования на рис. 2 представлены характеристика впрыскивания смеси  $\Delta G = f(\phi_k)$  и изменение состава смеси в процессе впрыскивания

$K_{см} = f(\phi_k)$ , где  $\Delta G$  – массовая подача смеси за  $1^\circ$  поворота кулачкового вала ТНВД;  $\phi_k$  – угол поворота кулачкового вала ТНВД. Режим испытаний был следующий: частота вращения вала ТНВД  $n_k = 1000 \text{ мин}^{-1}$ ; цикловая подача дизельного топлива – 50,6 мг, воды – 20,02 мг. Оба ТНВД одновременно подавали компоненты смеси к форсунке. Значение угла  $\phi_k$ , принятое за ноль на рис. 2, соответствовало началу характеристики впрыскивания.

Как видно из рис. 2, предлагаемая СПСТ обеспечивает в начальный период процесса незначительное содержание воды в смеси ( $K_{см} = 6...30\%$ ). Минимальное  $K_{см}$  наблюдалось при  $\phi_k = 7...8^\circ$ , т. е. при максимальном количестве топлива. С уменьшением общей подачи смеси ( $\phi_k > 8^\circ$ ) доля присадки в смеси значительно увеличивалась, и при  $\phi_k = 10...12^\circ$   $K_{см} = 80...90\%$ . Полученные зависимости  $\Delta G = f(\phi_k)$  и  $K_{см} = f(\phi_k)$  имеют частный характер, но очевидно, что ТСПСТ позволяет обеспечить коррекцию состава смеси в процессе впрыскивания.

Моторные исследования ТСПСТ проводили на одноцилиндровом двигателе, смонтированном на универсальном картере ИТ-9 (1С 10,5/12), который имел размерность дизелей семейства Владимирского тракторного завода (ОАО «ВТЗ»). Испытательный стенд был оборудован системами, измерительными устройствами и приборами в соответствии с ГОСТ 14846-86. На двигателе оценивали работоспособность СПСТ и определяли экологиче-

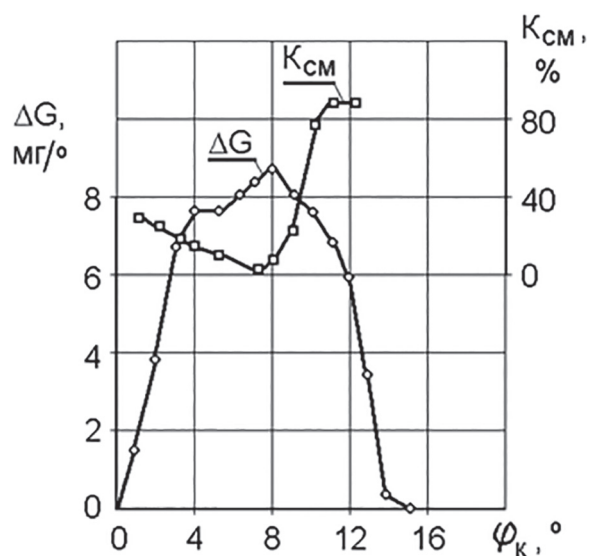


Рис. 2. Характеристика впрыскивания смеси  $\Delta G = f(\phi_k)$  и изменение состава смеси в процессе впрыскивания  $K_{см} = f(\phi_k)$

ские и динамические показатели рабочего процесса дизеля.

Полученные в ходе исследований результаты представлены на рис. 3 и рис. 4. На этих рисунках  $\Delta p/\Delta \varphi$  – средняя скорость нарастания давления;  $p_z$  – максимальное давление цикла;  $NO_x$  – выбросы оксидов азота;  $C$  – выбросы сажи;  $CO$  – выбросы оксида углерода.

Рис. 3 служит иллюстрацией влияния состава смеси  $K_{см}$  на рабочий процесс дизеля и его экологические характеристики при среднем эффективном давлении  $p_e = 0,5$  МПа и частоте вращения коленчатого вала  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup>. Опыты проводились при оптимальном установочном угле опережения впрыскивания, который определяли без подачи воды ( $K_{см} = 0$ ). Анализ рис. 3 показывает, что увеличение доли воды в смеси с дизельным топливом приводит к улучшению состава продуктов сгорания в дизеле. Так при  $K_{см} = 50\%$  наблюдается снижение выбросов  $C$  почти в 10 раз,  $NO_x$  – в 2,6 раза, а  $CO$  – в 2,5 раза. С другой стороны, увеличение  $K_{см}$  приводит к ухудшению динамических показателей процесса сгорания, а следовательно, и акустических характеристик дизеля. В частности при  $K_{см} = 50\%$  наблюдается увеличение  $p_z$  с 7,1 ( $K_{см} = 0$ ) до 8 МПа и  $\Delta p/\Delta \varphi$  с 0,18 до 0,24 МПа/град.

На рис. 4 показаны результаты работы дизеля, оборудованного СПСТ, по нагрузочной характеристике при  $n = 1800$  мин<sup>-1</sup> и  $K_{см} = 0, 20$  и 30 %. Видно, что с позиции экологии наилуч-

шие результаты были получены при  $K_{см} = 30\%$ . Однако влияние присадки на экологические характеристики продуктов сгорания в наибольшей степени проявлялось при больших нагрузках. Например, при  $p_e = 0,5$  МПа увеличение  $K_{см}$  с 0 до 20 % привело к уменьшению содержания  $C$  в продуктах сгорания в 4,2 раза, тогда как при  $p_e = 0,2$  МПа – только в 2,2 раза. В то же время на всех режимах работы дизеля присадка воды ухудшала динамические показатели. Следует заметить, что при использовании смеси дизельного топлива и воды значения  $p_z$  на частичных режимах могут быть больше, чем на номинальном режиме работы, но при  $K_{см} = 0$ . Так, при  $p_e = 0,2$  МПа и  $K_{см} = 50\%$   $p_z = 7,25$  МПа, а при  $p_e = 0,5$  МПа и  $K_{см} = 0$   $p_z = 7,05$  МПа. Поэтому с точки зрения многопараметровой оптимизации экологических характеристик дизеля целесообразно качественное регулирование состава смеси топлив с учетом нагрузки дизеля, вплоть до полного отключения подачи одного из компонентов, о чем было сказано выше.

Несмотря на большие возможности первого варианта ТСПСТ (рис. 1), его внедрение в промышленное производство связано с серьезной модернизацией конструкций уже существующих двигателей или их топливной аппаратуры (ТА). Поэтому с этой точки зрения представляет интерес второй вариант ТСПСТ (рис. 5) [3],

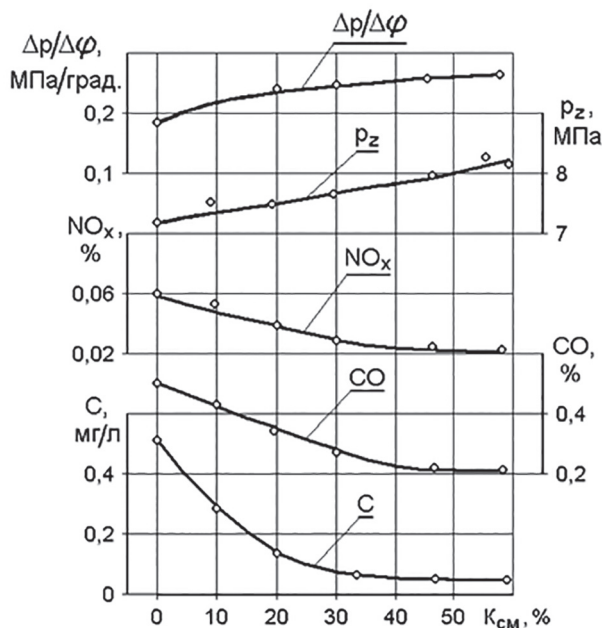


Рис. 3. Характеристики рабочего процесса дизеля в зависимости от  $K_{см}$

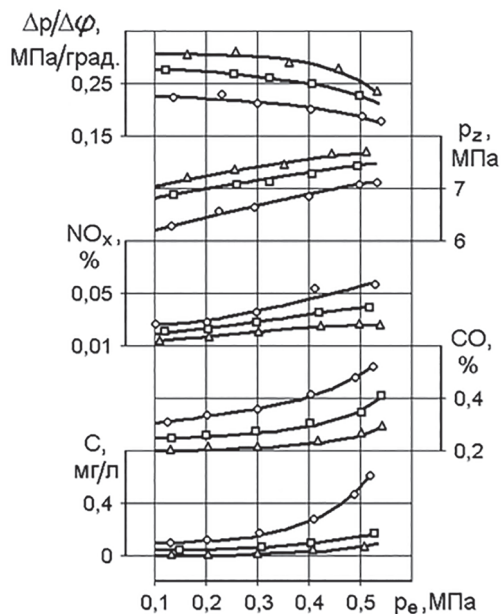


Рис. 4. Характеристики рабочего процесса дизеля по нагрузочной характеристике:

○—○ –  $K_{см} = 0\%$  (работа только на дизельном топливе); □—□ –  $K_{см} = 20\%$ ; Δ—Δ –  $K_{см} = 30\%$

который позволяет решать задачу подачи двух топлив через общую форсунку, используя один ТНВД традиционного типа.

В данном варианте ТСПСТ (рис. 5), также как и в предыдущем, для подачи основного (дизельного) топлива используется традиционная ТА разделенного типа, но для подачи присадки (альтернативного топлива) задействована аккумуляторная ТА.

В состав ТА разделенного типа, в частности, входит серийный ТНВД 13 и бак 14, штатно устанавливаемые на транспортном средстве.

ТА аккумуляторного типа содержит баллон 3 для хранения альтернативного топлива, баллон 1, содержащий инертный газ, аккумулятор 4, топливопроводы, обратный клапан 7.

Инертный газ, содержащийся в баллоне 1, обеспечивает заданное давление  $p_a$  в баллоне 3 и аккумуляторе 4, которое регулируется редуктором 2 и регистрируется манометром 5. Обратный клапан 7 исключает обратный ток в систему подачи альтернативного топлива и ограничивает длину и объем канала в форсунке 8, по которому осуществляется подвод топлива к распылителю 9.

ТСПСТ позволяет обеспечивать подачу только одного топлива (дизельного) с полным отключением подачи альтернативного топлива с помощью крана 6.

Конструкция самой форсунки 8 и ее распылителя 9 полностью идентичны первому варианту ТСПСТ: в распылителе присутствуют два канала для подвода дизельного 11, 15 и альтернативного 10, 12 топлив; смешение обоих

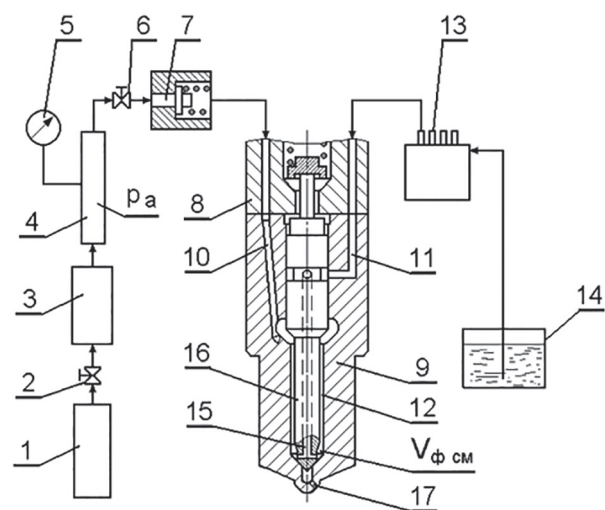


Рис. 5. Схема второго варианта системы подачи смесевых топлив

топлив осуществляется в полости  $V_{ф см}$ , расположенной у основания конуса иглы 16.

В работе ТСПСТ можно выделить два периода. Первый – подача альтернативного топлива к полости  $V_{ф см}$  системой аккумуляторного типа под действием давления  $p_a$ . Второй – подача традиционного топлива к полости  $V_{ф см}$  с помощью ТНВД и подача образовавшейся смеси в КС дизеля через распыливающие отверстия 17.

Перед установкой данного варианта ТСПСТ на дизель была проведена серия безмоторных исследований системы с использованием механического стробоскопа щелевого типа. Эти исследования были необходимы для проверки работоспособности ТСПСТ и выявления возможностей коррекции характеристики впрыскивания  $q_{ф} = f(\varphi_k)$  и характеристики состава смеси топлив  $K_{см} = f(\varphi_k)$  за счет изменения длины  $L_n$  и площади  $f_n$  проходного сечения топливопровода, соединяющего клапан 7 и форсунку 8.

При проведении экспериментов в качестве основного топлива использовалось дизельное топливо марки Л, а в качестве альтернативного – вода. ТСПСТ была укомплектована серийным ТНВД модели УТНМ производства ОАО «НЗТА».

В ходе исследований ТСПСТ показала свою работоспособность в широком диапазоне скоростных режимов работы. Так на рис. 6 и 7 представлены характеристики  $q_{ф} = f(\varphi_k)$  и  $K_{см} = f(\varphi_k)$ , которые были получены экспериментально на частотах вращения  $n_k$  соответственно 600 и 900 мин<sup>-1</sup>. На данных рисунках значение угла поворота кулачкового вала ТНВД, принятое за ноль ( $\varphi_k = 0$ ), соответствует началу характеристик впрыскивания.

Из рис. 6 и рис. 7 видно, что за счет изменения длины  $L_n$  и площади  $f_n$  возможно качественно повлиять на протекание характеристики  $K_{см} = f(\varphi_k)$ , причем сам характер этого влияния не зависит от изменения  $n_k$ .

На рис. 6 и рис. 7 показаны два принципиально разных характера изменения состава смеси в процессе ее впрыскивания. В первом случае (рис. 6, а и рис. 7, а) в начальной фазе впрыскивания содержание альтернативного топлива в смеси меньше, чем в конечной. Во втором случае (рис. 6, б и рис. 7, б) наоборот – в конечной фазе подается меньшее относительное количество альтернативного топлива, чем в начальной.

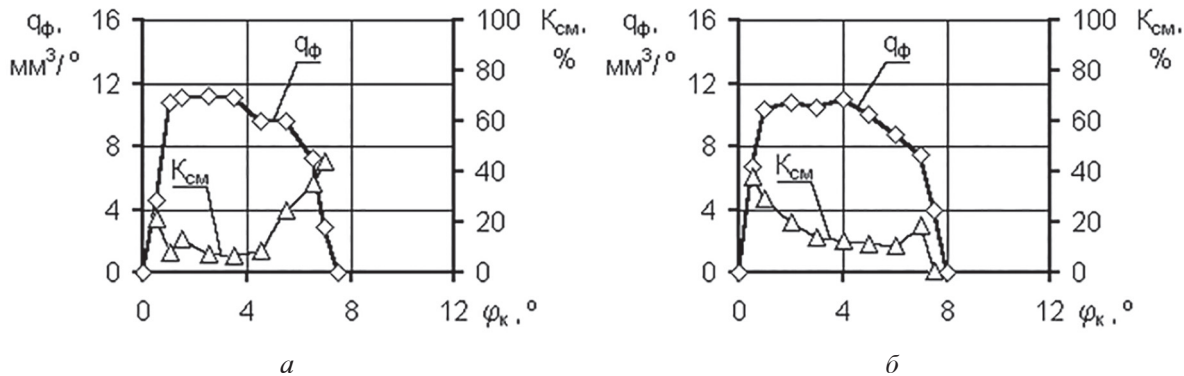


Рис. 6. Влияние  $f_n$  и  $L_n$  на характеристики впрыскивания ( $q_f$ ) и состава ( $K_{CM}$ ) смеси ТСПСТ при  $n_k = 600 \text{ мин}^{-1}$ :  
 а –  $f_n = 3,14 \text{ мм}^2$ ,  $L_n = 176 \text{ мм}$ ; б –  $f_n = 1,37 \text{ мм}^2$ ,  $L_n = 358 \text{ мм}$

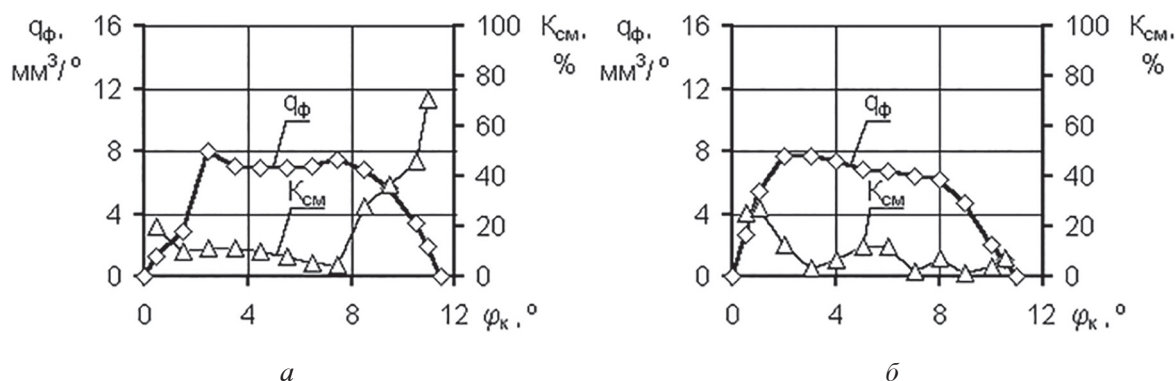


Рис. 7. Влияние  $f_n$  и  $L_n$  на характеристики впрыскивания ( $q_f$ ) и состава ( $K_{CM}$ ) смеси ТСПСТ при  $n_k = 900 \text{ мин}^{-1}$ :  
 а –  $f_n = 3,14 \text{ мм}^2$ ,  $L_n = 176 \text{ мм}$ ; б –  $f_n = 1,37 \text{ мм}^2$ ,  $L_n = 358 \text{ мм}$

Очевидно, что первый характер протекания  $K_{CM} = f(\varphi_k)$  (рис. 6, а и рис. 7, а) приемлем для подачи альтернативных топлив, обладающих плохой самовоспламеняемостью из-за своего низкого ЦЧ. Поэтому, поскольку пробные испытания дизеля планировалось проводить при совместной подачи дизельного топлива и этилового спирта, было решено установить на двигатель комплектацию ТСПСТ у которой  $f_n = 3,14 \text{ мм}^2$ ,  $L_n = 176 \text{ мм}$ . Возможность применения в случае подачи этилового спирта указанной комплектации ТСПСТ, подобранной при использовании воды в качестве альтернативного топлива, была обоснована на основе экспериментальных данных, полученных в ходе данного исследования.

Для проведения моторных исследований был выбран дизель Д-120 (2Ч 10,5/12) ОАО «ВТЗ». На рис. 8 представлен Д-120, оборудованный ТСПСТ согласно схеме, данной на рис. 5. При этом для подачи дизельного топлива используется ТА, штатно установленная на данный двигатель: фильтры, топливопроводы, ТНВД. Дизель имеет полусферическую КС,

размещенную в днище поршня, степень сжатия  $\epsilon = 16,5$ , рабочий объем цилиндров  $i \cdot V_h = 2,08 \text{ л}$ , номинальную частоту вращения коленчатого вала  $n_{ном} = 1800 \text{ мин}^{-1}$ .

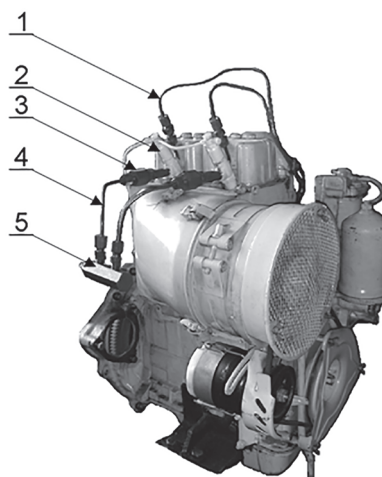


Рис. 8. Многотопливный дизель на базе двигателя Д-120 (2Ч 10,5/12):  
 1 – топливопровод для подачи дизельного топлива; 2 – форсунка; 3 – обратный клапан; 4 – топливопровод для подачи альтернативного топлива; 5 – аккумулятор

Задача моторных исследований состояла в определении работоспособности указанного варианта ТСПСТ на дизеле и выявлении возможности снижения выбросов токсичных веществ при сохранении мощностных показателей двигателя на уровне серийной комплектации, а также снижении расхода дизельного топлива путем частичной его замены этиловым спиртом.

В качестве токсичных веществ рассматривались оксиды азота  $\text{NO}_x$ , сажа  $\text{C}$  и оксид углерода  $\text{CO}$ . Среднее эффективное давление  $p_e$  рассматривалось как мощностной показатель.

В ходе исследований была снята серия регулировочных характеристик по давлению  $p_a$  при разных значениях  $p_e$  и  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ . Указанное значение  $n$  было выбрано как один из наиболее тяжелых скоростных режимов испытуемого двигателя. С целью снижения выбросов  $\text{NO}_x$  было выбрано значение угла опережения впрыскивания топлива  $\theta_{\text{впр}} = 13^\circ$  поворота коленчатого вала до верхней мертвой точки. Возникающий при таком угле рост сажи в отработавших газах планировалось уменьшить за счет совместной подачи дизельного топлива и этилового спирта.

Анализ полученных регулировочных характеристик показал, что на каждом нагрузочном режиме существует свое оптимальное значение  $p_a$ , которое обеспечивает наилучшее сочетание значений выбросов всех вышеперечисленных токсичных веществ, и эти значения более благоприятны, чем значения при работе двигателя только на дизельном топливе. В процессе данного исследования оптимальные значения  $p_a$  были 1,96...2,94 МПа.

Нагрузочные характеристики дизеля при его работе на дизельном топливе и при совместной подаче дизельного топлива и этилового спирта представлены на рис. 9. В случае совместной подачи на каждом из представленных по  $p_e$  режимов выбиралось наиболее удачное сочетание экологических показателей, обеспеченное определенным давлением  $p_a$ .

Из рис. 9 видно, что совместная подача дизельного топлива и этилового спирта позволила добиться значительного снижения выбросов сажи. Так, на режиме  $p_e = 0,59 \text{ МПа}$  получено снижение в 1,6 раза. Отмечено уменьшение выбросов  $\text{NO}_x$  при совместной подаче топлив. Наибольшее снижение выбросов  $\text{NO}_x$  отмечено при  $p_e = 0,47 \text{ МПа}$  и составило 11 %. Выбросы  $\text{CO}$  практически не изменились при переходе на совместную подачу двух топлив, а отме-

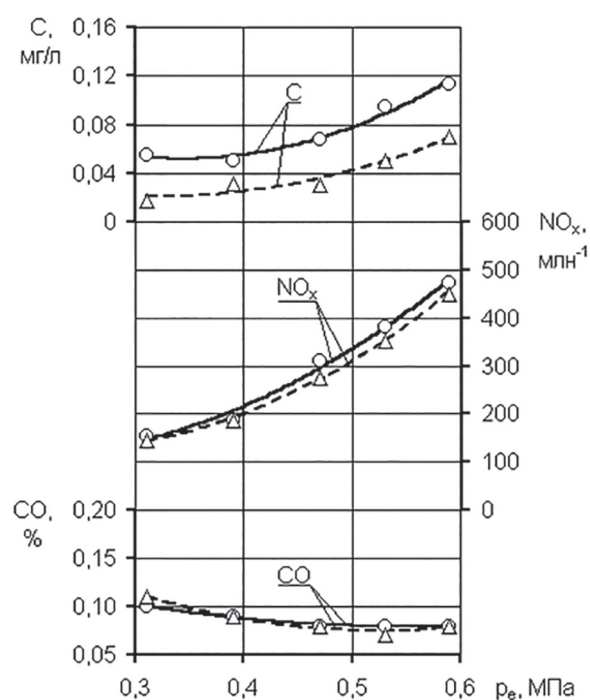


Рис. 9. Нагрузочные характеристики дизеля при  $n = 1200 \text{ мин}^{-1}$ :

○ — работа на дизельном топливе;  
 △ — работа на смеси дизельного топлива и этилового спирта

ченное на рис. 9 расхождение не выходило за пределы погрешности измерения.

Кроме сказанного, опыты показали, что при  $p_a = 2,45 \text{ МПа}$  снижение расхода дизельного топлива при его совместной подаче с этиловым спиртом по сравнению с расходом при работе только на дизельном топливе составило от 14 % ( $p_e = 0,31 \text{ МПа}$ ) до 8 % ( $p_e = 0,61 \text{ МПа}$ ).

### Закключение

На кафедре «Теплотехника и автотракторные двигатели» МАДИ создан ряд систем, предназначенных для совместной подачи двух топлив в камеру сгорания дизеля через общую форсунку.

В ходе проведенных исследований указанные системы показали свою работоспособность и возможность осуществлять направленную коррекцию состава смесевых топлив в процессе его впрыскивания в камеру сгорания двигателя.

Испытания дизелей, оборудованных этими системами, показали возможность улучшения экологических характеристик серийного двигателя при снижении расхода дизельного топлива путем частичного его замещения альтернативным топливом (на примере этилового спирта).

## Литература

1. Марков В.А., Баширов Р.М., Габитов И.И. Токсичность отработавших газов дизелей. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2002. 376 с.
2. Луканин В.Н., Мальчук В.И., Трусов В.И. Форсунка для дизеля: патент на изобретение № 2029128, Российская Федерация. Опубликовано 20.02.1995. Бюл. № 5.
3. Луканин В.Н., Мальчук В.И., Дунин А.Ю. Система подачи смесового топлива для дизеля: патент на изобретение № 2204048, Российская Федерация. Опубликовано 10.05.2003. Бюл. № 13.
4. Мальчук В.И., Шатров М.Г., Кудряшов Б.А., Скороделов С.Д. Форсунка для подачи двух видов топлива в дизельный двигатель: патент на изобретение № 2541674, Российская Федерация. Опубликовано 20.02.2015. Бюл. № 5.
5. Кудряшов Б.А., Мальчук В.И., Приходько В.М., Скороделов С.Д., Шатров М.Г. Форсунка многопливного дизеля: патент на изобретение № 2567340, Российская Федерация. Опубликовано 10.11.2015. Бюл. № 31.

## References

1. Markov V.A., Bashirov R.M., Gabitov I.I. Toksichnost' otrabotavshikh gazov dizелей [Toxicity of exhaust gases of diesel engines]. Moscow: MGTU im. N.E. Bauman Publ., 2002. 376 p.
2. Lukanin V.N., Mal'chuk V.I., Trusov V.I. Forsunka dlya dizelya [Injector for diesel engine]: patent na izobretenie No 2029128, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 20.02.1995. Byul. No 5.
3. Lukanin V.N., Mal'chuk V.I., Dunin A.Yu. Sistema podachi smesevogo topliva dlya dizelya [Diesel fuel delivery system]: patent na izobretenie No 2204048, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 10.05.2003. Byul. No 13.
4. Mal'chuk V.I., Shatrov M.G., Kudryashov B.A., Skorodelov S.D. Forsunka dlya podachi dvukh vidov topliva v dizel'nyy dvigatel' [Injector for feeding two types of fuel to a diesel engine]: patent na izobretenie No 2541674, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 20.02.2015. Byul. No 5.
5. Kudryashov B.A., Mal'chuk V.I., Prikhod'ko V.M., Skorodelov S.D., Shatrov M.G. Forsunka mnogotoplivnogo dizelya [Multi-fuel diesel engine nozzle]: patent na izobretenie No 2567340, Rossiyskaya Federatsiya. Opublikovano 10.11.2015. Byul. No 31.