

ТРАНСПОРТНОЕ И ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЕ МАШИНОСТРОЕНИЕ

621.436.038.001

РЕГУЛИРОВАНИЕ ДИЗЕЛЯ ИЗМЕНЕНИЕМ ФИЗИКО – ХИМИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТОПЛИВА

*Д-р техн. наук, проф. Н. Н. ПАТРАХАЛЬЦЕВ, канд. техн. наук В. Л. КАЗНАЧЕВСКИЙ,
магистр техн. и технологий Е. Л. СИЛИН*

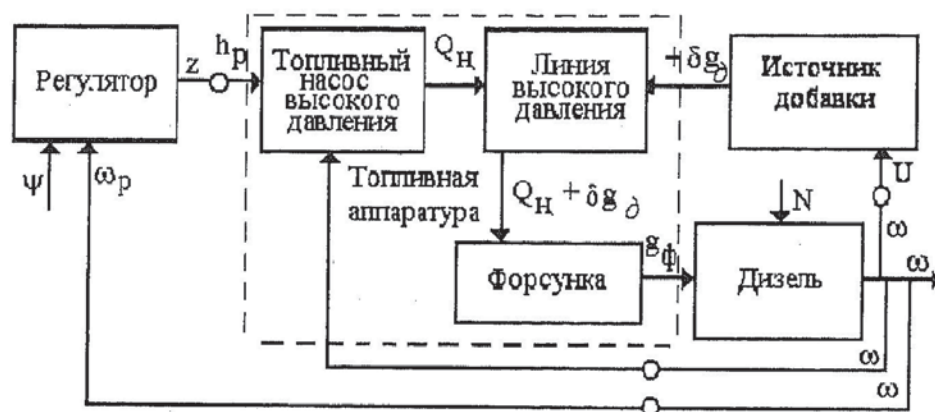
Приводятся результаты исследования дизеля 8Ч13/14 при регулировании его изменением свойств топлива путём добавки к основному дизельному топливу сжиженного нефтяного газа или легко воспламеняющейся жидкости. Добавка вводится в основное топливо в максимальной близости к штатной форсунке по мере необходимости, а полученное таким образом смесевое топливо в очередных циклах топливоподачи впрыскивается в цилиндр.

Для поддержания заданных режимов работы дизеля или изменения их по заданному закону применяется регулятор частоты вращения (угловой скорости (ω)) коленчатого вала. Поддержание или изменение ω обычно происходит смещением рейки топливного насоса высокого давления (h_p). Ограничение максимального смещения рейки, а следовательно и максимального повышения развиваемого крутящего момента дизеля, определяется появлением чрезмерной дымности отработавших газов (ОГ), которая не должна превышать установленный для данного дизеля предел дымления. Уровень дымности ОГ существенно зависит от физико – химических свойств топлива. Известно, например, что добавка к дизельному топливу жидкой фазы сжиженного нефтяного газа (ГСН) существенно снижает дымность ОГ, благодаря чему появляется возможность форсировать рабочий процесс дизеля по составу смеси (α), а следовательно и по мощности [1, 2]. Благодаря такому регулированию, т.е. регулированию дизеля изменением физико – химических свойств топлива («физико – химическое регулирование» –ФХР [3, 4]), можно изменить форму внешней скоростной характеристики (ВСХ), скорректировать ВСХ или другую характеристику. А следовательно можно достигнуть повышения коэффициента приспособляемости, как отношения максимального крутящего момента к номинальному

($K_M = M_{e,max}/M_{e,ном.}$), фактора устойчивости ($F_D = \frac{\partial M_c}{\partial n} - \frac{\partial M_e}{\partial n}$) и т.д., что благоприятно ска-

жется не только на процессе регулирования, но и на улучшении динамических характеристик двигателя и установки в целом.

На рис. 1 приведена функциональная схема системы автоматического регулирования (САР) дизеля, реализующей метод ФХР. Как и в традиционной САР, регулируемым параметром является ω – выходная координата двигателя, являющаяся входной координатой регулятора. Его выходной координатой является положение z муфты, связанной с чувствительным элементом.



Перемещение муфты z определяет положение регулирующего органа h_p ТНВД, выходной координатой которого является производительность Q_n насоса.

Рис. 1. Функциональная схема системы автоматического регулирования дизеля с использованием изменения свойств топлива.

С учётом переходных процессов в топливной аппаратуре [5] дизеля, входной координатой дизеля является производительность форсунки g_ϕ , входной координатой которой служит расход топлива $(Q_n + \delta g_\delta)$ из линии высокого давления (ЛВД), служащей как бы аккумулятором топлива. «Зарядка» этого аккумулятора на величину порядка δg_δ происходит от источника добавки, входной координатой которого является параметр U , отражающий изменение регулируемого параметра ω двигателя. Входными координатами двигателя являются также нагрузка N и настройка ψ регулятора. Зарядка ЛВД вводом добавки (например, ГСН) происходит за время между циклами топливоподачи, причём, благодаря сжимаемости топлив, а следовательно повышению начального давления ($P_{нач.}$) топлива. Координата g_ϕ – это, по существу, цикловая подача форсункой смесового топлива, дизельного и добавки (ДТ+ГСН).

Итак, по сигналу достижения заданной ω происходит подача сигнала U на включение добавки. Такой процесс может быть реализован с использованием системы, конструктивная схема которой показана на рис. 2.

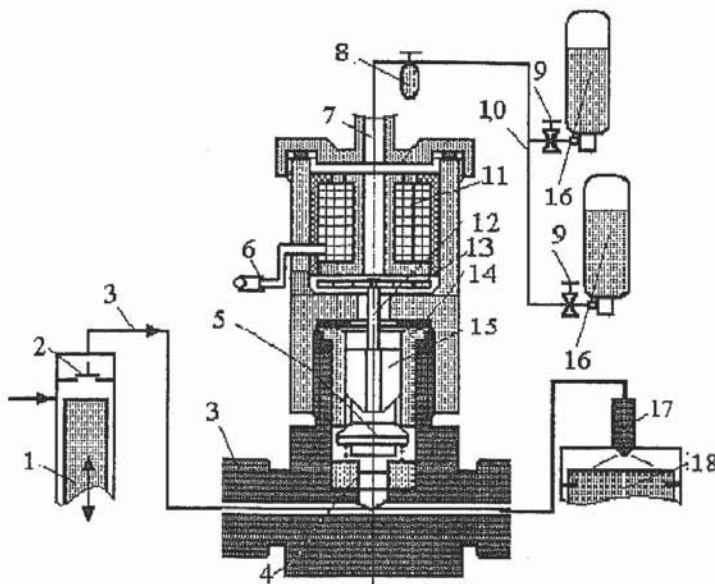


Рис. 2. Конструктивная схема системы топливоподачи с вводом в линию высокого давления добавки к основному топливу: 1-ТНВД; 2-нагнетательный клапан ТНВД; 3-линия высокого давления; 4-ограничитель хода клапана; 5-клапан ввода добавки и регулирования начального давления; 6-подвод электропитания; 7-ввод добавки; 8-фильтр; 9-вентили; 10-линия подвода добавки; 11-электромагнитная катушка; 12-шток; 13-магнитная пластина; 14-седло клапана 5; 15-хвостовик клапана 5; 16-ёмкости с добавками; 17-форсунка; 18-дизель.

Работа системы происходит следующим образом. Если на электромагнитную катушку 11 подано электропитание, то пластина 12 притягивается к магниту и за шток 12 удерживает клапан 5 в закрытом состоянии. Система работает обычным порядком, дизель работает на дизельном топливе. Если отключить электропитание катушки 11, то клапан 5 находится в закрытом состоянии только под действием возвратной пружины. При отсечке подачи топлива насосом 1, когда нагнетательный клапан 2 своим разгрузочным пояском формирует в ЛВД 3 волну разрежения (пониженного давления), клапан 5 открывается под действием перепада давления на нём и добавка из одного из баллонов 16 вводится в ЛВД 3 вблизи форсунки 17. В очередном цикле топливоподачи полученное таким образом смесевое топливо впрыскивается в цилиндр дизеля 18 обычным порядком. Добавка ГСН к основному топливу увеличивает производительность системы, дизель развивает повышенный момент, ω возрастает, регулятор уменьшает подачу топлива, смещая рейку ТНВД, для стабилизации скоростного режима. В очередных циклах работы доля добавки возрастает до стабилизации концентрации ГСН в смесевом топливе. Если под действием повышенной нагрузки частота продолжает падать, то регулятор смещает рейку в сторону увеличения подачи, стабилизируя режим дизеля на повышенной мощности, достигнутой благодаря вводу добавки ГСН.

Не трудно видеть, что метод ФХР может быть реализован и другим путём. Например, если выходной координатой двигателя является не только ω , но и дымность ОГ, которая будет в этом случае служить входной координатой для источника добавки. Подача последней будет включаться по сигналу повышенной дымности ОГ.

В проведённой для обеспечения эффективности протекания режимов пуска – разгона дизеля из «холодного» состояния в качестве дополнительной добавки к ДТ использована пусковая легко воспламеняющаяся жидкость (ЛВЖ). Анализ состава и свойств смесевых топлив на базе ДТ с ГСН или с ЛВЖ показал, что относительное увеличение удельного теплосодержания горючей смеси (смесевое топливо - воздух) при изменении коэффициента избытка воздуха

α в диапазоне от 1,6 до 1,0 составляет около 37%. Добавка ГСН или ЛВЖ в количестве до 30% приводит соответственно к снижению и возрастанию цетанового числа смесевое топлива на 4 – 8%. Изменение теплоты сгорания смесевое топлива составляет в этом случае не более 4%, а теплоты сгорания горючей смеси при том же α – не более 0,2%. Т. е. форсирование по M_e достигается благодаря возможности форсирования рабочего процесса по α без превышения предела дымления.

Экспериментальные исследования метода ФХР проведены на дизеле 8Ч13/14 в условиях экспериментального стенда. При этом получены внешние и корректорные характеристики дизеля и дизеля с добавкой к топливу ГСН (и/или легко воспламеняющейся жидкости – ЛВЖ), т. е. по существу газодизеля (ГД) с внутренним смесеобразованием. Для численного исследования динамических режимов работы дизеля с потребителем (длительных неустановившихся режимов – НУР) целесообразно воспользоваться методом представления скоростных характеристик двигателя и потребителя в виде аппроксимирующих полиномиальных зависимостей видов

$$M_e = A + B \cdot n + C \cdot n^2 + D \cdot n^3 + E \cdot n^4; M_c = F + G \cdot n + H \cdot n^2. \quad (\text{рис. 3}),$$

которые используются в уравнении движения системы двигатель – потребитель. Тогда, задавая шаг расчёта Δt , изменение частоты вращения вала при разгонах или приёмах нагрузки определим по соотношению:

$$n_i = n_{i-1} + \frac{\Delta t}{I} \cdot \frac{30}{\pi} \{ [A + B \cdot n_{i-1} + C \cdot (n_{i-1})^2 + D \cdot (n_{i-1})^3 + E \cdot (n_{i-1})^4] - [F + G \cdot (n_{i-1}) + H \cdot (n_{i-1})^2] \}.$$

Адекватность применённой математической модели подтверждена сравнением результатов моделирования с экспериментальными, т. е. многократными реализациями того же режима, обработанными статистически с определением достоверной характеристики.

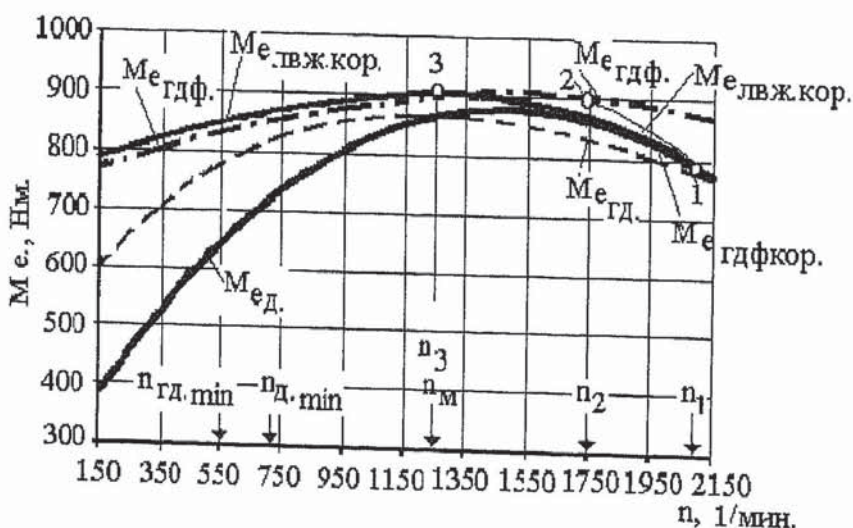


Рис. 3. Сглаженные полиномиальной аппроксимацией внешние скоростные характеристики дизеля 8Ч13/14 в штатном исполнении ($M_{eд}$, $h_p=100\%$), газодизеля малодымного ($M_{eгд}$, $h_p=82\%$), газодизеля форсированного ($M_{eгдф}$, $h_p=95\%$), газодизеля форсированного с корректором по рейке на участке от n_1 до n_3 или n_2 ($M_{eгдфкор}$, $h_p=var=82-95\%$), то же с добавкой ЛВЖ ($M_{eлвж.кор.}$).

Повышение и стабилизация начального давления топлива позволили снизить минимальную стабильную частоту вращения с 700 до 550 мин⁻¹. ВСХ всех характеристик на участках от $n_{\text{пуск}}$ до $n_{\text{мин}}$ получены обработкой результатов экспериментальных разгонов, т.е. по существу представляют собой динамические ВСХ. Характеристика $M_{e,\text{гд}} = f(n)$ получена при условии сохранения номинального момента дизеля в штатной регулировке. При этом дымность ОГ снизилась с 35 до 30% по Хартриджу. Благодаря добавке ГСН h_p составило 82% от номинального. Характеристика форсированного газодизеля $M_{e,\text{гдф}} = f(n)$ получена при условии сохранения на номинальном скоростном режиме исходной дымности ОГ штатного дизеля ($H=35\%$). Положение рейки составило 95% и двигатель при $n_{\text{ном.}}$, а также и при $n_{\text{мин}}$ был форсирован по моменту на 13-14%. Корректорные (кор.) характеристики получены изменением h_p от 82% вблизи номинальной частоты вращения до 95% при изменении n от n_1 до n_2 или до $n_3 = n_m$. Форсирование двигателя по максимальному моменту достигает около 4%, что при сохранении неизменного M_e повышает коэффициент приспособляемости с 1,13 для исходного дизеля до 1,17.

Изменением вида ВСХ и её корректированием можно до 40% повысить фактор устойчивости F_d режима работы двигателя с потребителем (электрогенератором), в зависимости от скоростного режима и вида регулирования двигателя (таблица 1).

Таблица 1.

	Д	ГДФ.Кор.	ЛВЖ.Кор.
F_d на режиме $n_{\text{ном.}}$	8,3	8,46	8,54
F_d на режиме $n = 1750 \text{ мин}^{-1}$	5,85	6,33	6,81

Численный эксперимент показал, что выигрыши (Δt) во времени выполнения операций разгонов с постоянной нагрузкой, например, около 40% от номинальной, в диапазоне скоростных режимов от 550 до 1350 мин⁻¹ составляют 12 – 19%, в зависимости от метода форсирования (таблица 2). (Здесь t_d и $t_{\text{фхр}}$ – времена приёмытости $t_{\text{пр}}$ дизеля и двигателя, реализующего ФХР).

Таблица 2.

	д	гд	гдф	гдфкор	лвж.кор.
$t_{\text{пр.}}, \text{ с.}$	9,6	8,42	8,01	8,01	7,82
$\Delta t = (1 - t_{\text{фхр}}/t_d) \cdot 100\%$		12,5	16,7	16,7	18,8

При полной номинальной нагрузке, изменяющейся по генераторной характеристике, выигрыш во времени выполнения операции разгона от $n_{\text{мин}}=550 \text{ мин}^{-1}$ до $0,95n_{\text{ном.}}$ достигает 16%.

Особый интерес могут представлять возможности преодоления с помощью ФХР кратковременных перегрузок двигателя, особенно на режимах пониженных частот вращения, где форсирование и стабилизация режимов достигается добавкой как ГСН, так и ЛВЖ. На рис. 4 показано, что на режиме $n = 550 \text{ мин}^{-1}$ при нагрузке дизеля около 600 Нм произошёл наброс дополнительной нагрузки (перегрузка до 700 нм).

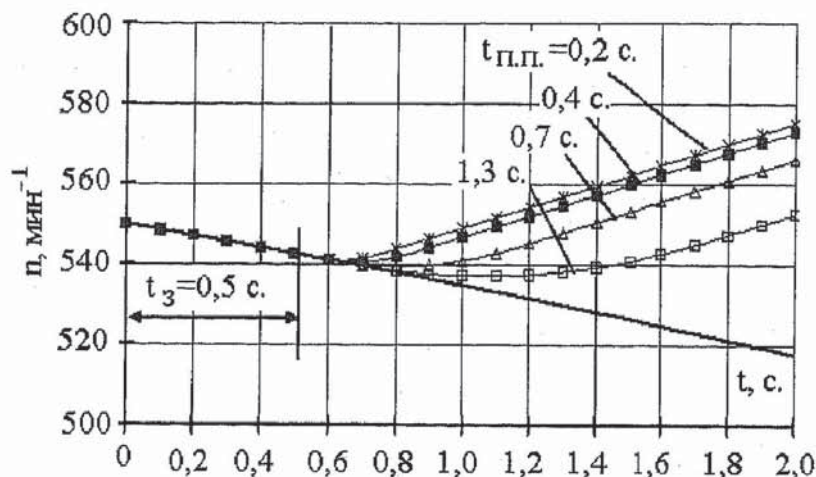


Рис. 4. Характеристики наброса нагрузки, превышающей полную для дизеля, и приём перегрузки, благодаря подаче добавки ЛВЖ: $t_з$ - время запаздывания включения подачи добавки; $t_{п.п.}$ - время переходного процесса стабилизации концентрации добавки в смесевом топливе.

Дизель из-за перегрузки начинает совершать выбег. С задержкой срабатывания $t_з = 0,5$ с. включается подача добавки в ДТ. В ЛВД вблизи форсунки в течение времени $t_{п.п.}$ происходит переходный процесс стабилизации концентрации добавки в топливе. В зависимости от этого времени выбег прекращается и начинается разгон двигателя до восстановления исходного режима или до стабилизации на новом режиме.

Проведённое исследование позволило сделать следующие выводы.

1. Выполнено определение возможностей улучшения протекания характеристик автотракторного дизеля типа 8Ч13/14 воздействием на процессы топливоподачи, путём регулирования начального давления в топливной системе и изменения физико-химических свойств топлива, что достигается оперативным, во время работы дизеля, включением - выключением подачи добавок к дизельному топливу, таких, как сжиженный нефтяной газ и легко воспламеняющаяся жидкость.
2. Показаны возможности повышения развиваемого двигателем момента при по внешней скоростной характеристике (ВСХ) и по динамической ВСХ на величину порядка 6 – 14%, сокращения времени приёмистости при реализации режимов разгонов и набросов нагрузки, снижения дымности или не превышения уровня предела дымления, свойственного дизелю при на дизельном топливе.
3. Для реализации предложенного метода проведена модернизация системы топливоподачи элементами регулирования начального давления, а также элементами включения – выключения подачи добавки (сжиженного нефтяного газа и/или легко воспламеняющейся жидкости).
4. Показано, что в разных вариантах регулирования дизеля изменением физико-химических свойств топлива возможные резервы повышения динамических качеств установок могут достигать 15% и более без превышения заградительного показателя дымности отработавших газов.

5. Выполненные исследования позволяют сделать вывод о целесообразности и технической возможности регулирования рабочего процесса дизеля изменением физико – химических свойств топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Патрахальцев Н. Н., Виноградский В. А. и А. Ластра. Корректирование скоростных характеристик дизеля добавлением в топливо сжиженного нефтяного газа. // Строительные и дорожные машины, 2002, № 4. С. 22 – 23.
2. 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.
3. Сомов В. А., Лесников А. П. Физико – химическое регулирование процесса сгорания в дизеле путём оптимизации состава топлива. // Тезисы докладов Всесоюзн. науч. техн. конфер. «Перспективы развития комбинир. дв. вн. сг. и двигателей новых схем и топлив». М. 1980. С. 75 - 76.
4. Патрахальцев Н. Н. Регулирование рабочего процесса дизеля. // Грузовик, автобус ..., 1998, № 2. С. 21 - 24.
5. Патрахальцев Н. Н., Царитов А. З., Костиков А. В. Переходные процессы в топливной аппаратуре дизеля и его динамические качества. // Автомобильная промышленность, 2001, № 1. С. 11 – 13.