

Рис. 2. Изменение параметров движения воздуха в КС типа АМЗ по углу поворота кривошипа φ : *а* - объемов полостей «В» и «КС»; *б* - давления в этих в полостях p_B и $p_{КС}$ и площади сечения между ними f_K ; *в* - массы газа в полостях M_B и $M_{КС}$ и скорость изменения массы в полости «В» dM_B/dt ; *г* - плотности газа в полости «В» ρ_B и скорости перетекания газа C_B из полости «В» в полость «КС».

Литература:

1. Двигатели внутреннего сгорания: Устройство и работа поршневых и комбинированных двигателей: Учебник для ВУЗов / В.П. Алексеев, В.Ф. Воронин, Л.В. Грехов и др. Под ред. А.С. Орлина, М.Г. Круглова. - М.: Машиностроение, 1990. - 288 с.
2. Вукалович М.П., Новиков И.И. Техническая термодинамика. - М.: Госэнергоиздат, 1968. - 496 с.
3. Исаев С.И. Термодинамика: 3-е издание. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2000. - 414 с.
4. Теплотехника / А.М. Архаров, А.Г. Кузнецов, В.И. Шатров и др. Под ред. А.М. Архарова, В.Н. Афанасьева: Учебник для ВУЗов. - М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 712 с.

УПРАВЛЕНИЕ ГАЗОДИЗЕЛЕМ

Капустин А.А., Шимченко Н.И., Дубников Д.В.

(Санкт-Петербургский государственный университет экономики и сервиса)

В последние годы активно исследуются возможности использования на мобильной технике альтернативных топлив, в частности природного газа. Особенно привлекателен перевод дизелей на газодизельный процесс с применением сжатого природного газа и постоянной добавкой (впрыском) запального заряда дизельного топлива. При годовом пробеге автомобиля 30-40 тыс. км стоимость оборудования для питания сжатым газом полностью окупается через 1,5-2 года за счет экономии только на жидком

топливе. Дополнительные затраты на переоборудование автомобиля составляют около 800 долл.

Основная проблема связана с совершенствованием управления газодизелем, т.е. системы питания газодизеля с высококачественным смесеобразованием посредством гомогенизации горючей смеси и с оптимизацией дозирования жидкого топлива и газа для получения требуемого состава смеси в каждом цикле и цилиндре. Требования к смесеобразованию вытекают из условия, что коэффициент избытка воздуха α в основном определяет состав продуктов сгорания и удельный расход топлива двигателем. При сгорании смеси с $\alpha = 1,4$ концентрация CO, CH и NO_x в отработавших газах минимальна. По мере дросселирования из-за снижения температуры сгорания и увеличения доли остаточных газов, состав топливной смеси будет постепенно приближаться к стехиометрическому.

Минимальный удельный расход топлива в бензиновых двигателях соответствует $\alpha = 1,05...1,1$, хотя термический КПД цикла растет по мере обеднения смеси. При дросселировании значения α уменьшаются, попадая в область богатых смесей. Однако увеличение мощности искры ведет к росту значений α : при факельном зажигании $\alpha = 1,4...1,6$. Следовательно, значения α , соответствующие минимальной токсичности и экономичности, сближаются.

Минимальное количество запального жидкого топлива, обеспечивающее устойчивую работу газодизеля, определяется топливной аппаратурой и системой образования газозвдушной смеси. В большинстве конвертированных двигателей оно составляет 20-25 % номинальной подачи. Но если на двигателе установить отрегулированный или специальный топливный насос для впрыска только запального жидкого топлива, то устойчивую работу двигателя можно получить при подаче 3-5 % топлива и менее.

Наиболее эффективен для газодизелей способ смешанного регулирования, заключающийся в том, что в области высоких нагрузок мощность двигателя зависит от изменения состава горючей смеси (качественное регулирование). Когда же с уменьшением нагрузки коэффициент избытка воздуха достигает значений $\alpha = 1,5...1,8$, дальнейшее изменение состава смеси прекращается и мощность в области еще меньших нагрузок регулируется количеством свежего заряда, поступающего в цилиндры двигателя (количественное регулирование). На рис. 1 отражено изменение показателей, характеризующих работу двигателя.

При разработке системы питания газодизеля ГДА (рис. 2) было решено использовать режимный корректор для регулирования подачи газозвдушной смеси и величины запальной цикловой подачи жидкого топлива. Эта система обеспечивает автоматическое согласование соотношений воздуха, газового и жидкого топлива на всех возможных режимах работы двигателя. Так как регулирование мощности связано с изменением коэффициента наполнения η_v необходимо органы управления подачей топлива поставить в зависимость от параметра, связанного с η_v , в данном случае с разрежением ΔP_K во впускной трубе за дроссельной заслонкой, от которого η_v зависит линейно.

Для подачи газового топлива за основу взято газодизельное оборудование грузового автомобиля ЗИЛ. В ТНВД подача за цикл линейно связана с перемещением рейки. Если использовать разрежение за дроссельной заслонкой так, чтобы это перемещение было пропорционально изменению ΔP_K , то и между ними возможна линейная зависимость.

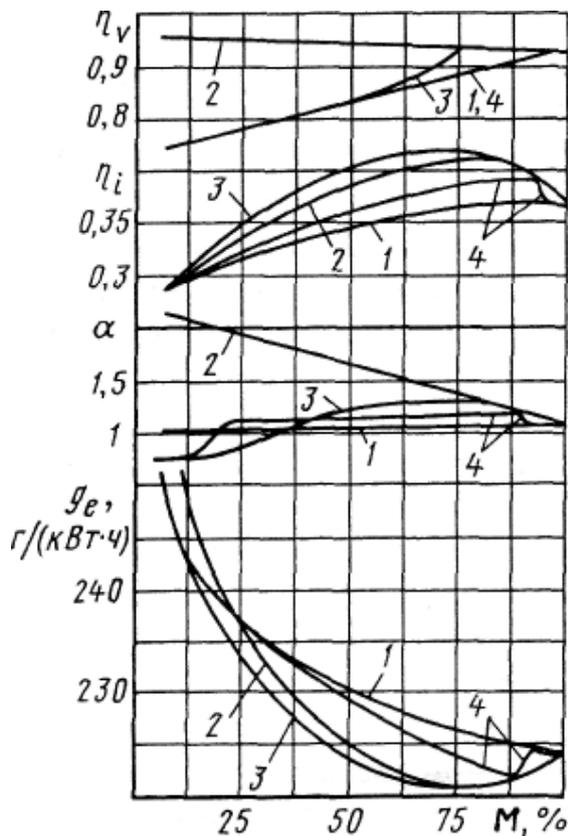


Рис. 1. Изменение коэффициента наполнения η_v , индикаторного КПД η_i , коэффициента избытка воздуха α , удельного расхода топлива g_e при различных способах регулирования: 1 — количественном; 2 — качественном; 3 — смешанном оптимальном; 4 — смешанном обогатительном.

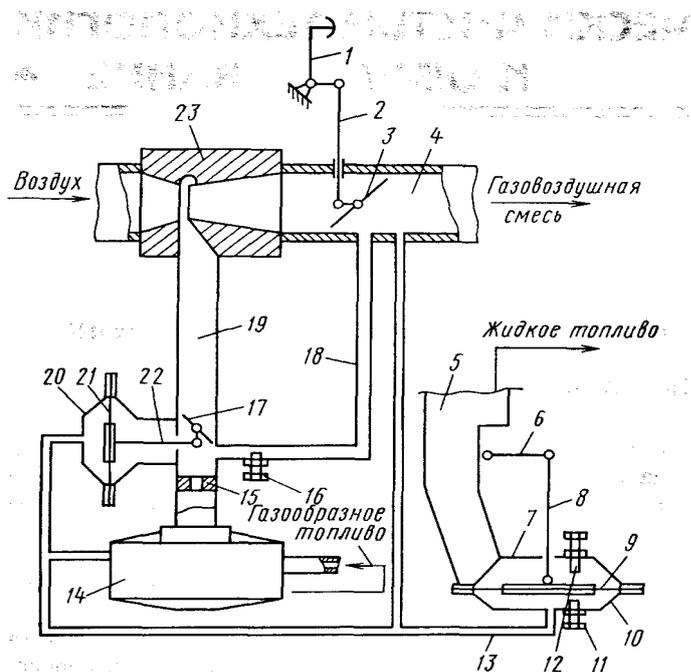


Рис. 2. Схема системы управления газодизелем

Система управления газодизелем (см. рис. 2) функционирует следующим образом. При работе двигателя на холостом ходу заслонка 3 закрыта — обеспечивается поступление воздуха для устойчивой минимальной частоты вращения коленчатого вала. Разрежение в коллекторе 4 по магистрали 13 воздействует на диафрагму 9, и шток 8 удерживает рычаг 6 в положении (установленном винтом 7) минимальной подачи жидкого топлива.

Одновременно разрежение воздействует на диафрагму 21 и шток 22 закрывает заслонку 23, прекращая поступление газообразного топлива в смеситель 23. Редуктор 14 продолжает подавать газообразное топливо, которое по магистрали 18 поступает в коллектор 4.

Предлагаемое устройство позволяет регулировать одновременную подачу жидкого и газообразного топлива и уменьшать расход первого при работе двигателя по газодизельному циклу.

Во время испытаний газодизеля определили изменение температуры выхлопных газов при работе с различными соотношениями подачи газа и дизельного топлива (для оценки теплового состояния ЦПГ) и экономию дизельного топлива при работе на природном газе (табл. 1). Выявлен основной недостаток – неравномерность распределения газозвушной смеси по цилиндрам. Для его устранения во внутренней полости впускного коллектора была размещена труба, внутренний диаметр которой соответствует выходному диаметру диффузора. В трубе выполнены сквозные распределительные окна, размещенные напротив каналов цилиндров (рис. 3). В табл. 2 показаны результаты этого усовершенствования.

Таблица 1. Показатели работы двигателя в режимах дизеля/газодизеля

$M_{кр}$, Н·м	Расход топлива, кг/ч	% дизельного топлива
Частота вращения 2100 мин ⁻¹		
100	9,5/1,3	100/15
300	16,0/1,2	100/7,6
500	23,5/1,3	100/5,6
700	28,8/1,2	100/4,2

Таблица 2. Показатели системы (распределительная труба отсутствует/присутствует)

$M_{кр}$	Температура в цилиндрах, °С						Расход топлива, кг/ч
	$t_{1ц}$	$t_{2ц}$	$t_{3ц}$	$t_{4ц}$	$t_{5ц}$	$t_{6ц}$	
100	790/400	330/400	300/380	320/390	300/380	290/380	1,38/1,38
300	490/490	460/480	420/480	400/470	400/470	390/470	1,41/1,41
500	510/510	460/510	430/510	410/500	410/500	400/500	1,40/1,40
700	530/530	480/530	460/520	450/510	440/510	430/510	1,40/1,40

При работе газодизеля по сравнению с дизелем значительных изменений температуры выхлопных газов не происходит, если во впускном коллекторе установлена труба-распределитель. Это позволяет считать тепловые нагрузки ЦПГ одинаковыми. При ручном управлении на стенде достигнута минимальная подача дизельного топлива 4 %. Оптимальную запальную дозу определяли исходя из условий минимального расхода жидкого топлива и снижения токсичности отработавших газов. При уменьшении расхода жидкого топлива менее 2,5 кг/ч появлялись пропуски цикловых подач по отдельным цилиндрам. В результате регулировок (табл. 3.) при расходе топлива 1,5 кг/ч с односпловыми распылителями цикловые подачи имели разброс не более 0,7 см³ на 1000 циклов при максимальной частоте вращения.

Существенное влияние величина запальной дозы топлива оказывает на температуру носка распылителя форсунки t_a . При работе с высокими нагрузками на смеси дизельного топлива и природного газа изменение запальной дозы в исследуемом диапазоне приводит к перепаду t_a на 80-100 °С.

Для ее снижения при цикловой подаче 1,5 кг/ч перед установкой форсунки в посадочные места вкладывали втулки, что позволяло ввести распылитель внутрь канала. Для оценки влияния способа регулирования газозвушной смеси на расход жидкого топлива были проведены сравнительные испытания систем питания газодизелей ГДА и НАМИ-КамАЗ (качественное регулирование) на двигателе КамАЗ-

740. На рис. 4 показаны скоростные характеристики последнего при работе на дизельном топливе и в газодизельном режиме.

Таблица 3. Цикловые подачи жидкого топлива по цилиндрам двигателя

Показатели	1	2	3	4	5	6	7	8	Примечание
Давление начала впрыска, МПа	18,7	18,5	18,5	18,8	18,5	18,5	18,5	18,6	Распылители с четырьмя соплами
Подача (см ³) на 1000 циклов при 1250 мин ⁻¹ :									
Полная	74	80	76	82	74	81	78	81	То же
3,3 кг/ч	5,8	5,6	6,1	5,6	5,6	6,2	5,9	6,1	
1,5	3,1	2,6	1,9	-	2,3	3,8	-	2,7	
1,5	3,3	3,1	3,5	2,9	2,8	3,5	2,5	3,4	Распылит. с одним соплом 0,54 мм

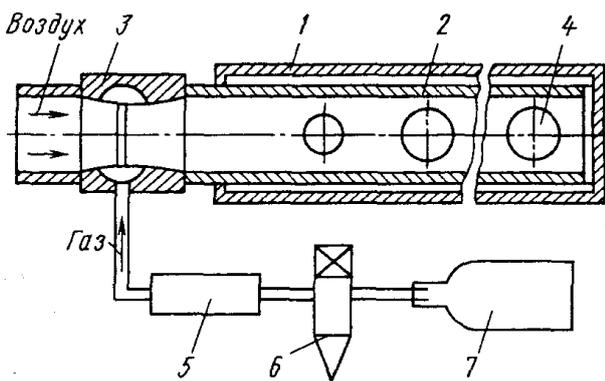


Рис. 3. Система подачи газа для газового и газожидкостного двигателя:

- 1 — впускной коллектор;
- 2 — труба;
- 3 — газовоздушный смеситель с диффузором;
- 4 — распределительные окна;
- 5 — редуктор низкого давления;
- 6 — редуктор высокого давления;
- 7 — источник газа

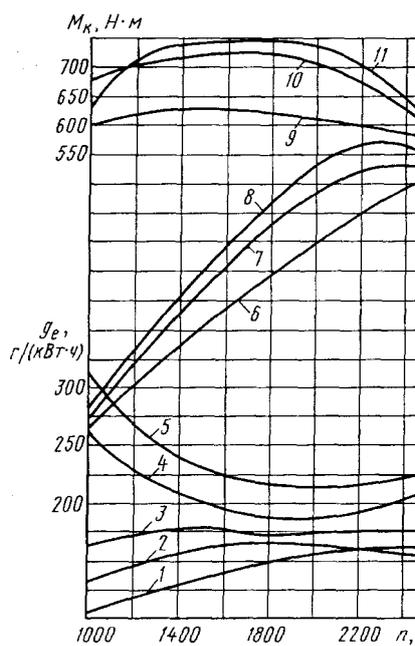


Рис. 4. Внешняя скоростная характеристика газодизеля КамАЗ-7409:

- 1-3 — запальная доза жидкого топлива; 4, 5 — удельный расход топлива;
- 6-8 — мощность;
- 9-11 — крутящий момент (n — частота вращения);
- 2, 6, 9 — с системой качественного регулирования, $G_{зд} = 6,5$ кг/ч; 3; 5, 7, 10 — с системой количественного регулирования, $G_{зд} = 6$ кг/ч;
- 1, 4, 8, 11 — то же, $G_{зд} = 0,7...5,5$ кг/ч.

На рис. 5 представлены показатели токсичности газодизеля (при нагрузке 58 кВт и в частоте вращения 2500 мин⁻¹) и температуры отработавших газов. Наилучшие показатели по СО и СН получаются при $\theta_{впр} = 16^\circ$, но при этом возрастает содержание NO_x. Однако это говорит о совершенстве процесса сгорания, причем при запальной дозе 3 кг он более эффективен, чем при 6 кг.

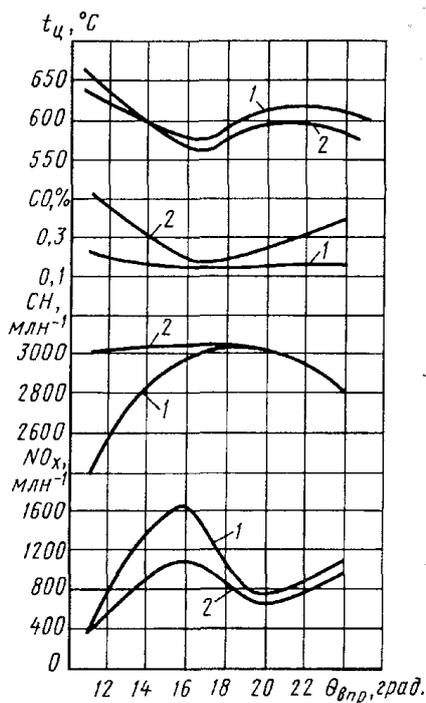


Рис.5. Зависимость токсичности отработавших газов газодизеля КамАЗ-740 от угла опережения впрыска $\theta_{впр}$ жидкого топлива при запальной дозе 3 кг/ч (1) и 6 кг/ч (2).

Полученные результаты позволяют положительно оценить целесообразность применения природного газа в качестве моторного топлива. Однако при конвертации дизеля в газодизель остаются еще значительные резервы по улучшению их экономических и экологических показателей. При стендовых моторных испытаниях газодизеля со смешанным регулированием расход дизельного топлива снижен на 95 % по сравнению с дизелем, что в 4—5 раз лучше, чем у газодизеля с качественным регулированием. Использование смешанного регулирования позволило уменьшить в 1,5 раза выбросы CH, на 20% — CO. Дымность отработавших газов газодизеля с модернизированной системой питания по сравнению с базовым вариантом

снижается в 3 раза. Экономия дизельного топлива в газодизельном режиме в сравнении с дизельным, с системой смешанного регулирования, достигает 90 %.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ВЫГОРАНИЯ НА ПОКАЗАТЕЛИ РАБОЧЕГО ЦИКЛА ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ЭЛЕКТРОННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Хакимов Р.Т. (Санкт-Петербургский государственный университет сервиса и экономики);

Применяемые технические средства для электронного управления двигателем внутреннего сгорания, работающего по газовому рабочему процессу, обеспечивают эффективность работы системы питания газового двигателя при смешанном регулировании. При рассмотрении различных схем электронных систем управления газовым двигателем применяются традиционные технические средства, сигнализирующие о характере протекания рабочего процесса в блок управления М-20 [3], посредством которого происходит оптимизация параметров регулирования газа и воздуха. Как известно, точное описание характера протекания рабочего процесса, в частности, процесса горения и тепловыделения в цилиндре двигателя, получить достаточно сложно. Следует отметить, что комплексные количественные значения, а также зависимости, полученные в ходе исследований, описывают характер протекания рабочего процесса, при котором можно судить об эффективности работы газового двигателя. В данном случае оно выражается поддержанием эффективного КПД на заданном уровне, при котором существенным является изменение скорости распространения фронта пламени внутри цилиндра, определяемой электронным датчиком угла ПКВ на базе разработанного дополнительного комплексного информационного канала. За основу принята электронная система управления газовым двигателем фирмы ООО «АБИТ» г. Санкт-Петербург. Разработана модернизированная схема системы электронного управления газовым двигателем (рис.1) с применением дополнительных комплексных датчиков, фиксирующих выходные значения комплексных показателей, таких как коэффициент из-