

Рис. 6. Влияние состава топлива на температуру отработавших газов двигателя:

▲ - 25% $N_e$ ; ● - 50% $N_e$ ; ■ - 75% $N_e$ ; × - 90% $N_e$ ; ◆ - 100% $N_e$

УДК 621.436.068

Ю.С. Бородин, канд. техн. наук, П.Я. Перерва, канд. техн. наук, Ю.П. Долгополов, инж., В.З. Бычков, инж., Г.А. Щербаков, инж., Г.В. Щербаненко, инж.

## УЛУЧШЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ДВУХТАКТНОГО ФОРСИРОВАННОГО ДИЗЕЛЯ ЗА СЧЕТ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ПРОЦЕССА ТОПЛИВОПОДАЧИ

Опыт отечественного и зарубежного дизелестроения свидетельствует о том, что уменьшение выбросов в атмосферу токсичных компонентов продуктов сгорания двигателей неразрывно связано с совершенствованием рабочего процесса, в организации которого значительная роль отводится топливopодpающей аппаратуре. Среди множеств токсичных веществ, содержащихся в отработавших газах (ОГ) дизелей, по условиям воздействия на человека и окружающую среду выделяют оксиды азота ( $\text{NO}_x$ ), суммарные углеводороды ( $\text{C}_n\text{H}_m$ ), оксиды углерода (СО) и твердые сажиые частицы (РМ). Снижение содержания этих веществ в ОГ непосредственно связано с регулированием и интенсификацией процесса топливopодpадачи. Эти же факторы определяют и топливную экономичность двигателя [1, 2].

Современные тенденции по обеспечению норм токсичности для грузовых машин в Европейском сообществе сводятся к повышению максимального давления впрыска до 100 МПа и более, уменьшению его продолжительности и др. Такие показатели топливopодpадачи при соответствующей организа-

ции рабочего процесса позволяют получить значения расхода топлива и выбросов СО,  $\text{C}_n\text{H}_m$  и частиц РМ, отвечающие жестким современным требованиям.

В связи с возросшими требованиями к экологическим показателям транспортных машин Харьковским конструкторским бюро по двигателестроению были проведены опытные работы на двухтактном форсированном дизельном двигателе ЗТД (120х2х120), предназначенном для военнопусеничных машин, по дальнейшему улучшению смесеобразования и сгорания топлива за счет интенсификации процесса топливopодpадачи. Была разработана топливная аппаратура с форсунками закрытого типа вместо форсунок полузакрытого типа, рис. 1 и 2, отличительной особенностью которой является то, что в качестве запорного органа применена игла с давлением открытия  $P_{\phi}=20$  МПа взамен шарика с  $P_{\phi}=9,5$  МПа. Объем топливного колодца за запорным органом (вредный объем) уменьшен более, чем в 40 раз, что исключает вытекание топлива из соплового отверстия в течение каждого цикла после посадки иглы.

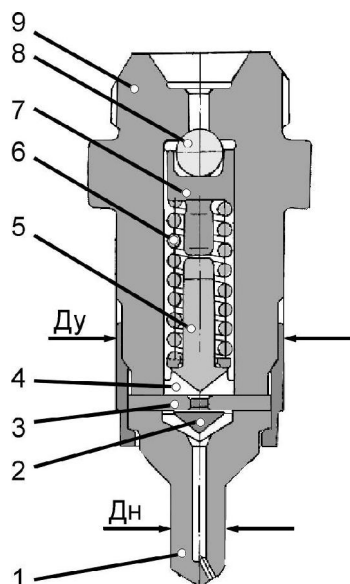


Рис. 1. Форсунка полузакрытая:

Диаметр клапана (шарика), мм	3,969
Объем топлива за клапаном, мм <sup>3</sup>	35
Высота, мм	46
Установочный диаметр, $D_y$ , мм	15
Диаметр носика, $D_n$ , мм	5

1 - распылитель; 2 - клапан обратный; 3 - седло клапана; 4 - шайба регулировочная; 5 - упор; 6 - пружина; 7 - грибок; 8 - шарик (клапан); 9 - корпус

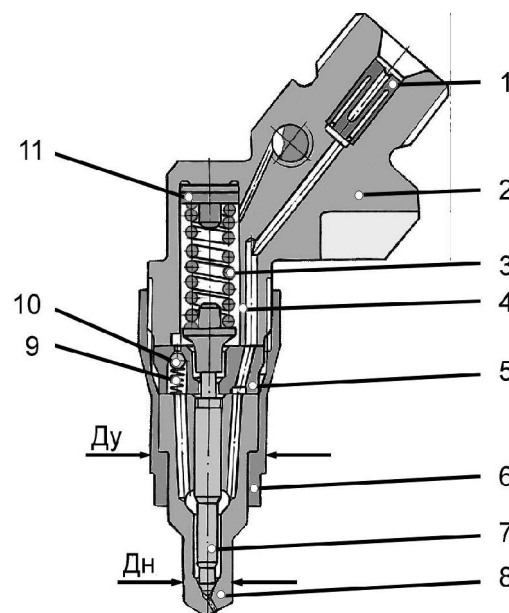


Рис. 2. Форсунка закрытая:

Диаметр иглы, мм	3,5
Объем топлива за клапаном, мм <sup>3</sup>	0,8
Высота, мм	75
Установочный диаметр, $D_y$ , мм	15
Диаметр носика, $D_n$ , мм	6,8

1 - фильтр щелевой; 2 - корпус; 3 - пружина; 4 - тарелка пружины; 5 - проставка; 6 - гайка; 7 - игла; 8 - распылитель; 9 - пружина; 10 - шарик; 11 - шайба регулировочная

Следует отметить, что в форсунке закрытого типа уменьшен диаметр иглы до 3,5 мм против 6 мм для большинства серийно выпускаемых форсунок такого типа, в результате чего уменьшена масса подвижных деталей до 3,84 г, т.е. меньше примерно на порядок, чем, например, у форсунки двигателя ЯМЗ-238. При этом, подигольный объем составляет 0,6...0,8 мм<sup>3</sup>. Предложенная конструкция позволяет обеспечить резкость и четкость работы иглы форсунки. Отвод топлива, просочившегося по зазору "распылитель-игла", осуществляется между впрысками через обратный шариковый клапан 10, (рис. 2), поджатый пружиной 9 в полость распылителя, что позволяет увеличить давление начала подъема иглы на величину остаточного давления, а также упростить конструкцию топливной системы [3].

По результатам осциллографирования давления впрыска, проведенного на безмоторном стенде при  $n=2600$  мин<sup>-1</sup>,  $g_{цикл}=65$  мм<sup>3</sup>;  $d_c=0,5$  мм с противо-давлением, у обеих форсунок максимальное давление впрыска находится на достаточно высоком уровне  $P_{max}=80...100$  МПа, однако, с форсунками закрытого типа уменьшается продолжительность впрыска на 2...3 град. угла поворота коленчатого вала (п.к.в.), увеличиваются скорости нарастания давления в начальной фазе и падения давления в конечной фазе

впрыска; подъем иглы осуществляется с запаздыванием на 2 град. п.к.в. При цикловых подачах топлива, соответствующих холостому ходу  $g_{цикл}=10$  мм<sup>3</sup> при  $n=1000$  мин<sup>-1</sup>, давление впрыска у закрытой форсунки более, чем в 5 раз выше, чем у форсунки полузакрытого типа.

Такие показатели топливоподающей аппаратуры, как показали сравнительные испытания на двигателе ЗТД мощностью 600 л.с., оказывают благоприятное влияние на характер протекания рабочего процесса и способствуют существенному снижению токсичных выбросов на эксплуатационных режимах. При этом полностью устраняется разжижение картерного масла топливом.

Испытания двигателя с вариантами форсунок топливной аппаратуры 4x0,5x300 проводились на режимах нагрузочных характеристик и режимах холостого хода. На каждом режиме измерялись и регистрировались технико-экономические показатели работы двигателя, а также значения объемных концентраций (млн<sup>-1</sup>) CO, C<sub>3</sub>H<sub>8</sub> и NO<sub>x</sub> в продуктах сгорания за турбиной с помощью газоанализаторов непрерывного действия Гиам-24 и Клен-22. Оптическую плотность дыма ( $K_d$ ) измеряли с помощью дымомера ЛМСИ-90.

Результаты проведенных испытаний показали,

что применение на двигателе 3ТД топливной аппаратуры с малогабаритными форсунками закрытого типа позволяет снизить расход топлива на режимах холостого хода, улучшить топливную экономичность при работе под нагрузкой, уменьшить выбросы токсичных компонентов продуктов сгорания на всех эксплуатационных режимах.

Так, при действительном угле опережения впрыска топлива на 2 град. п.к.в. меньше, чем в случае применения форсунок полуоткрытого типа,

удельный расход топлива снизился на 4...8 г/э.л.с·ч в зависимости от режимов работы двигателя при допустимых значениях максимального давления сгорания в цилиндрах  $P_z \leq 13,5$  МПа.

На всех эксплуатационных режимах уменьшились содержание в ОГ  $CO$ ,  $C_3H_8$ ,  $NO_x$ , а также выбросы РМ. Снижение содержания в ОГ оксидов азота достигнуто за счет меньшего угла предварения впрыска топлива, рис. 3.

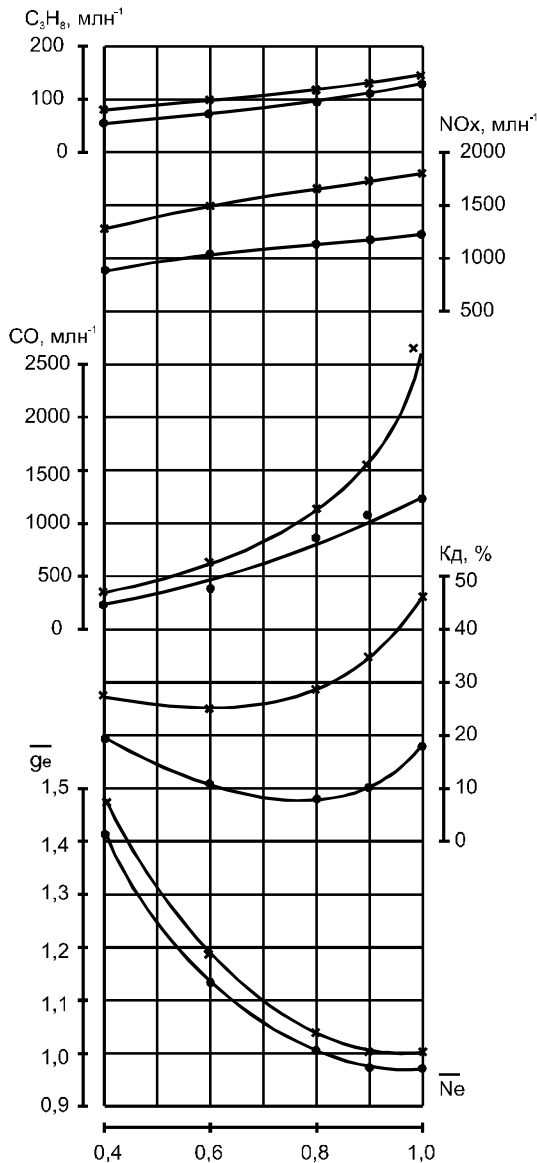


Рис. 3. Зависимость удельного расхода топлива, плотности дыма и объемных концентраций токсичных компонентов продуктов сгорания в составе ОГ двигателя 3ТД от нагрузки на режиме номинальной частоты вращения коленчатого вала  $n=2500$  мин⁻¹:  
 ● - ТА с закрытыми форсунками;  
 ✕ - ТА с полуоткрытыми форсунками

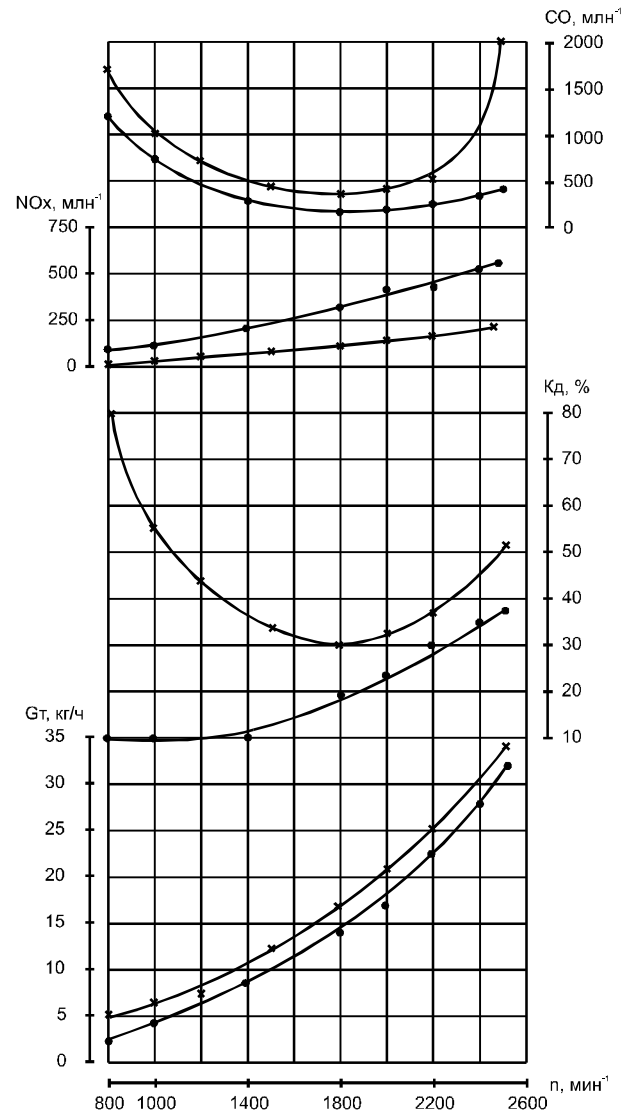


Рис. 4. Зависимость плотности дыма, содержания окиси углерода и окислов азота в ОГ и расхода топлива от частоты вращения коленчатого вала на режимах холостого хода:  
 ● - ТА с закрытыми форсунками;  
 ✕ - ТА с полуоткрытыми форсунками

Увеличение давления впрыска и улучшение качества распыла топлива на режимах холостого хода позволило интенсифицировать процесс сгорания, вследствие чего расход топлива снизился примерно на 2 кг/ч во всем диапазоне скоростной характеристики, уменьшились выбросы СО и значения оптической плотности дыма; на режимах частот 800...1000 мин<sup>-1</sup> оптическая плотность дыма снизилась в 8 раз (рис. 4).

По результатам проведенных исследований удельные выбросы токсичных компонентов продуктов сгорания, определенные на режимах 13-ступенчатого испытательного цикла, составили (г/э.л.с.·ч):

$$\begin{aligned} g_{CO} &= 7,4; \\ g_{NOx} &= 13,4; \\ g_{CH} &= 1,5. \end{aligned}$$

Оптическая плотность дыма ОГ на эксплуатационных режимах не превышает 34% ( $K_o=0,96 \text{ м}^{-1}$ ).

Приведенные данные свидетельствуют о том, что двухтактный высокофорсированный дизельный двигатель ЗТД, предназначенный для военнотранспортных и колесных машин, по токсичности и дымности выпускных газов находится на уровне требований, регламентируемых ОСТ 37.001.234-81 и ГОСТ 17.2.2.01-84.

#### Список литературы:

1. В.А. Лиханов, А.М. Сайкин, *Снижение токсичности автотранспортных дизелей*, М., ВО "Агропроиздат", 1991 г. 2. И.В. Парсаданов, Г.В. Прудников, А.А. Коколев, *Влияние топливоподачи на токсичность выбросов отработавших газов автотранспортного дизеля*, *Авиационно-космическая техника и технология: Сб. науч. тр. Гос.аэро-косм.ун-та, Харьков: ХАИ, 2000, вып.19., с.179-183.* 3. В.Е. Горбаневский, Ю.П. Долгополов и др. *Беспрецизионные клапанные форсунки*, Киев, "Вища школа", 1987 г.

УДК 530.17+536.7+541.8(11)

**А.П. Кудряш, д-р техн. наук, К.Р. Умеренкова, инж., В.С. Маринин, д-р техн. наук, А.А. Кайдалов, инж.**

### УНИВЕРСАЛЬНЫЙ МЕТОД РАСЧЕТА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ТОПЛИВ ДЛЯ ДВИГАТЕЛЕЙ

С целью экономии углеводородного топлива, а также для снижения вредных выбросов автотранспортными средствами в последние годы все больше внимания уделяется использованию альтернативных топлив (АТ) (природный газ, биогаз, шахтный метан, водород и др.). Кроме технических трудностей, имеются и до сих пор не решенные научные проблемы. К ним в первую очередь относится зависимость качества рабочего процесса (КПД) от теплофизических свойств используемых газообразных топлив.

До настоящего времени теплофизические свойства, прежде всего теплоемкость, аппроксимируются эмпирическими зависимостями на основе использования экспериментальных данных. В связи с тем, что рабочее тело в процессе смесеобразования и сгорания в двигателе проходят через широкий диапазон температур и давлений, весь диапазон параметров состояний приходится разбивать на несколько участков. На каждом из них теплофизические свойства описываются отличными друг от друга кривыми, что крайне неудобно для использования и приводит к существенным погрешностям. Поэтому назрела необходимость в разработке универсального метода определения теплофизических свойств АТ в широ-

ком диапазоне параметров, который позволил бы отказаться от использования эмпирических коэффициентов.

Начальным этапом расчетов теплофизических свойств  $N$ -компонентной смеси является определение ее плотности  $\rho$  (молярного объема  $v_m$ ). При заданных температуре  $T$ , давлении  $p$  и наборе концентраций  $\{x_\alpha\}$ ,  $\alpha = 1, 2, \dots, N-1$  значения  $v_m$  определяются в однофазной области из уравнения

$$p_m(v_m, T, \{x_\alpha\}) - p = 0, \quad (1)$$

а в области двухфазных, например парожидкостных ( $L-V$ ) равновесий, – из решения системы уравнений

$$\begin{cases} p_m(v_m^L, T, \{x_\alpha^L\}) - p = 0; \\ p_m(v_m^V, T, \{x_\alpha^V\}) - p = 0; \\ \mu_1(v_m^L, T, \{x_\alpha^L\}) - \mu_1(v_m^V, T, \{x_\alpha^V\}) = 0; \\ \dots \\ \mu_N(v_m^L, T, \{x_\alpha^L\}) - \mu_N(v_m^V, T, \{x_\alpha^V\}) = 0, \end{cases} \quad (2)$$

где давление  $p_m$  и химические потенциалы