

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ДИЗЕЛЯ 8ЧН26/26 НА РЕЖИМАХ РАБОТЫ МАНЕВРОВОГО ТЕПЛОВОЗА

В.А. Рыжов, к.т.н., главный конструктор;
ОАО «Коломенский завод»

Испытания дизеля 8ЧН26/26 в составе тепловоза ЧМЭЗ показали, что дизель при работе на режимах с малой нагрузкой, которые доминируют в спектре режимов работы маневрового тепловоза, имеет повышенный расход топлива.

В статье выполнен анализ факторов, позволивших улучшить расход топлива за счет согласования параметров топливного факела и камеры сгорания.

Проведены расчеты дальнобойности топливного факела и предложены мероприятия по снижению доли топлива, оседающей на стенках камеры сгорания. Тем самым было обеспечено снижение расхода топлива в спектре рабочих режимов локомотива без ухудшения параметров на полной мощности.

Задача повышения эффективности дизеля 8ЧН26/26 на режимах работы маневрового тепловоза была поставлена в связи с необходимостью замены дизеля 6ЧН31/36 чешского производства на дизель 8ЧН26/26 в маневровых тепловозах ЧМЭЗ.

Испытания базовой модификации 8ЧН26/26 в спектре маневрово-вывозных режимов (рис. 1), характерных для тепловоза ЧМЭЗ, показали, что расход топлива на позициях контроллера с 1 по 3 ($0 \leq P_e < 204$ кВт при $310 \leq n < 428$ об/мин) неудовлетворителен.

Камера сгорания (КС) после испытаний базовой модификации дизеля 8ЧН26/26 имеет характерные признаки попадания топлива на стенки, и это позволяет предположить, что улучшение работы на 0–3 позициях контроллера может быть достигнуто за счет согласования размеров топливного факела (ТФ) с формой КС.

Использование научного задела в области исследований развития топливной струи в бомбах постоянного и переменного объемов, имитирующих КС двигателя Д49, позволило решить поставленную задачу аналитически с минимальными затратами времени и средств. При этом объем моторных испытаний был практически сведен к контрольным испытаниям базовой и опытной модификаций дизеля.

В качестве целевой функции была выбрана длина ТФ за период задержки самовоспламенения.

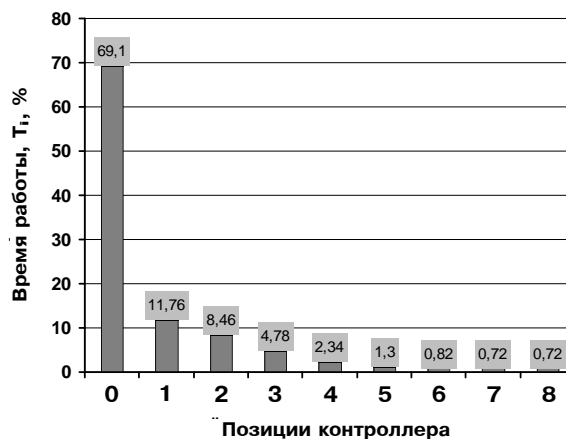


Рис. 1. Спектр режимов работы тепловоза ЧМЭЗ

Расчет дальнобойности ТФ за период задержки воспламенения выполнен по методике Лышевского А.С.:

$$X = \sqrt{\frac{u_1 \cdot d_c \cdot \tau_i}{a}} \text{ м,}$$

где u_1 — максимальная скорость топлива на выходе из сопла в рассматриваемый период времени в м/с; d_c — диаметр распыливающего (соплового) отверстия в м; a — коэффициент свободной турбулентности:

$$a = A \frac{\rho}{W_e^{0,21} \cdot M^{0,16}},$$

где A — экспериментальная константа; W_e и M — критерии, характеризующие процесс распыливания, являющиеся функциями скорости истечения, плотности, поверхностного натяжения, динамической вязкости топлива и диаметра распыливающего отверстия; ρ — отношение плотностей воздуха (ρ_v) и топлива (ρ_r).

Коэффициент свободной турбулентности струи (КСТС) идентифицирован по результатам исследований ТФ. При этом установлено, что расчет КСТС на режимах, близких к номинальному, целесообразно выполнять с константой Миллера–Бердслея, а на режимах малых нагрузок — с константой Лышевского А.С., которые соответственно равны 3,0 и 3,85.

Период задержки самовоспламенения (τ_i) на расчетных режимах определяли аналитически с предварительной идентификацией расчетных зависимостей применительно к двигателю Д49. Установлено, что на режимах $P_e < 0,8 P_{eном}$ расчет τ_i целесообразно проводить по формуле Толстова А.И.:

$$\tau_i = \frac{103}{(C_m \cdot P_b)^{0,695} \cdot T_b^{0,294}} \text{ с,}$$

а в диапазоне $P_e \geq 0,8 P_{\text{енном}}$ — по формуле Семенова Н.Н.—Тодеса О.М.:

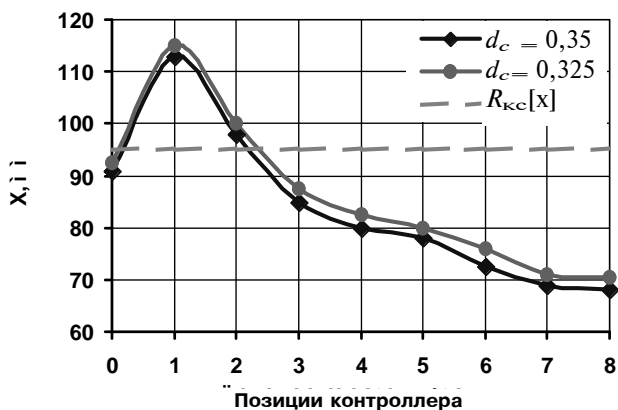
$$\tau_i = A_1 \cdot P_e^{-0,5} \cdot e^{\frac{E}{RT_b}} \text{ с,}$$

где $A_1 = 36 \cdot 10^{-0,5}$ — коэффициент; $E = 8,3 \cdot 10^3$ Дж/г · моль — энергия активации.

Параметры воздушного заряда в цилиндре задавали по экспериментальным данным, полагая их постоянными за период впрыска топлива.

Исследования показали, что на позициях 0–3 дальность ТФ (рис. 2) превышает размеры КС, что, по-видимому, явилось главной причиной ухудшения расхода топлива из-за оседания части топлива на стенке КС.

Полученный результат весьма интересен, поскольку он не соответствует утверждению многих авторов о необходимости увеличения давления впрыска топлива на режимах холостого хода и малых нагрузок. Исследование динамики развития топливного факела на горячей бомбе переменного объема и экспериментального отсека двигателя ЧН26/26 с электронной аккумуляторной системой топливоподачи, ныне называемое западными авторами *Common Rail*, убедительно доказывают, что увеличение давления выше определенного предела вызывает значительное ухудшение рабочего процесса. В частности, на холостом ходу двигателя 8ЧН26/26 оптимальным давлением впрыска является $200 < P_v < 220$ бар, что, как показано рис. 2, является следствием оптимальной длины факела. Часовой расход на этом режиме (позиция 0) соответствует 5 кг/ч, что является очень хорошим результатом для двигателя размерности 26/26.



d_c — диаметр распыливающего отверстия
 $R_{КС}$ — радиус камеры сгорания

Рис. 2. Расчетная длина факела за период задержки самовоспламенения

Значительное превышение дальности факела на позиции контроллера 1 по отношению к позиции 8 является следствием большой разницы в плотности воздушного заряда в цилиндре дизеля.

Таким образом, задача оптимального размера топливного факела при работе двигателя Д49 на маневрово-вывозных режимах требует компромиссного решения по выбору совокупности определяющих параметров КС и ТФ, либо использования топливной аппаратуры с гибким управлением параметрами впрыска. К сожалению, такая аппаратура по ряду причин ни на Коломенском заводе, ни вообще в России серийно не выпускается, хотя именно на двигателе 8ЧН26/26 был испытан ее макетный образец еще в 1978 году. Учитывая вышеупомянутое, а также спектр нагружения маневрового локомотива, решение задачи улучшения экономичности дизеля 8ЧН26/26 на режимах малых нагрузок было сфокусировано на максимально возможном устранении излишней дальности топливного факела на 1 и 2 позициях контроллера.

Очевидно, что это возможно за счет увеличения плотности воздушного заряда, уменьшения диаметров распыливающих отверстий и увеличения диаметра горловины КС (ρ_v ; d_c ; $L_{Ф}$).

Изменение дальности ТФ при варьировании указанными параметрами представляет собой многофакторную задачу, однако конструктивные ограничения существенно сужают область поиска и позволяют получить результат методом экспертных оценок.

Сопоставление требуемой и реально достижимой плотностей воздуха (рис. 3) даже при одновременном увеличении степени сжатия с 12,5 до 14,5 и давления наддува до 130 кПа показывает, что она не может быть достигнута в реальной конструкции. Кроме того, концентрация топлива в рабочей смеси становится неприем-

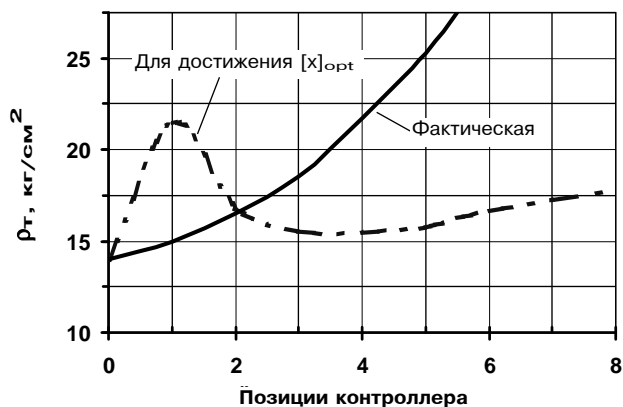


Рис. 3. Плотность воздушного заряда

лемой, поэтому в дальнейших расчетах использовали реально-достижимую величину плотности воздуха.

Установлено, что реальными эффективными мероприятиями, позволяющими снизить долю топлива, попадающего на стенки КС, являются: уменьшение диаметра распыливающих отверстий до 0,325; увеличение плотности воздушного заряда за счет повышения степени сжатия с 12,5 до 14,5 и увеличения давления наддува на 3–4 кПа; увеличение радиуса КС до максимально возможной величины (~ 100 мм).

Кроме того, анализ характеристик впрыска топлива, (рис. 4, а и б) убедительно показывает, что величина коррекции угла опережения впрыска топлива серийным плунжером явно недостаточна и должна быть увеличена по отношению к базовому варианту не менее чем на 5° ПКВ. Необ-

ходимая величина коррекции является предельно достижимой для плунжера диаметром 17 мм, используемом на двигателе 8ЧН26/26. Таким образом, суммарная величина коррекции угла опережения впрыска топлива при изменении мощности от 0 до 100 % составит 10° ПКВ, что хорошо согласуется с результатами испытаний электронной системы топливоподачи.

Зависимость коррекции угла опережения подачи топлива по позициям контроллера представлена на рис. 5.

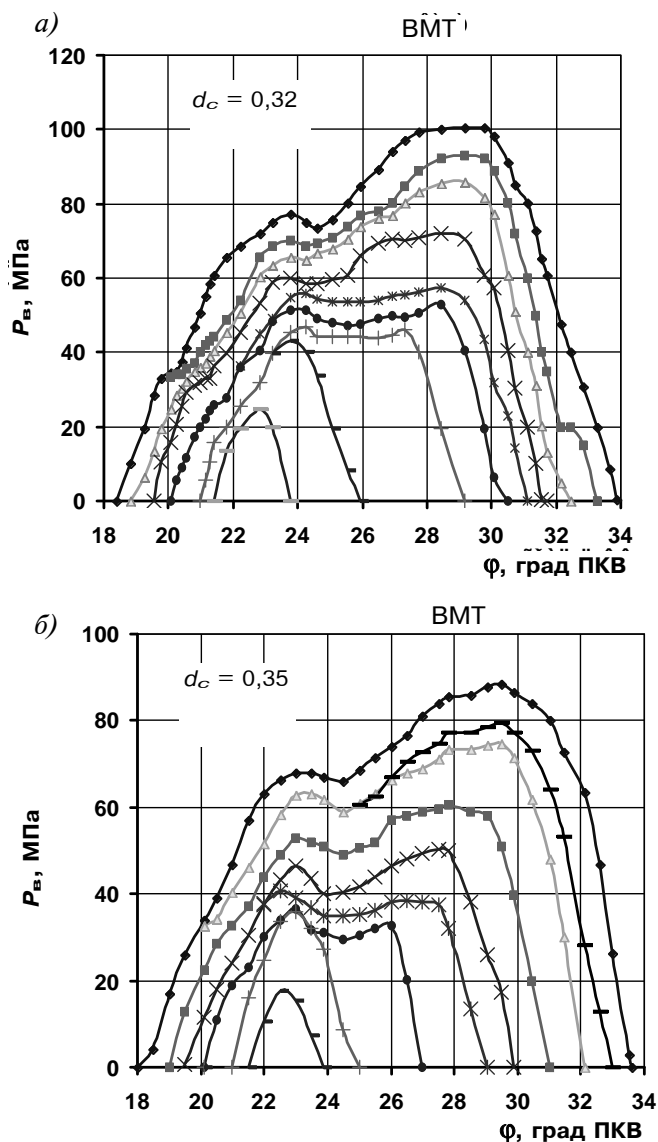


Рис. 4. Изменение давления впрыска топлива по позициям контроллера

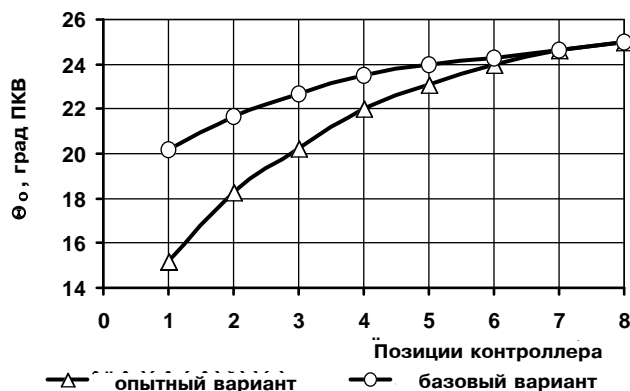


Рис. 5. Коррекция угла опережения впрыска топлива

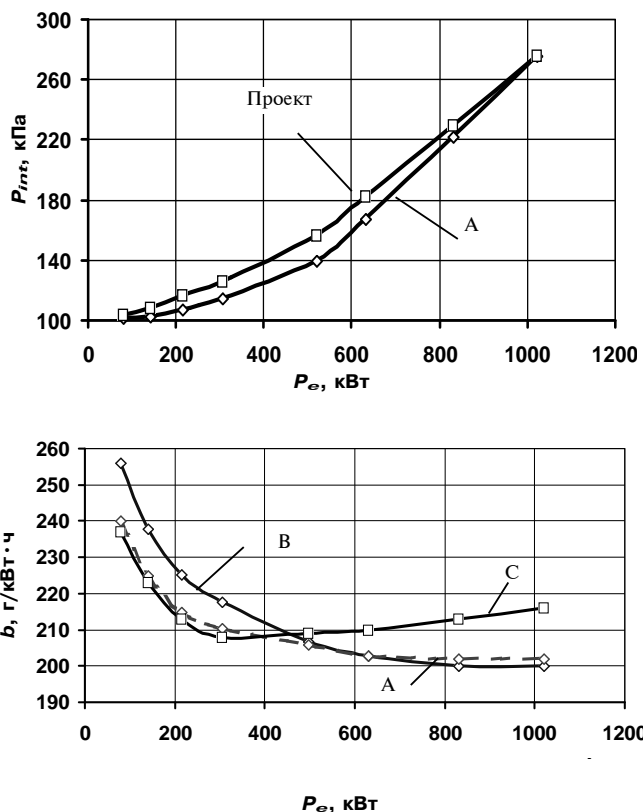


Рис. 6. Изменение рабочих параметров дизелей по тепловозной характеристике:

В — базовый вариант комплектации двигателя ЧН26/26;
А — опытный вариант двигателя ЧН26/26;
С — двигатель ЧН31/36

Увеличение давления впрыска на позициях выше 3 при уменьшении диаметров распыляющих отверстий приводит к снижению выбросов NO_x ; CO и дымности. Выбросы CH остаются без изменений.

Указанные мероприятия обеспечили снижение расхода топлива в спектре рабочих режимов на 8–15 г/кВт·ч без ухудшения рабочих параметров дизеля на полной мощности (рис. 6). При этом удельные средневзвешенные показатели выбросов вредных веществ составили $\text{NO}_x \leq 10,5$; $\text{CO} \leq 1,6$

и $\text{CH} \leq 0,56$ г/кВт·ч при дымности отработавших газов не более 1,6 FSN по шкале БОШ, что соответствует нормам ГОСТ Р51249 и ГОСТ Р51250-99.

Достигнутый результат не является исчерпывающим для двигателя Д49. Дополнительный эффект может быть получен оптимизацией характеристик турбокомпрессора 1-14ТК с одновременным использованием гибкого управления перепуском воздуха из компрессора в турбину на некоторых рабочих режимах.

АТЛАС «ДВИГАТЕЛИ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ» =

На кафедре «Турбины и двигатели»

Уральского государственного технического университета издан атлас «Двигатели внутреннего сгорания. Компоновки и конструкции» (автор Н.Д. Тимошенко)

Издание обращено к широкому кругу читателей: к профессионалам, работающим на предприятиях, выпускающих двигатели и технику с двигателями, к студентам и преподавателям вузов и, наконец, просто к любителям техники.

Атлас содержит сведения о двигателях всех сколько-нибудь известных типов и фирм мира: от образцов Ленуара 1861 г. до самых современных, от миниатюрных моторчиков авиамodelей до тысячетонных судовых гигантов.

Сведения, приведенные в атласе, собраны из разнообразной технической литературы, из оригинальных материалов, предоставленных автору отечественными и зарубежными заводами, из фирменных проспектов.

Издание содержит около 4900 иллюстраций: компоновок, общих видов, поперечных и продольных разрезов, схем, своеобразных конструкций отдельных агрегатов, механизмов и деталей, как правило, отсутствующих в общедоступной литературе. Описания двигателей включают их технические характеристики.

Обстоятельные исторические обзоры предваряют издание в целом, а также каждую часть по отраслям двигателестроения, содержат подробный хронологический аппарат, а также краткие биографические справки о людях, внесших значительный вклад в развитие двигателестроения.

Атлас состоит из семи частей, скомпонованных по назначению двигателей:

- ч. 1 – Судовые, включая подвесные моторы, 1214 с.;
- ч. 2 – Тепловозные, 392 с.;
- ч. 3 – Газовые, газодизельные, ГМК, СПГГ; дизель-молоты; двигатели необычных конструкций, 511 с.;
- ч. 4 – Авиационные; мотоциклетные; для моделизма; для малой механизации, 606 с.;
- ч. 5 – Промышленные; тракторные, 590 с.;
- ч. 6 – Танковые, 456 с.;
- ч. 7 – Автомобильные, 1220 с.

Формат издания А4 в твердом переплете.

Издание снабжено справочным аппаратом, приведенным в седьмой части: именовым, предметным, фирменным указателями, перечнем таблиц.

Издание в целом и его части можно заказать по адресу:

620002, Екатеринбург, а/я 3а, кафедра «Турбины и двигатели» УГТУ-УПИ.

Тел. (343) 375-48-51, тел./факс: (343) 375-94-62.

E-MAIL: TURBINE@BK.RU TURBINE66@MAIL.RU

