

СНИЖЕНИЕ САЖЕВЫДЕЛЕНИЯ И РАСХОДА ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ ПРИСАДКОЙ ГАЗА И ВОДЫ К ТОПЛИВУ

А.Е. Свистула

Предложен метод совершенствования рабочего процесса дизеля интенсификацией процесса смесеобразования-сгорания при дополнительном диспергировании топлива. Разработана опытная форсунка и топливная аппаратура, обеспечивающие присадку газа или воды в магистраль высокого давления. Приведены результаты теоретического и экспериментального исследования. Показано снижение расхода топлива и вредных выбросов дизеля.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Специфика горения топлива в цилиндре дизеля при большой неоднородности топливно-воздушной смеси по составу и температуре, высоких значениях давления и температуры предопределяет параллельно развитию процессу горения крекинг топлива и выделение свободного углерода в виде сажи с медленным догоранием последней на линии расширения с высоким коэффициентом несвоевременности сгорания. Количество выделяющейся сажи в цикле может служить косвенным индикатором качества процесса смесеобразования. Повышение экономичности требует рациональной организации взаимодействия топливной и воздушной фаз для снижения вероятности образования температурно-концентрационных неоднородных зон и последующего выделения сажи в цилиндре. При развитии свободного топливно-воздушного факела качество смесеобразования весьма низкое и существенно улучшить его посредством обычных мероприятий (изменением давления впрыскивания, диаметра сопел, параметров газовой среды и т.д.) не представляется возможным.

Существенно уменьшить неоднородность в распределении топлива по окислителю можно за счет разрушения переобогащенных топливом зон путем впрыскивания топлива с присадкой газа или водо-топливной эмульсии (ВТЭ) в оптимальной пропорции. Преимуществом такого впрыскивания является дополнительное диспергирование топлива и более качественное распределение его по окислителю соответственно за счет расширения пузырьков газа на выходе из сопловых отверстий распылителя или явления «микровзрывов» и «микроструй», тем самым уменьшается вероятность образования зон, переобогащенных топливом, участвующих в крекинг-процессах при диффузионном сгорании, т.е. подавляется необходимое условие для образования сажи в условиях дизеля, которая является невыгодной как с экономи-

ческой, так и с экологической точек зрения. Опыт использования устройств для впрыскивания топлива, насыщенного газом, фирмами "Камминс" и "Комацу", а также систем питания водо-топливными эмульсиями подтверждает это. Показано, что оптимальным местом образования газо-топливной смеси или водо-топливной эмульсии является линия высокого давления топливной аппаратуры (ТА), что позволяет оперативно управлять их составом.

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

Расчетно-теоретическое исследование возможности повышения экономичности и снижения выброса сажи с ОГ дизеля при уменьшении сажевыделения в камере сгорания посредством увеличения эффективности использования воздушного заряда цилиндра проведено на основе математической модели результирующего сажевыделения в цилиндре дизеля, разработанной профессором С.А. Батуриным, в основу которой положены высокотемпературный ацетиленовый механизм разложения углеводородов в газовой фазе по П.А. Теснеру и гетерогенное окисление частиц углерода на основе использования фундаментальных исследований А.С. Предводителя, А.Н. Хитрина, В.В. Померанцева и др. применительно к условиям цилиндра дизеля [1].

Модель позволяет прогнозировать текущую концентрацию сажи в цилиндре при известных характеристиках ввода $\sigma(\varphi)$ и выгорания $\chi(\varphi)$ топлива для любого нагрузочного режима. Расчет образования сажи выполняется в интервале времени от начала поступления топлива в цилиндр до момента его сгорания по зависимости $x=f(\varphi)$, а горение сажи – в интервале времени от начала активного тепловыделения до начала открытия выпускных органов. Результирующее сажевыделение определяется как кинетикой механизмов образования и выгорания сажи, так и характеристикой $x=f(\varphi)$ через параметры состояния

рабочего тела (РТ) и время процессов образования и выгорания сажи. Состав топливно-воздушной смеси в зоне горения (пиролиза) в модели учитывается коэффициентом избытка воздуха α_e в этой зоне, который будет отражать условия смесеобразования в камере сгорания, и при увеличении α_e можно предполагать улучшение эффективности выгорания топлива с меньшим сажевыделением.

Для вычисления α_e выбрана методика Н.Ф. Разлейцева [2], доведенная до численного решения и позволяющая связать зависимость коэффициента выгорания топлива $x(\varphi)$ с коэффициентом $\alpha_e(\varphi)$ (1):

$$\alpha_e = \alpha \cdot \xi_e / x. \quad (1)$$

Здесь величина ξ_e отражает степень эффективного использования воздушного заряда и задается по аппроксимирующей зависимости, вид которой определяется положением ее минимума (для дизеля с полукрытой камерой сгорания рекомендуется $\varphi_{zo} = 0,33$ и $\xi_{eo} = 0,45 \dots 0,55$, причем, чем лучше качество смесеобразования, тем величина ξ_{eo} больше). Связь между составом топливно-воздушной смеси в зоне горения $\alpha_e(\varphi)$ (или $\xi_e(\varphi)$), характеристиками подвода $\sigma(\varphi)$ и выгорания $x(\varphi)$ топлива устанавливалась по обобщенному кинетическому уравнению (2):

$$\frac{dx}{d\varphi} = A \cdot \alpha_e (\sigma - x) \cdot x, \quad (2)$$

A - постоянный для данного режима работы коэффициент.

Для анализа эффективности ввода теплоты в цикл (в т.ч. от выгорающей сажи) использован дифференциальный метод, известный по работам Д.Д.Матиевского [3, 4]. Индикаторный КПД η_i определяется по уравнению, представляющему собой разность относительного количества располагаемой теплоты, введенной в цикл, и долей потерянной ΔX_{HP} и неиспользуемой δ_i теплоты в цикле (3):

$$\eta_i = 1 - \Delta X_{HP} - \delta_3 - \delta_{HC} - \delta_k - \delta_w, \quad (3)$$

где неиспользование теплоты δ_i определяется по уравнению непосредственной связи индикаторного КПД с характеристиками выделения и отвода теплоты от рабочего тела (РТ), которые описывают одну из сторон проявления развития разнообразных внутрицилиндровых процессов: выгорания топлива, теплообмена, диссоциации и пр., и выражается коэффициентами неиспользования теплоты, соответственно в эталонном цикле δ_3 , от несвоевременности ввода δ_{HC} , переменности

сти состава δ_c и температуры δ_T РТ ($\delta_k = \delta_c + \delta_T$), по различным причинам отвода теплоты δ_w :

$$\delta_3 = \frac{1}{\varepsilon_o^{k_{1,4}-1}} \sum_1^m \Delta X_n;$$

$$\delta_{HC} = \sum_1^m \frac{\Delta X_n}{\varepsilon_n^{k_{1,4}-1}} - \frac{1}{\varepsilon_o^{k_{1,4}-1}} \sum_1^m \Delta X_n;$$

$$\delta_k = \varphi_n \sum_1^m \frac{\Delta X_n}{\varepsilon_n^{k_n-1}} - \sum_1^m \frac{\Delta X_n}{\varepsilon_n^{k_{1,4}-1}};$$

$$\delta_w = \sum_1^m \Delta X_{w_n} - \sum_1^m \frac{\Delta X_{w_n}}{\varepsilon_n^{k_n-1}},$$

здесь $\varepsilon_n, \varepsilon_o$ - степень сжатия текущая и в ВМТ; k - показатель адиабаты; ΔX_n и ΔX_{w_n} - соответственно доли выделившейся и отведенной теплоты; φ_n - коэффициент, учитывающий переменность показателя k_n .

Численным исследованием определена чувствительность модели сажевыделения к изменению функций $\xi_e(\varphi), x(\varphi), \sigma(\varphi)$, при этом получено снижение текущей концентрации сажи в цилиндре при увеличении степени использования заряда цилиндра вплоть до $\xi_e(\varphi)=1$, при увеличении количества топлива, выгоревшего в первой фазе (относительная скорость сгорания аппроксимировалась двухэкспоненциальной зависимостью), при уменьшении промежутка времени между функциями $\sigma(\varphi)$ и $x(\varphi)$ искусственным смещением функции $\sigma(\varphi)$. Проведенные расчеты показали важность взаимной увязки функций $\xi_e(\varphi), x(\varphi), \sigma(\varphi)$ и точность задания положения $\sigma(\varphi)$ при использовании модели результирующего сажевыделения.

На рисунке 1 приведены расчетные зависимости параметров рабочего процесса, сажевыделения и использования теплоты в цикле от эффективности использования воздушного заряда цилиндра, чем более однородная смесь образуется в процессе горения (при $\xi_{eo} \rightarrow 1$), тем интенсивнее сгорание в цилиндре, раньше процесс выгорания сажи по скорости начинает опережать процесс ее образования; максимальная концентрация сажи C_{max} снижается более чем на 20 %, а концентрация на выхлопе C_r - на 20...40 %. Одновременно увеличивается динамика цикла, выражающаяся в росте жесткости $(dP/d\varphi)_{max}$ и давления P_{max} . На рисунке 1 показано изменение индикаторного КПД η_i цикла, коэффициентов неиспользования теплоты вследствие несвоевременности выгорания сажи δ_{HC}^{CK} и топлива δ_{HC} , радиационного теплообмена δ_{wp} , коэффициента использования теплоты выгорающей сажи $\eta_i^{CK} = \delta_i^{CK} / x_c$ в зависимости

СНИЖЕНИЕ САЖЕВЫДЕЛЕНИЯ И РАСХОДА ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ ПРИСАДКОЙ ГАЗА И ВОДЫ К ТОПЛИВУ

от величины $\xi_{\text{во}}$. Снижается количество теплоты выгорающей сажи x_c при увеличении КПД ее использования $\eta_i^{\text{сж}}$ и примерно постоянном значении КПД η_i^{MC} ввода теплоты x_{MC} . Изменение величины δ_{HC} достигает 60 % от общего увеличения η_i , а величина $\delta_{\text{HC}}^{\text{сж}}$ может составлять более 70 % в δ_{HC} . С возрастанием $\xi_{\text{во}}$ увеличение КПД η_i связано как с ростом $\eta_i^{\text{сж}}$, так и с уменьшением x_c на величину Δx_c , на которую автоматически возрастает x_{MC} , вводимая в цикл с большей скоростью при меньшей продолжительности, а соответ-

венно и с большим КПД ($\eta_i^{\text{MC}}=0,51$). При увеличении $\xi_{\text{во}}$ все коэффициенты неиспользования теплоты уменьшаются примерно пропорционально снижению x_c , однако, коэффициенты потерь от несвоевременности выгорания сажи $\delta_{\text{HC}}^{\text{сж}}$ и радиационного теплообмена $\delta_{\text{впр}}^{\text{сж}}$, уменьшаются примерно в 4 раза. Снижение суммы этих двух коэффициентов $\delta_{\text{HC}}^{\text{сж}}$ и $\delta_{\text{впр}}^{\text{сж}}$ составляет почти 40 % в общем уменьшении неиспользования теплоты выгорающей сажи $\Sigma \delta^{\text{сж}}$.

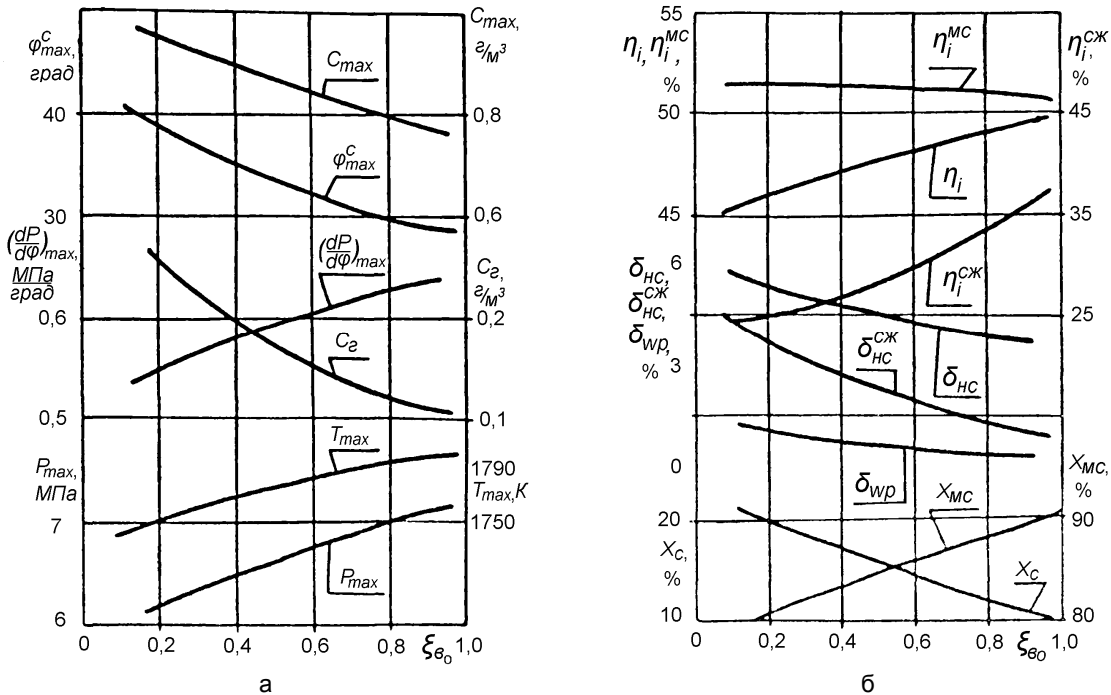


Рис. 1. Зависимость параметров сажевыделения, рабочего процесса от эффективности использования воздушного заряда цилиндра

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТОПЛИВНОЙ АППАРАТУРЫ

Для улучшения распределения топлива по окислителю разработана опытная система питания, защищенная авторским свидетельством и патентом [5, 6], позволяющая уменьшить вероятность образования переобогащенных топливом зон воздействием на структуру топливного факела за счет впрыска газо-топливной смеси или водо-топливной эмульсии.

Основным элементом системы топливоподачи является форсунка (рисунок 2). Форсунка имеет магистраль подачи присадки 1, содержащую обратный клапан 2, смесительно-диспергирующую камеру 3 с винтовой вставкой, и магистраль подачи топлива 5, 6.

В конце впрыска после разгрузки ЛВД присадка, имея давление большее, чем остаточное давление дизельного топлива в трубопроводе, поступает через клапан 2 в смесительно-диспергирующую камеру 3, где образуется смесь присадки с топливом. Состав смеси регулируется изменением давления в магистрали присадки. При очередном впрыске смесь топлива с присадкой через сопловые отверстия поступит в цилиндр дизеля. «Взрывное» выделение газа (или «микровзрывы» и «микроструи» ВТЭ) улучшит диспергирование топлива и распределение его по окислителю.

Результаты расчетно-экспериментального исследования опытной топливной системы изложены в работе [7]. Найдены зависимости расхода присадки от частоты вращения ку-

лачкового вала n , давления присадки $P_{пр}$, разгрузочного объема клапана V_p , давления начала подъема иглы форсунки P_o , нагрузочного режима двигателя. Показано, что с увеличением $P_{пр}$, V_p , $P_{пр}/P_o$ концентрация присадки в смеси возрастает, т.е., изменяя указанные параметры, можно оперативно управлять составом смеси. Проведены варианты расчеты для различных диаметров сопловых отверстий d_c и плунжера d_l .

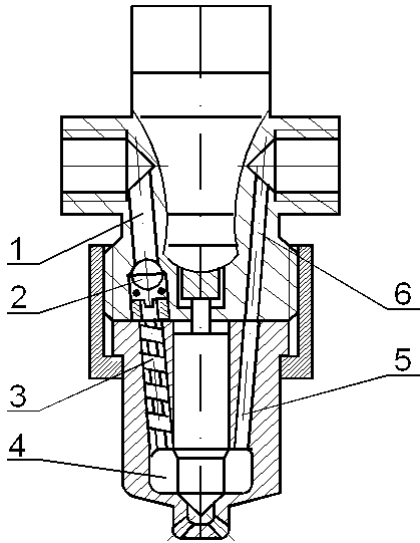


Рис. 2. Схема опытной форсунки

Для изучения динамики развития топливного факела с присадкой использован метод кинорегистрации, и создана экспериментальная установка на базе скоростной кинокамеры СКС-1М с частотой съемки 4000 кадр/с. С увеличением концентрации газообразной присадки ε (воздуха) в топливе уменьшается дальность факела L и увеличивается его ширина B . Объем топливного факела V_ϕ возрастает на величину объема присадки газа $V_{пр}$ при соблюдении условия $P_{пр}/P_o \leq 0,7$ (рисунок 3). Качественная картина топливного факела с присадкой газа к топливу изменяется: контур факела приобретает каплевидность; не наблюдается заострения при его вершине, значительно увеличивается угол раскрытия факела (\sim в 5 раз), можно предположить увеличение поперечного переноса в струе, разрушение переобогащенной топливом сердцевины струи из-за «взрывного» расширения газовой фазы на срезе сопла. Все это свидетельствует о возможности организации более качественного смесеобразования.

Для исследования особенности скорости массопереноса потока распыленного топлива с присадкой газа разработан «временнóй» метод [8], основанный на регистрации оптической плотности импульсного дисперсного потока, проходящего через заданные оптические сечения.

Дополнительное диспергирование топливной струи присадкой газа (рисунок 4) приводит к уменьшению массы центральной зоны факела, разрушению «сердцевины», содержащей более крупные капли, движущиеся с высокими скоростями ($2/3 \dots 1$) V_{max} , и увеличению второй, периферийной зоны, состоящей из более мелких капель, имеющих меньшие скорости (менее $1/3 V_{max}$). Фронтальная переобогащенная зона уменьшится по причине снижения скорости и движущейся массы «сердцевины», подпитывающей ее.

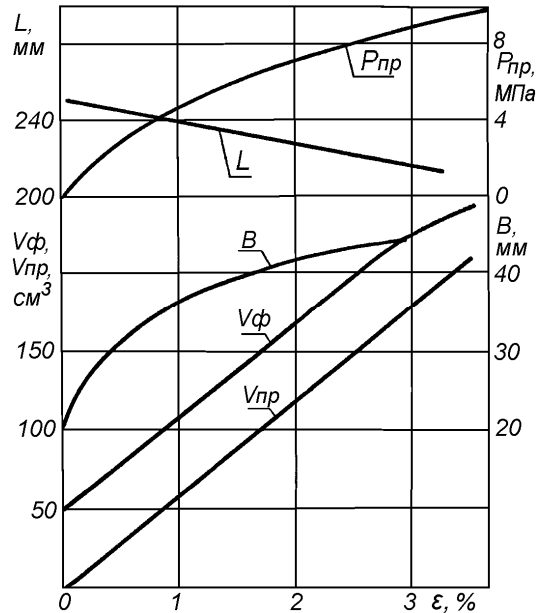


Рис. 3. Зависимость параметров факела от ε

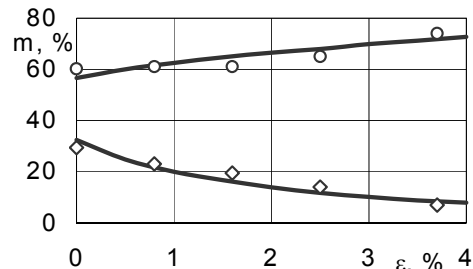


Рис. 4. Влияние газообразной присадки на распределение массы частиц в топливном факеле между его «сердцевинной» ($V > 2/3 V_{max}$) и остальной частью ($V < 1/3 V_{max}$): \diamond - $m_{серд}$; o - m_ϕ

СНИЖЕНИЕ САЖЕВЫДЕЛЕНИЯ И РАСХОДА ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ ПРИСАДКОЙ ГАЗА И ВОДЫ К ТОПЛИВУ

Предполагается, что в результате одновременного увеличения продолжительности впрыскивания и объема топливного факела, уменьшения массы частиц топлива в переобогащенной центральной части, двигающихся с высокими скоростями, подпитывающих фронтальную часть факела, имеет место прямо противоположное воздействие этих факторов на индикаторный КПД цикла, отсюда вероятно наличие максимального значения индикаторного КПД при оптимальной концентрации присадки к топливу.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОЧЕГО ПРОЦЕССА ДИЗЕЛЯ С ОПЫТНОЙ ФОРСУНКОЙ

Получено оптимальное значение концентрации воздуха в топливе $\varepsilon \approx 3\%$ в широком диапазоне работы двигателя из условия максимальной экономичности (рисунок 5). Определены оптимальные регулировки по углу начала впрыска. Путем замены присадки воздуха присадкой азота к топливу показано преимущественное "физическое" воздейст-

вие присадки на внутрицилиндровые процессы дизеля.

В случае с присадкой воды оптимальной для номинального режима является концентрация $\zeta \approx 25-30\%$. В диапазоне $\zeta < 25\%$ значительную роль играют положительные факторы: лучшее распыливание топлива, подвод теплоты в районе ВМТ, снижение температуры и др. При $\zeta > 25\%$ начинают сказываться отрицательные факторы: нежелательный отвод теплоты, изменение состава РТ (появление трехатомных газов) и др. С увеличением доли ζ присадки наблюдается рост тепловыделения в первой фазе с одновременным смещением угла достижения его максимума к ВМТ. Положение второго максимума практически не меняется. Отмечен рост задержки воспламенения топлива и смещение момента начала воспламенения в сторону ВМТ (на $4,5^\circ$ п.к.в.). Управление расходом присадки путем изменения давления в магистрали присадки, а, следовательно, и начального давления впрыска автоматически компенсирует увеличение задержки воспламенения φ .

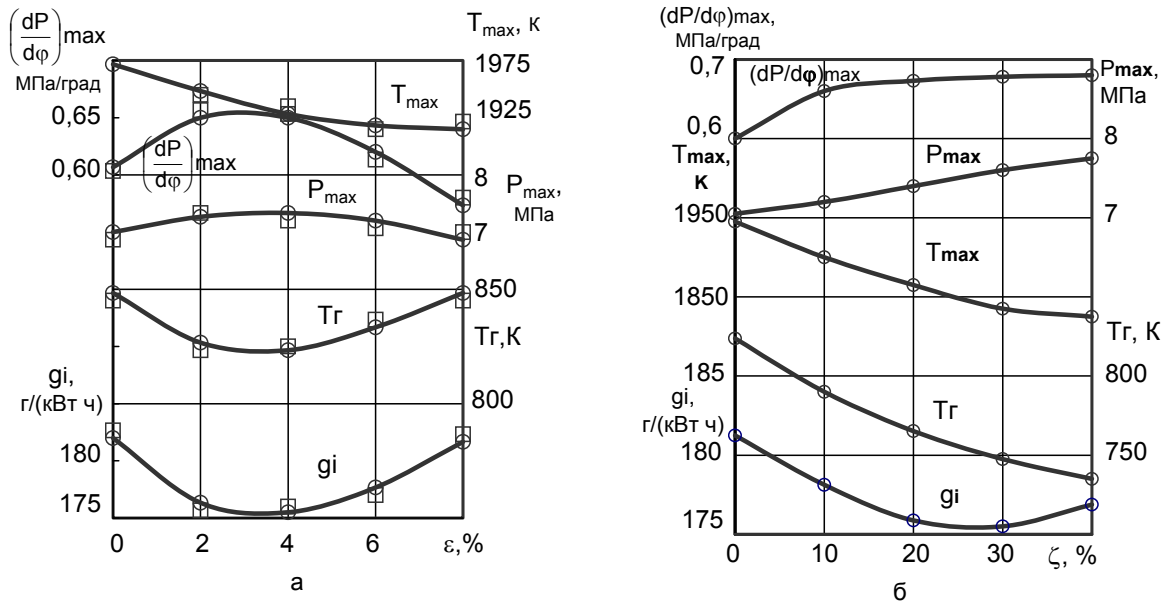


Рис. 5. Влияние концентрации присадки на показатели рабочего процесса дизеля 1С113/14 при $n=1750 \text{ мин}^{-1}$, $P_f=0,88 \text{ МПа}$: а) присадка о – воздуха; □ - азота; б) присадка воды

В обоих случаях наблюдается рост жесткости процесса при оптимальном содержании присадки.

Исследования показали, что присадка воздуха в топливо $\varepsilon \approx 3\%$ для режимов работы с частотой вращения вала $n = 1300 \dots 1900 \text{ мин}^{-1}$ и нагрузкой $P_f=0,5 \dots 1,6 \text{ МПа}$ (рисунок 6) приводит к уменьшению расхода топлива на 4...5 %, выбросов сажи с ОГ на 30...40 % и окислов азота на 20...25 %. При этом увели-

чивается динамика цикла, выражающаяся в росте $(\frac{dP}{d\varphi})_{max}$ и P_{max} , из-за большего количества топлива, выгоревшего в первой фазе. Максимальная температура цикла T_{max} становится ниже, как следствие уменьшения цикловой подачи топлива, обеднения смеси и снижения теплоты ее сгорания.

При использовании присадки воды (рисунок 7) достигнуто снижение удельного индикаторного расхода топлива до 5 %, выбро-

сов сажи с ОГ на 30...45 % и окислов азота на 30 % при некотором увеличении жесткости работы дизеля (до 5 %). Прослеживается возможность дальнейшего форсирования двигателя по нагрузке без ухудшения показателей экономичности и токсичности. Получен

оптимальный расход присадки воды, подаваемой опытной ТА, по нагрузочной характеристике. На малых нагрузках целесообразна работа на чистом дизельном топливе, а далее с увеличением нагрузки необходим рост расхода присадки воды примерно до 30 %.

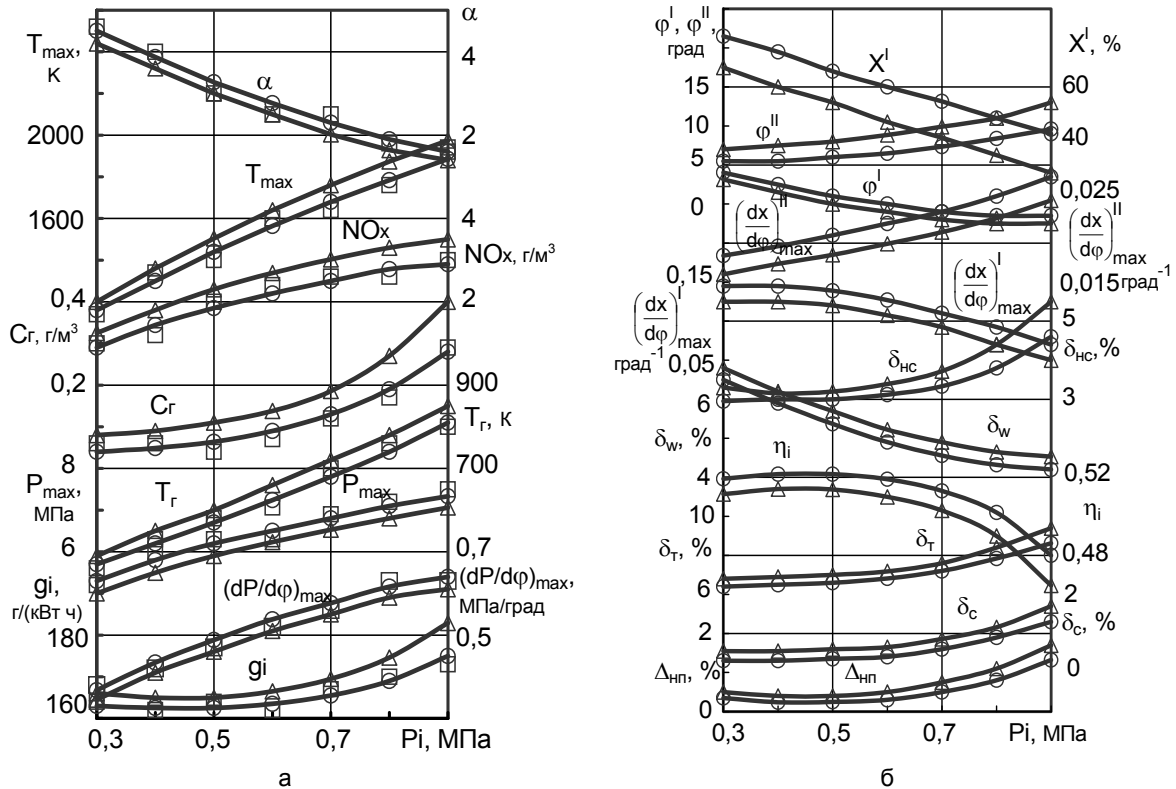


Рис. 6. Зависимость параметров рабочего процесса тепловыделения и составляющих баланса теплоты от нагрузки дизеля 1С13/14 при $n=1750 \text{ мин}^{-1}$: Δ - штатный вариант; \circ – с присадкой воздуха $\varepsilon_{N2} \approx 3 \%$; \square - азота $\varepsilon_{N2} \approx 3 \%$

Анализом индикаторного КПД выявлено, что использование присадки воздуха и воды к топливу приводит к сокращению продолжительности сгорания, увеличению его полноты, уменьшению конвективного и радиационного теплообмена, что определяет снижение коэффициентов неиспользования теплоты в цикле вследствие несвоевременности $\delta_{нс}$ и неполноты $\Delta_{нп}$ сгорания, теплообмена δ_w , изменения температуры δ_t РТ. Наиболее существенно уменьшается несвоевременность сгорания $\delta_{нс}$ вследствие снижения сажевыделения и несвоевременности выгорания сажи в цилиндре, что в значительной мере предопределяет рост индикаторного КПД.

Однако в случае с присадкой воды (рисунки 7а, б) наблюдается рост коэффициентов δ_w исп+нагр и δ_c , суммарное изменение которых и коэффициентов $\delta_{нс}$ и $\Delta_{нп}$ будет определять

направление изменения индикаторного КПД и соответственно оптимальную концентрацию присадки.

Исследовано влияние присадки к топливу на характеристики сажевыделения и радиационного теплообмена (рисунок 8). Присадка воздуха и воды приводит к дополнительному диспергированию топлива, ускорению процесса смесеобразования, меньшей вероятности образования зон, переобогащенных топливом, сокращению времени пребывания топлива в высокотемпературной зоне, что служит предпосылкой для уменьшения количества образовавшейся сажи в цилиндре и ускорению выгорания последней. При наличии избытка воды следует учитывать снижение скорости химических процессов образования сажи вследствие уменьшения температуры процесса и эффекта водородного торможения (эффект Лангмюра) и

СНИЖЕНИЕ САЖЕВЫДЕЛЕНИЯ И РАСХОДА ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ ПРИСАДКОЙ ГАЗА И ВОДЫ К ТОПЛИВУ

увеличение скорости выгорания вследствие повышения относительной роли реакций «мокрой» газификации углерода. Характер изменения \bar{C} хорошо согласуется с резуль-

татами исследования работы дизеля на ВТЭ О.Н.Лебедевым и С.А.Батуриным [1, 9].

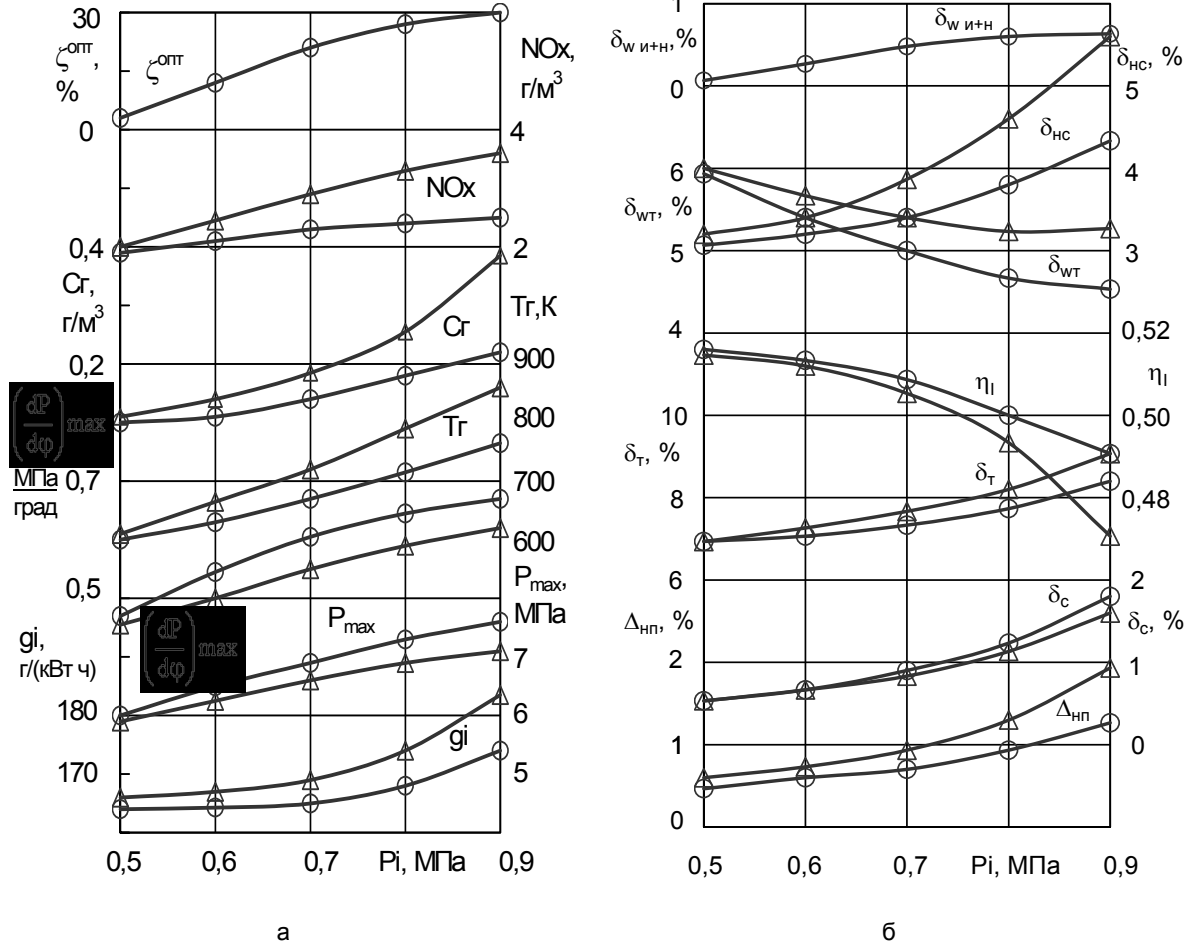


Рис. 7. Зависимость параметров рабочего процесса тепловыделения и составляющих баланса теплоты от нагрузки дизеля 1С13/14 при $n=1750 \text{ мин}^{-1}$: Δ - штатный вариант; \circ - с присадкой воды ζ_{opt}

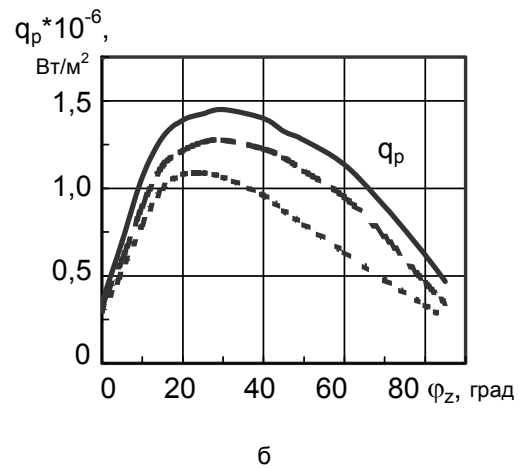
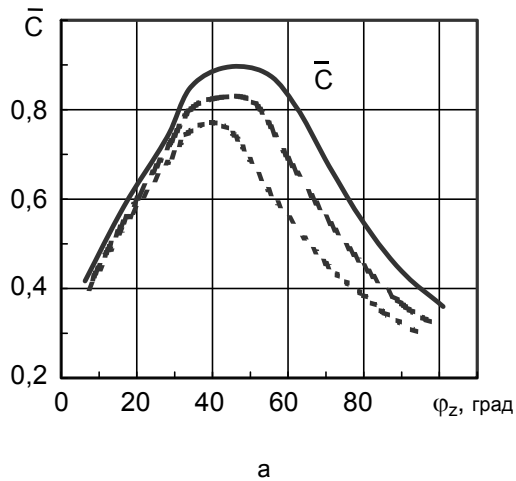


Рис. 8. Относительная концентрация сажи и излучательные характеристики сажистого пламени в цилиндре дизеля 1С13/14 при $n=1750 \text{ мин}^{-1}$ и $P_1=0,68 \text{ МПа}$: — штатный вариант; с присадкой — — — воздуха $\varepsilon \approx 3 \%$, - - - воды $\zeta = 25 \%$

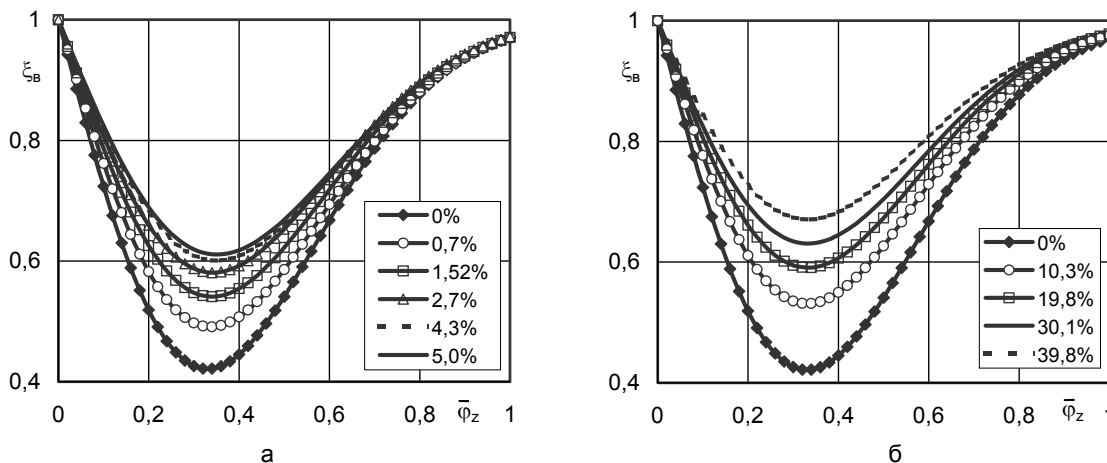


Рис. 9. Влияние концентрации присадки к топливу на эффективность использования воздушного заряда цилиндра: а) присадка воздуха (ε); б) присадка воды (ζ)

Прямым следствием процесса результирующего сажевыделения в дизелях является интенсивное тепловое излучение в цилиндре, которое вносит значительный вклад в формирование радиационной составляющей теплообмена X_{wp} и тепловой нагрузки деталей цилиндропоршневой группы. В случае использования присадок наблюдается снижение как максимального значения радиационного теплового потока q_p , а также его продолжительности действия, что должно уменьшить тепловую нагрузку на детали КС и снизить потери теплоты через теплообмен (рисунок 8б).

Снижаются все составляющие неиспользования теплоты, но наиболее значительно уменьшаются коэффициенты, связанные с несвоевременностью подвода теплоты $\delta_{нс}^{сж}$ и радиационным теплообменом $\delta_{wp}^{сж}$. Таким образом, в опытных вариантах через выгорание сажи подводится меньшее количество теплоты, но с большей эффективностью.

Исследованиями подтверждено влияние присадки к топливу на эффективность использования воздушного заряда цилиндра ξ_B .

На рисунке 9 показано изменение степени эффективного использования воздушного в топливо, полученное обработкой экспериментального материала с использованием выражения (4) [2]:

$$\xi_{\varepsilon} = \frac{dx/d\varphi}{A\alpha(\sigma - x)}, \quad (4)$$

где σ , $dx/d\varphi$, x - характеристики подачи и выгорания топлива; A - постоянный для данного режима коэффициент; α - средний коэффициент избытка воздуха.

Из рисунка 9 видно, что чем больше концентрация присадки, т.е. чем лучше качество смесеобразования, тем больше минимальная величина эффективного использования воздушного заряда $\xi_{B \min}$. Характер протекания кривых $\xi_{\varepsilon} = f(\varphi_z)$ при использовании присадок к топливу практически не изменился. Наблюдается лишь несколько более позднее достижение точки минимума на кривой $\xi_{\varepsilon} = f(\varphi_z)$.

При оптимальной концентрации присадки минимальное значение ξ_{B0} возрастает более чем на 30 %.

ВЫВОДЫ

1. Показано, что резервы повышения индикаторного КПД дизеля необходимо искать в интенсификации процессов смесеобразования и сгорания, позволяющей достичь уменьшения неоднородности в распределении топлива по окислителю, тем самым снизить результирующее сажевыделение в цилиндре. Вскрыт механизм влияния эффективности использования воздушного заряда

СНИЖЕНИЕ САЖЕВЫДЕЛЕНИЯ И РАСХОДА ТОПЛИВА В ДИЗЕЛЕ ПРИСАДКОЙ ГАЗА И ВОДЫ К ТОПЛИВУ

на результирующее сажевыделение в цилиндре дизеля; установлено существование потенциальной возможности увеличения индикаторного КПД на 6...8 % за счет снижения всех составляющих неиспользования теплоты в цикле и, главным образом, за счет уменьшения несвоевременности и неполноты выгорания сажи и радиационной теплоотдачи.

2. Разработана и исследована опытная система топливоподачи, позволяющая повысить эффективность использования воздушного заряда присадкой газа или воды к топливу. Предложен алгоритм управления концентрацией присадки. Присадка приводит к увеличению угла раскрытия факела и его объема, уменьшению массы частиц топлива, двигающихся с высокими скоростями в переобогащенной «сердцевине», соответственно за счет дополнительного диспергирования его расширяющимся газом или за счет явления «микровзрывов» и «микроструй». В результате одновременного увеличения производительности впрыскивания и объема топливного факела, а также дополнительного диспергирования топлива с одновременным уменьшением скорости частиц топлива, существует максимальное значение индикаторного КПД.

3. Экспериментальными исследованиями дизеля с опытной системой питания зафиксировано снижение расхода топлива, содержания сажи и окислов азота соответственно на 4...5 %, 25...45 % и 20...30 % при некотором увеличении жесткости работы дизеля (до 5 %), снижение текущей концентрации сажи в цилиндре дизеля в среднем на 10...15 % и, как следствие, уменьшение мгновенных радиационных тепловых потоков в среднем на 15...20 % при оптимальной концентрации присадки. Подтверждена определяющая роль уменьшения сажевыделения в цикле в увеличении его экономичности (до 50 % от увеличения η_i), выражающаяся в

снижении комплекса коэффициентов $\delta_{нс}^{сж}$, $\delta_{нп}^{сж}$, $\delta_{вр}^{сж}$ неиспользования теплоты выгорающей сажи до 1,5 раз, свидетельствующая об уменьшении вероятности образования переобогащенных топливом зон.

ЛИТЕРАТУРА

1. Батурин С.А. Физические основы и математическое моделирование процессов результирующего сажевыделения и теплового излучения в дизелях: автореф. дис. ... докт. техн. наук / С.А. Батурин; ЛПИ. – Л., 1982. – 44 с.
2. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях / Н.Ф. Разлейцев. - Харьков: Вища школа, 1980. - 169 с.
3. Матиевский Д.Д. Метод анализа индикаторного КПД рабочего цикла двигателя // Двигателестроение. – 1984. - № 6. - С.7-11.
4. Участие сажи в рабочем цикле дизеля и индикаторный КПД / Д.Д. Матиевский, В.И.Дудкин, С.А.Батурин // Двигателестроение. – 1983. - №3. - С. 54-56.
5. А.с. 1087681 СССР, МКИ³ F 02 M 25/10. Система питания двигателя внутреннего сгорания / А.Е. Свистула, Д.Д. Матиевский (СССР). - № 3556791/25-06; заявл. 28.02.83; опубл. 1984, Бюл. № 15.
6. Патент на полезную модель 42073 Российская Федерация, МПК⁷ F 02 M 25/022. Система питания дизеля. / Свистула А.Е., Матиевский Д.Д., Калужный Е.М., Тактак А. (РФ) - № 2004121938/22; заявл. 19.07.2004; опубл. 20.11.04, Бюл. №32.
7. Свистула А.Е. Гидродинамический расчет топливной системы дизеля с учетом ввода присадки в линию высокого давления // Ползуновский вестник. – 2006. - №4. - С.171-178.
8. Экспериментальное исследование характеристик топливных струй дизельных форсунок / А.Е. Свистула, Д.Д. Матиевский, П.Ю. Гуляев, А.В. Еськов // Двигателестроение. – 1999. - №1. - С. 29-31.
9. Лебедев О.Н. К вопросу о механизме сжигания водо-топливных эмульсий в судовых дизелях / О.Н. Лебедев, В.П. Носов// Сборник тр./ НИИВТ. - Новосибирск, 1980. - Вып. 151. - С. 33-38.