

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА В ДИЗЕЛЕ

Д.Д. Матиевский, А.Е. Свистула

В цилиндре дизеля в результате струйного смесеобразования образуется крайне неоднородный состав смеси, а диффузионное сгорание неоднородной смеси всегда сопровождается интенсивным сажевыделением. Основная причина этого явления заключается в реальном существовании локальных физических условий для протекания реакций высокотемпературного пиролиза углеводородов топлива. Т.е. воздушный заряд цилиндра используется неэффективно.

В настоящей работе приводятся результаты численного исследования влияния степени эффективного использования заряда на внутрицилиндровые процессы и показатели цикла дизеля.

Для проведения математического прогнозирования влияния переменности состава топливно-воздушной смеси в зоне горения на сажевыделение, параметры рабочего цикла и индикаторный КПД цикла дизеля надо задать следующие функции: изменение состава топливно-воздушной смеси в зоне горения $\alpha_r = \psi(\varphi)$; характеристику тепловыделения $\chi = f(\varphi)$.

Более того, так как сажевыделение является функцией $\chi(\varphi)$ и состава смеси в зоне горения (коэффициента избытка воздуха в зоне горения $\alpha_r(\varphi)$), то необходимо установление в отдельности степени влияния на сажевыделение зависимости $\chi(\varphi)$ и $\alpha_r(\varphi)$. Кроме познавательного значения это позволяет дать ответ на вопрос о необходимости взаимовязки функций $\chi(\varphi)$ и $\alpha_r(\varphi)$.

Из существующих методик учета состава топливно-воздушной смеси в зоне горения наибольший интерес представляет методика Н.Ф.Разлейцева, доведенная до численного решения, отличающаяся простотой и позволяющая учесть зависимость коэффициента выгорания $\chi(\varphi)$ от коэффициента $\alpha_r(\varphi)$ или введенного понятия степени использования воздушного заряда [1].

СОСТАВ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ И ЕГО СВЯЗЬ С ХАРАКТЕРИСТИКОЙ ТЕПЛОВЫДЕЛЕНИЯ

Состав топливно-воздушной смеси в зоне горения характеризуется коэффициентом избытка воздуха в этой зоне $\alpha_r(\varphi)$, который определяется по выражению:

$$\alpha_r(\varphi) = \alpha \xi_b / \chi. \quad (1)$$

Здесь величина ξ_b однозначно устанавливает связь между значением коэффициента избытка воздуха в зоне горения $\alpha_r(\varphi)$ и характеристикой выгорания топлива $\chi(\varphi)$ и отражает степень эффективного использования воздушного заряда цилиндра.

Установлено [1], что функция $\xi_b = f(\bar{\Phi}_z)$ зависит лишь от класса двигателя, типа смесеобразования, интенсивности вихревого движения заряда в цилиндре и практически не зависит от режима работы двигателя и его регулировок, другими словами, зависит от способа и качества организации смесеобразования.

Функция $\xi_b = f(\bar{\Phi}_z)$ в соответствии с [1] удовлетворительно аппроксимируется зависимостью:

$$\xi_b = 1 - C_b h (\bar{\Phi}_z)^2 / (\pi)^{1/2} \exp(-h^2 \bar{\Phi}_z^2). \quad (2)$$

Второе слагаемое правой части этого уравнения имеет вид, аналогичный первой производной от функции нормального закона распределения ошибок. В (2) обозначено: $h = 0,707 / \bar{\Phi}_{z0}$, $C_b = (1 - \xi_{b0}) / 0,485$.

Зависимость (2) будет однозначно определена, если заданы координаты ее минимума. Для дизелей с объемным и объемно-пленочным смесеобразованием в [1] рекомендуется $\bar{\Phi}_{z0} = 0,33$, для двигателей с цилиндрической камерой сгорания типа ЯМЗ - $\xi_{b0} = 0,45-0,55$, для дизелей средней и большой быстроходности с открытой камерой сгорания типа Гессельман - $\xi_{b0} = 0,40-0,45$, для двигателей с камерой сгорания типа ЦНИДИ - $\xi_{b0} = V_k / V_c$.

Задавая координаты минимума степени эффективного использования воздушного заряда ξ_{b0} , $\bar{\Phi}_{z0}$ в (2), можно по уравнению (1) описать изменение состава топливно-воздушной смеси в зоне горения α_r при известной характеристике выгорания топлива $\chi(\varphi)$.

Далее установим непосредственную связь между степенью эффективного использования воздушного заряда цилиндра и характеристикой тепловыделения, исключив неизвестный коэффициент α_r . Для этого воспользуемся обобщенным кинетическим урав-

нением процесса диффузионного горения в дизелях [1]:

$$dx/d\varphi = A \alpha_r (\sigma - x), \quad (3)$$

где $dx/d\varphi$ - дифференциальная и интегральная характеристики тепловыделения;

σ - характеристика подачи топлива;

A - постоянный для данного режима коэффициент подбирается так, чтобы при условии $\bar{\varphi}_z = 0,95$ было достигнуто $x = 0,95$.

Решая (3) совместно с (1) относительно x , получим линейное дифференциальное уравнение первого порядка

$$x'(\varphi) + x(\varphi) \xi_{\sigma}(\varphi) \alpha A - \xi_{\sigma}(\varphi) \sigma(\varphi) \alpha A = 0. \quad (4)$$

Уравнение (4) интегрируется численным методом Эйлера. Таким образом, задавая изменение величины минимума эффективно-го использования заряда в цилиндре $\xi_{\sigma 0}$, можно описать поле кривых тепловыделения $x=f(\varphi)$ при известной характеристике ввода топлива $\sigma(\varphi)$.

СВЯЗЬ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕПЛОТЫ В ЦИКЛЕ С ПРОЦЕССАМИ ОБРАЗОВАНИЯ И ВЫГОРАНИЯ САЖИ В ЦИЛИНДРЕ

Несгоревшая в цилиндре дизеля сажа представляет собой так называемый механический недожог топлива и входит составной частью в понятие теплоты сгорания. В то же время, как показали расчеты, основная масса сажи выгорает на линии расширения, т.е. сажа сгорает несвоевременно, отчего выделяющаяся теплота используется малоэффективно, с низким КПД. Одновременно, в результате высокой излучательной способности сажи значительно возрастают потери энергии в виде лучистой теплоты. Кроме этого, некоторая доля теплоты, выделившейся при сгорании сажи, отводится и конвективным путем.

Таким образом, как было показано в работе [4], можно предположить, что участие сажи в рабочем цикле оказывает влияние на индикаторный КПД через неполноту и несвоевременность сгорания, радиационный и конвективный теплообмен.

Разработка физико-математической модели, учитывающей все многообразное влияние сажевыделения на экономичность двигателя, представляет весьма сложную задачу, как по причине известных трудностей в описании таких процессов, как сажевыделение, радиационный и конвективный теплообмен, так и из-за отсутствия на сегодняшний день моделей, устанавливающих связь между сажевыделением и тепловыделением.

Для оценки влияния сажи на формирование индикаторного КПД η_i цикла воспользуемся методикой [2, 4]. Комплексный анализ влияния сажи на η_i оценим через изменение всех статей неиспользования теплоты в цикле согласно уравнению:

$$\delta_i^{сж} = \chi_{\text{выг}}^{сж} - (\delta_{\sigma}^{сж} + \delta_{\text{нс}}^{сж} + \delta_{\text{к}}^{сж} + \delta_{\text{wp}}^{сж} + \delta_{\text{wk}}^{сж} + \delta_{\text{нп}}^{сж}), \quad (5)$$

где $\delta_i^{сж}$ - коэффициент использования теплоты, выделенной в результате выгорания сажи частиц;

$\chi_{\text{выг}}^{сж}$ - доля теплоты, выделившейся в цикле при выгорании сажи;

Коэффициенты неиспользования теплоты: $\delta_{\sigma}^{сж}$ - в эталонном цикле, $\delta_{\text{нс}}^{сж}$ - вследствие несвоевременности подвода теплоты, $\delta_{\text{к}}^{сж}$ - вследствие изменения теплоемкости рабочего тела, $\delta_{\text{wp}}^{сж}$ - вследствие наличия радиационного теплообмена от излучения сажи-стых частиц, $\delta_{\text{wk}}^{сж}$ - вследствие наличия конвективного теплообмена, $\delta_{\text{нп}}^{сж}$ - вследствие неполноты сгорания сажи.

Наибольшее значение в негативном влиянии на индикаторный КПД сажа оказывает через несвоевременность сгорания - коэффициент $\delta_{\text{нс}}^{сж}$. Учитывая отмеченные обстоятельства, в рамках данной работы ограничимся проведением прогноза влияния сажи на экономичность цикла только через изменение несвоевременности выгорания сажи $\delta_{\text{нс}}^{сж}$, неполноты $\delta_{\text{нп}}^{сж}$ и радиационного теплообмена $\delta_{\text{w}}^{\text{p}}$, имея в виду, что не учет конвективной составляющей теплообмена от выгорания сажи приведет к некоторому занижению полученной количественной оценки влияния сажи на индикаторный КПД рабочего цикла.

Для расчета $\delta_{\text{нп}}^{сж}$ достаточно знать зависимость коэффициента выделения теплоты от выгорания сажи $\chi_{\text{выг}}^{сж}$, который просто определить по известной характеристике выгорания сажи $C_{\text{выг}} = f(\varphi)$ и теплоты сгорания сажи $H^{сж}$:

$$\chi_{\text{выг}}^{сж} = \frac{C_{\text{выг}} \cdot H^{сж}}{g_m \cdot H_u} \quad (6)$$

Зная зависимость $\chi_{\text{выг}}^{сж}$, можно подсчитать текущее и полное (на момент НМТ) значение коэффициента несвоевременности выгорания сажи по формуле

$$\delta_{\text{нс}}^{сж} = \sum \frac{\Delta \chi_{\text{выг}}^{сж}}{\varepsilon_m^{k_{1,4}-1}} - \sum \frac{\Delta \chi_{\text{выг}}^{сж}}{\varepsilon_0^{k_{1,4}-1}}, \quad (7)$$

где ε_m и ε_0 - текущая и геометрическая степень сжатия;

$k_{1,4}$ - показатель адиабаты, равный 1,4.

Для подсчета несвоевременности выделения всей теплоты $\delta_{\text{нс}}$ в формуле (7) вместо $\Delta \chi_{\text{выг}}^{сж}$ необходимо подставить изменение

коэффициента выделения теплоты от сгорания топлива $\Delta\chi$ на рассматриваемом участке. Коэффициент неполноты сгорания подсчитывается по выражению

$$\chi_{\text{нп}}^{\text{сж}} = \frac{C_{\text{вых}} \cdot H^{\text{сж}}}{g_{\text{м}} \cdot H_{\text{у}}} \quad (8)$$

Текущее и полное значение коэффициента неиспользования теплоты от радиационного теплообмена подсчитывается по выражению

$$\delta_{\text{w}}^{\text{p}} = \chi_{\text{w}}^{\text{p}} - \sum \frac{\Delta\chi_{\text{w}}^{\text{p}}}{\varepsilon_{\text{м}}^{k_{\text{n}}-1}} \quad (9)$$

Здесь $\chi_{\text{w}}^{\text{p}}$ – доля теплоты по отношению ко всей теплоте, выделившейся с топливом, переданная в стенки радиацией; k_{n} – текущий показатель адиабаты; коэффициент $\chi_{\text{w}}^{\text{p}}$ определяется моделированием радиационного теплообмена [3], а показатель k_{n} подсчитывается как функция состава и температуры рабочего тела при моделировании рабочего процесса.

Определенный интерес представляет накопление данных по эффективности использования теплоты выгоревшей сажи, которая может быть найдена по формуле

$$\delta_{\text{i}}^{\text{сж}} = \frac{\delta_{\text{i}}}{\chi_{\text{выг}}^{\text{сж}}}, \quad (10)$$

где $\chi_{\text{выг}}^{\text{сж}}$ – доля теплоты, выделившейся в цикле при выгорании сажи;

δ_{i} – полезное использование теплоты выгоревшей сажи.

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ СОДЕРЖАНИЯ САЖИ В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЯ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ ВЫГОРАНИЯ

Далее проанализируем результаты исследования содержания сажи в цилиндре дизеля при поочередном варьировании характеристиками $\xi_{\text{в}}(\varphi)$ и $\chi(\varphi)$, а также при измене-

нии положения кривой подвода топлива $\sigma(\varphi)$. Исследования проводились на математической модели процесса результирующего сажевыделения [3], модели расчета рабочего цикла, дополненной методикой анализа индикаторного КПД с учетом влияния на η_{i} сажевыделения [4].

При определении чувствительности модели к изменению функций $\xi_{\text{в}}(\varphi)$ и $\chi(\varphi)$ характеристика выгорания топлива задавалась по уравнению:

$$x = x_{\text{i}} [1 - \exp(-6,908 (\varphi/\varphi_{\text{z}}^{\text{I,II}})^{m+1})] + x_{\text{II}} [1 - \exp(-6,908 (\varphi/\varphi_{\text{z}}^{\text{II}})^{m+1})]. \quad (11)$$

Принятые коэффициенты x_{i} , x_{II} , $\varphi_{\text{z}}^{\text{I,II}}$ и $m_{\text{i,II}}$, получены аппроксимацией реальной кривой тепловыделения, рассматриваемой как сумма двух слагаемых

$$x = x_{\text{мс}} + x_{\text{с}}. \quad (12)$$

Величина $x_{\text{с}}$ характеризует теплоту выгорания сажи, а $x_{\text{мс}} = x - x_{\text{с}}$ – всю остальную теплоту. Подсчет коэффициентов x_{i} , x_{II} , $\varphi_{\text{z}}^{\text{I,II}}$ и $m_{\text{i,II}}$ производился по зависимостям $x_{\text{с}}(\varphi)$ и $x_{\text{мс}}(\varphi)$ после проведения их нормировки с использованием методики И.И.Вибе.

На рис. 1 приведены кривые изменения содержания сажи в цилиндре при различной степени эффективного использования воздушного заряда, другими словами, при различном составе топливно-воздушной смеси в зоне сгорания. Здесь же приведена кривая выгорания топлива $\chi(\varphi)$, заданная вышеупомянутой зависимостью (11) с $x_{\text{i}} = 0,83$ и $x_{\text{II}} = 0,17$, и относительная кривая выгорания сажистых частиц $x_{\text{с}}(\varphi)$.

Характер протекания кривой $\xi_{\text{в}}(\varphi)$ определяется координатами ее минимума $\overline{\varphi}_{\text{z0}} = 0,33$ и $\xi_{\text{в0}} = 0,2...0,8$.

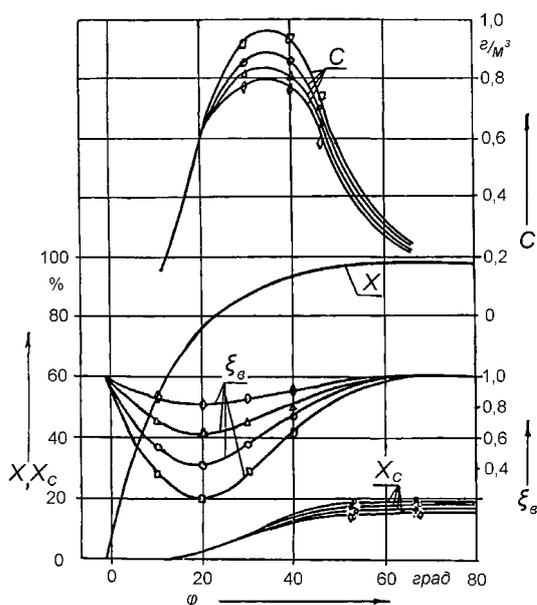


Рис. 1. Влияние величины $\xi_{в}$ на содержание сажи в цилиндре дизеля: \square - $\xi_{в0} = 0,2$; \circ - $\xi_{в0} = 0,4$; Δ - $\xi_{в0} = 0,6$; \blacklozenge - $\xi_{в0} = 0,8$; $X_I=0,83$; $X_{II}=0,17$; $\varphi_z^I=52^\circ$; $\varphi_z^{II}=75^\circ$; $m_I=0,3$; $m_{II}=2$

Как видно из рис. 1, характер изменения величины C по углу поворота коленчатого вала при расчете с различными $\xi_{в0}$ - одинаков. При увеличении степени использования воздушного заряда ($\xi_{в0}$ возрастает от 0,2 до 0,8) наблюдается уменьшение максимального сажесодержания в цилиндре на $0,15 \text{ г/м}^3$. Это объясняется уменьшением скорости образования сажистых частиц на отдельных стадиях процесса, описанного выше. Угол достижения максимального значения величины C остается практически неизменным и лежит в районе 35° пкв после ВМТ. Кривые сажесодержания C на линии расширения лежат близко друг с другом, т.е. содержание сажи на выхлопе изменяется незначительно. Относительное количество теплоты, выделившейся от выгорания сажи x_c , составляет 15-20 % от общего количества теплоты, введенного с топливом, причем с уменьшением величины $\xi_{в0}$ замечен рост значения x_c в указанных пределах. Значительное количество сажи выгорает в районе $25-50^\circ$ пкв.

На рис. 2 показано влияние характеристики выгорания топлива на характер протекания кривой содержания сажи в цилиндре. Из графиков следует, чем больше топлива выгорает в первой фазе, тем меньше образуется сажи в цилиндре, и тем быстрее она выгорает.

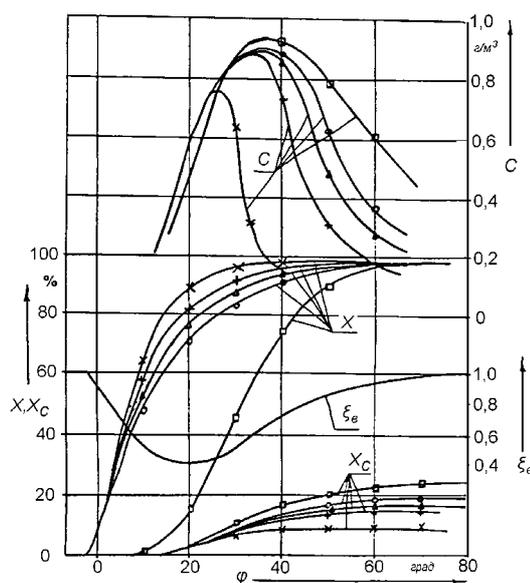


Рис. 2. Влияние характеристики выгорания топлива на процесс сажевыделения в дизеле: \times - $X_I=1,0$; $X_{II}=0$; \circ - $X_I=0,9$; $X_{II}=0,1$; Δ - $X_I=0,83$; $X_{II}=0,17$; \square - $X_I=0,75$; $X_{II}=0,25$; \blacklozenge - $X_I=0$; $X_{II}=1,0$; $\xi_{в0}=0,4$

Вначале процесс образования сажи идет одинаково во всех случаях, но затем, чем круче протекает кривая тепловыделения, тем раньше процесс выгорания сажи начинает превалировать над процессом ее образования, что определяет величину и положение максимума содержания сажи в цилиндре. Интенсивное выгорание всего топлива в первой фазе характеризуется небольшим по величине и кратким по времени сажесодержанием. Напротив, позднее выгорание всего топлива во второй фазе приводит к значительному содержанию сажи даже на линии расширения. При этом концентрация сажи на выхлопе, в первом и втором случае, составляет соответственно $0,04 \text{ г/м}^3$ и $0,35 \text{ г/м}^3$. Количество теплоты, выделившейся от выгорания сажи, составляет 9-25 % от общего количества подведенной теплоты.

Необходимо отметить, что, чем раньше выгорает топливо, введенное в цилиндр, тем меньше сажесодержание в цикле и на выхлопе и меньше величина x_c .

Кроме отмеченных выше положительных моментов, влияющих на снижение сажесодержания при увеличении доли теплоты x_1 , следует обратить внимание на сокращение промежутка времени между функциями $\sigma(\varphi)$ и $x(\varphi)$ с увеличением x_1 , определяющим длительность процесса образования сажи.

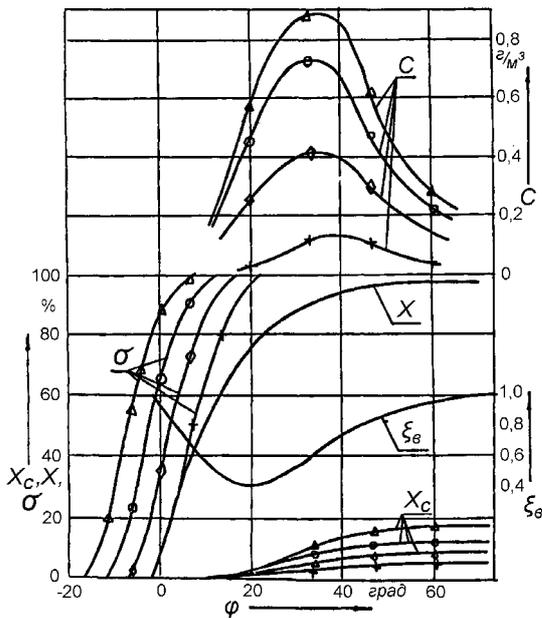


Рис. 3. Влияние положения функции $\sigma(\varphi)$ на характер сажевыделения в цилиндре: Δ - $\varphi_3=15^\circ$; \circ - $\varphi_3=10^\circ$; \blacklozenge - $\varphi_3=5^\circ$; $+$ - $\varphi_3=0$; $X_I=0,83$; $X_{II}=0,17$; $\xi_{Bo}=0,4$

В проведенных расчетах этот промежуток времени также менялся искусственным смещением функции $\sigma(\varphi)$ по оси φ . Результаты расчета представлены на рисунке 3, где величина φ_3 определяет период времени между моментом начала ввода топлива и моментом начала его выгорания. Сближение по времени процессов подвода топлива и его выгорания приводит к значительному снижению сажесодержания в цилиндре. Так, при изменении φ_3 от 15° до 0° максимальная концентрация сажи в цилиндре C_{max} уменьшается с $0,89 \text{ г/м}^3$ до $0,14 \text{ г/м}^3$, концентрация сажи на выхлопе C_r , падает с $0,18 \text{ г/м}^3$ до $0,01 \text{ г/м}^3$, количество теплоты, выделившейся от выгорания сажи x_c , уменьшается с 17% до 4%, причем сажа выгорает по времени ближе к ВМТ, а значит более эффективно.

Отсюда необходимо подчеркнуть важность правильности задания момента начала подачи топлива и всей характеристики $\sigma=f(\varphi)$ при проведении расчета сажеобразования, а, следовательно, и оценки его влияния на η_i .

Исследования показали существенное влияние на $C(\varphi)$ функций $\xi_b(\varphi)$ и $x(\varphi)$, а поэтому при расчете сажевыделения для набора функций $\xi_b(\varphi)$ необходимо подбирать и соответствующий закон выгорания. Физически это тоже представляется верным, так как, чем лучше смесь топлива с окислителем подготовлена к сгоранию, тем интенсивнее про-

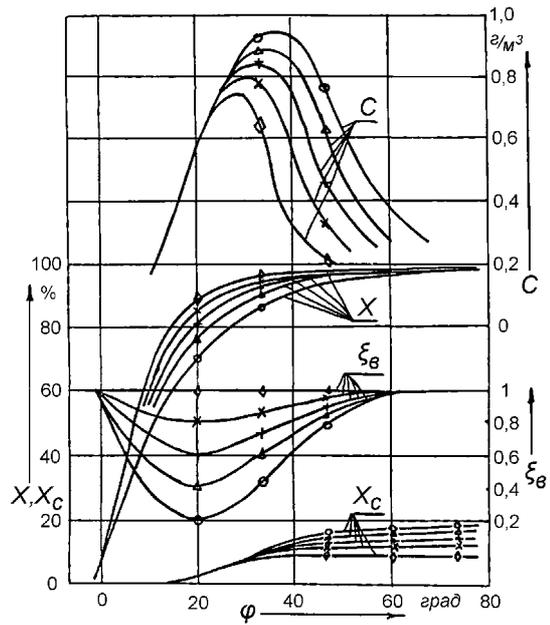


Рис. 4. Влияние функции $\xi_b(\varphi)$ на характеристики выгорания топлива и содержание сажи: \blacklozenge - $\xi_{Bo}=1,0$; \times - $\xi_{Bo}=0,8$; $+$ - $\xi_{Bo}=0,6$; Δ - $\xi_{Bo}=0,4$; \circ - $\xi_{Bo}=0,2$

ходит этот процесс. Другими словами, физически правильно будет учитывать влияние текущего соотношения концентраций топлива и окислителя на характер выгорания топлива и влияние обоих названных факторов на процесс образования и выгорания сажи. Этому полностью удовлетворяет полученное уравнение (4), которое устанавливает связь между степенью использования воздушного заряда (характеризует относительные концентрации топлива и окислителя в зоне горения) и характеристиками подвода $\sigma(\varphi)$ и выгорания $x(\varphi)$ топлива.

На рис. 4 приведена зависимость содержания сажи в цилиндре от эффективности использования воздушного заряда с учетом влияния последней на характеристику выгорания топлива. Из рисунка видно что, чем более однородная смесь образуется в процессе горения, тем круче протекает кривая $x=f(\varphi)$, тем меньше содержание сажи в цилиндре, тем раньше процесс выгорания сажи по скорости начинает опережать процесс ее образования. При $\xi_b = 1$, что возможно только теоретически, содержание сажи в цилиндре минимально. Количество теплоты, выделившееся при выгорании сажи, составляет при $\xi_{Bo} = 0,2-1$ соответственно $x_c = 9-19\%$ от теплоты, подведенной с топливом, причем меньшей величине ξ_b соответствует большее значение x_c .

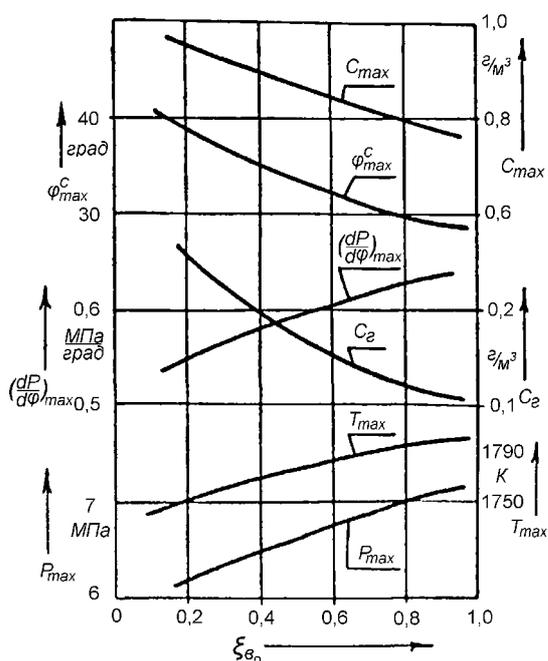


Рис. 5. Зависимость параметров рабочего процесса, сажевыделения от эффективности использования воздушного заряда цилиндра

На рисунке 5 показано изменение содержания сажи на выхлопе c_r , максимального содержания сажи в цилиндре C_{max} и момента его достижения в зависимости от величины $\xi_{во}$. Минимальные значения C_r и C_{max} достигаются при теоретически возможном оптимальном соотношении топлива и окислителя на протяжении всего процесса выгорания топлива.

При увеличении значения $\xi_{во}$ угол достижения C_{max} сдвигается в сторону ВМТ, возрастают параметры $(dp/d\phi)_{max}$ и p_{max} , характеризующие жесткость процесса, увеличивается максимальная температура цикла T_{max} (рис. 5).

Представляет определенный интерес связь характера сажевыделения в цилиндре и индикаторного КПД цикла. Как отмечалось выше и в [4], основная масса сажи сгорает на линии расширения и при этом имеет большую излучательную способность, т.е. имеет значительные потери теплоты вследствие несвоевременности сгорания и радиационного теплообмена. На рисунке 6 показано изменение индикаторного КПД η_i , названных составляющих неиспользования теплоты $\delta_{нс}^{сж}$, $\delta_{нс}$, $\delta_{вл}^{сж}$, коэффициентов использования теплоты выгорающей сажи x_c и остальной тепло-

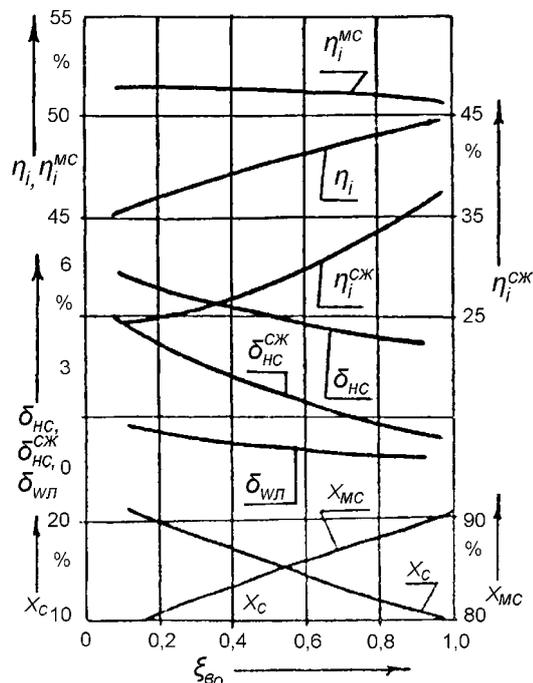


Рис. 6. Зависимость параметров тепловыделения, эффективности использования теплоты в цикле, индикаторного КПД от эффективности использования воздушного заряда цилиндра

ты $x_{мс}$, подсчитываемых по формулам:

$$\eta_i = \delta_i^{сж} / x_c, \quad \eta_i^{MC} = \delta_i^{MC} / x_{мс}, \quad (13)$$

представляющих отношение полезно используемой теплоты к подведенной в результате развития соответствующего процесса в зависимости от степени эффективности использования воздушного заряда цилиндра. Из рисунка 6 видно, что с увеличением подвода теплоты через выгорание сажи x_c (при снижении величины $\xi_{во}$), индикаторный кпд η_i уменьшается, а неиспользование теплоты вследствие несвоевременности $\delta_{нс}$ значительно возрастает, причем изменение величины $\delta_{нс}$ достигает 60 % от общего уменьшения η_i . С увеличением x_c возрастает доля неиспользования теплоты, связанная с несвоевременностью выгорания сажи $\delta_{нс}^{сж}$, в общем значении $\delta_{нс}$, и, уже при x_c равном 0,20, $\delta_{нс}^{сж}$ составляет более 70 % от $\delta_{нс}$. Доля неиспользования теплоты вследствие радиационного теплообмена $\delta_{вл}^{сж}$ также резко возрастает при увеличении x_c . С возрастанием $\xi_{во}$ при улучшении качества процесса увеличение КПД η_i связано как с ростом $\eta_i^{сж}$, так и с уменьшением x_c на величину Δx_c , на которую автоматически возрастает $x_{мс}$, вводимая в цикл с большей скоростью при меньшей про-

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА В ДИЗЕЛЕ

должительности, а соответственно и с большим КПД ($\eta_i^{MC} = 0,51$).

Ниже в таблице 1 приведены результаты полной раскладки потерь теплоты, связанные с наличием и выгоранием сажистых частиц в цилиндре дизеля для $\xi_{BO} = 0,4$ и теоретически возможного рабочего процесса с $\xi_{BO} = 1$.

Из таблицы видно, что при увеличении ξ_{BO} все коэффициенты неиспользования теп-

лоты уменьшаются примерно пропорционально снижению x_c , однако, коэффициенты потерь от несвоевременности выгорания сажи $\delta_{HC}^{CЖ}$ и радиационного теплообмена $\delta_{WP}^{CЖ}$, уменьшаются примерно в 4 раза. В общей сложности неиспользование теплоты равно $12,7-5,84 = 6,86 \%$, а снижение суммы $\Delta\delta_{HC}^{CЖ} + \Delta\delta_{WP}^{CЖ} = 2,5\%$, что составляет почти 40 %.

Таблица 1

	$x_c, \%$	$\delta_a^{CЖ}, \%$	$\delta_{HC}^{CЖ}, \%$	$\delta_K^{CЖ}, \%$	$\delta_{WP}^{CЖ}, \%$	$\delta_{WK}^{CЖ}, \%$	$\delta_{HP}^{CЖ}, \%$	$\Sigma\delta^{CЖ}, \%$	$\delta_i^{CЖ}, \%$	$\eta_i^{CЖ}, \%$
$\xi_{BO} = 0,4$	17,3	5,6	2,6	2,3	0,8	0,8	0,6	12,7	4,6	0,27
$\xi_{BO} = 1$	9,4	3,0	0,7	1,24	0,2	0,4	0,3	5,84	3,56	0,38

ВЫВОДЫ

1. При проведении математического моделирования влияния степени использования воздушного заряда цилиндра на процесс сажевыделения необходимо задавать взаимосвязанное изменение функций $x(\varphi)$, $\xi_{B}(\varphi)$ и $\sigma(\varphi)$, в противном случае анализ будет неполным и неточным.

2. Показано, что при увеличении степени использования воздушного заряда цилиндра (рост коэффициента ξ_{BO} с 0,2 до 1), максимальное содержание сажи в цикле C_{max} снижается более чем на 20 %, а на выхлопе C_r - на 30-40 %.

3. Количество теплоты, выделившейся от выгорания сажи x_c , достигает величины 25 %, зависит от качества организации рабочего процесса и уменьшается до 9 % с увеличением коэффициента ξ_{BO} ; КПД использования теплоты выгорания сажи изменяется в диапазоне $\eta_i^{CЖ} = 0,25...0,40$, возрастает с увеличением коэффициента ξ_{BO} и уменьшением теплоты выгорания сажи.

4. Анализом индикаторного КПД вскрыты причины его изменения и установлено существование потенциальной возможности его

увеличения на 6...8 % за счет снижения всех составляющих неиспользования теплоты в цикле и главным образом за счет уменьшения несвоевременности выгорания сажи $\delta_{HC}^{CЖ}$ и потерь от радиационного теплообмена $\delta_{WP}^{CЖ}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. - Харьков: Виша школа, 1980. - 169 с.
2. Матиевский Д.Д. Анализ экономичности использования тепла в расчетном цикле ДВС // Изв. вузов. Машиностроение. - 1981. - N 8. - С. 71 - 74.
3. Батурин С.А. Физические основы и математическое моделирование процессов результирующего сажевыделения и теплового излучения в дизелях. Дисс. докт. техн. наук. - Л., 1982. -357 с.
4. Матиевский Д.Д., Дудкин В.И., Батурин С.А. Участие сажи в рабочем цикле дизеля и индикаторный КПД. - Двигателестроение, 1983.№3.- С. 54-56.
5. Матиевский Д.Д. Метод анализа индикаторного КПД рабочего цикла двигателя// Двигателестроение. - 1984. - №8. - С.7-11.