

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ СОСТАВА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ НА САЖЕВЫДЕЛЕНИЕ, ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И ИНДИКАТОРНЫЙ КПД ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ

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.

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 $x = f(\varphi)$.

Более того, так как сажевыделение является функцией $x(\varphi)$ 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 $x(\varphi)$ и $\alpha_r(\varphi)$. Кроме познавательного значения это позволяет дать ответ на вопрос о необходимости взаимоувязки функций $x(\varphi)$ 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 $x(\varphi)$ 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:

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

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

Установлено [1], что функция $\xi_b = f(\bar{\varphi}_z)$ 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 $\xi_b = f(\bar{\varphi}_z)$ в соответствии с [1] удовлетворительно аппроксимируется зависимостью:

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

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

Зависимость (2) будет однозначно определена, если заданы координаты ее минимума. Для дизелей с объемным и объемно-плочным смесеобразованием в [1] рекомендуется $\bar{\varphi}_{z0} = 0,33$, 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} , $\bar{\varphi}_{z0}$ в (2), можно по уравнению (1)

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ СОСТАВА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ НА САЖЕВЫДЕЛЕНИЕ, ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И ИНДИКАТОРНЫЙ КПД ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ

описать изменение состава топливно-воздушной смеси в зоне горения α_r при известной характеристике выгорания топлива $x(\varphi)$.

Далее установим непосредственную связь между степенью эффективного использования воздушного заряда цилиндра и характеристикой тепловыделения, исключив неизвестный коэффициент α_r . Для этого воспользуемся обобщенным кинетическим уравнением процесса диффузионного горения в дизелях [1]:

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

где $dx/d\varphi$, x - 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

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

Уравнение (4) интегрируется численным методом Эйлера. Таким образом, задавая изменение величины минимума эффективного использования заряда в цилиндре $\xi_{\text{во}}$, 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 выделившаяся 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

$$\delta_i^{\text{СЖ}} = \chi_{\text{выг}}^{\text{СЖ}} - (\delta_{\text{э}}^{\text{СЖ}} + \delta_{\text{нс}}^{\text{СЖ}} + \delta_{\text{к}}^{\text{СЖ}} + \delta_{\text{вр}}^{\text{СЖ}} + \delta_{\text{вк}}^{\text{СЖ}} + \delta_{\text{нп}}^{\text{СЖ}}), \quad (5)$$

где $\delta_i^{\text{СЖ}}$ - коэффициент использования теплоты, выделенной в результате выгорания сажистых частиц;

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

Коэффициенты неиспользования теплоты: $\delta_{\text{э}}^{\text{СЖ}}$ - в эталонном цикле, $\delta_{\text{нс}}^{\text{СЖ}}$ - вследствие несвоевременности подвода теплоты, $\delta_{\text{к}}^{\text{СЖ}}$ - вследствие изменения теплоемкости рабочего тела, $\delta_{\text{вр}}^{\text{СЖ}}$ - вследствие наличия радиационного теплообмена от излучения сажистых частиц, $\delta_{\text{вк}}^{\text{СЖ}}$ - вследствие наличия конвективного теплообмена, $\delta_{\text{нп}}^{\text{СЖ}}$ - вследствие неполноты сгорания сажи.

Наибольшее значение в негативном влиянии на индикаторный КПД сажа оказывает через несвоевременность сгорания - коэффициент $\delta_{\text{нс}}^{\text{СЖ}}$. Учитывая отмеченные обстоятельства, в рамках данной работы ограничимся проведением прогноза влияния сажи на экономичность цикла только через изменение несвоевременности выгорания сажи $\delta_{\text{нс}}^{\text{СЖ}}$, неполноты $\delta_{\text{нп}}^{\text{СЖ}}$ и радиационного теплообмена $\delta_{\text{вк}}^{\text{СЖ}}$, 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 $\delta_{\text{нп}}^{\text{СЖ}}$ достаточно знать зависимость коэффициента выделения теплоты от выгорания сажи $\chi_{\text{выг}}^{\text{СЖ}}$, который просто определить по известной характеристике выгорания сажи $C_{\text{выг}} = f(\varphi)$ и теплоты сгорания сажи $H^{\text{СЖ}}$.

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

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

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

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 $\Delta \chi_{\text{выг}}^{\text{СЖ}}$ необходимо подставить изменение коэффициента выделения теплоты от сгорания топлива $\Delta \chi$ на рассматриваемом участке. Коэффициент неполноты сгорания подсчитывается по выражению

$$\chi_{\text{нп}}^{\text{СЖ}} = \frac{C_{\text{выг}} \cdot H^{\text{СЖ}}}{g_m \cdot H_u} \quad (8)$$

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

$$\delta_w^p = \chi_w^p - \sum \frac{\Delta \chi_w^p}{\varepsilon_m^{k_n-1}} \quad (9)$$

Здесь: χ_w^p – доля теплоты по отношению ко всей теплоте, выделившейся с топливом, переданная в стенки радиацией; k_n – текущий показатель адиабаты; коэффициент χ_w^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

$$\delta_i^{\text{СЖ}} = \frac{\delta_i}{\chi_{\text{выг}}^{\text{СЖ}}}, \quad (10)$$

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 $x(\varphi)$, а также при изменении 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 $x(\varphi)$ характеристика выгорания топлива задавалась по уравнению

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

Принятые коэффициенты x_I , x_{II} , $\varphi_z^{I,II}$ и $m_{I,II}$, получены аппроксимацией реальной кривой тепловыделения, рассматриваемой как сумма двух слагаемых

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

Величина x_c характеризует теплоту выгорания сажи, а $x_{\text{мс}} = x - x_c$ – всю остальную теплоту. Подсчет коэффициентов x_I , x_{II} , $\varphi_z^{I,II}$ и $m_{I,II}$ производился по зависимостям $x_c(\varphi)$ 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 $x(\varphi)$, заданная вышеупомянутой зависимостью (11) с $x_I = 0,83$ и $x_{II} = 0,17$, и относительная кривая выгорания сажистых частиц $x_c(\varphi)$.

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

Как видно из рис. 1, характер изменения величины C по углу поворота коленчатого вала при расчете с различными $\xi_{\text{в}0}$ – одинаков. При увеличении степени использования воздушного заряда ($\xi_{\text{в}0}$

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ СОСТАВА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ НА САЖЕВЫДЕЛЕНИЕ, ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И ИНДИКАТОРНЫЙ КПД ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ

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 $\xi_{\text{вo}}$ замечен рост значения x_c в указанных пределах. Значительное количество сажи выгорает в районе $25-50^\circ$ пкв.

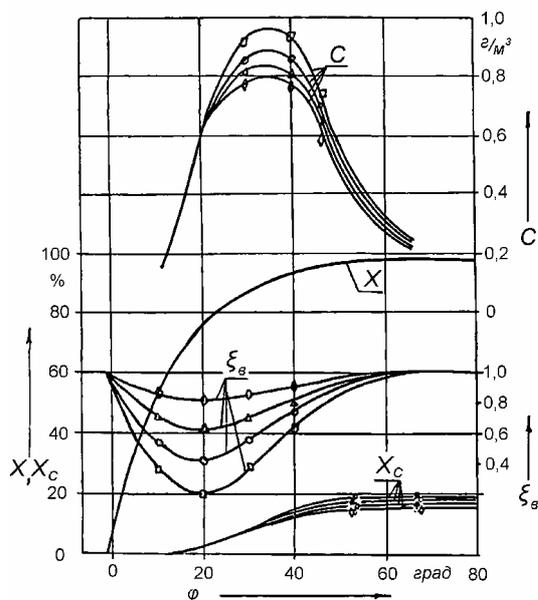


Рис. 1. Влияние величины $\xi_{\text{вo}}$ на содержание сажи в цилиндре дизеля:

□- $\xi_{\text{вo}} = 0,2$; ○- $\xi_{\text{вo}} = 0,4$; △- $\xi_{\text{вo}} = 0,6$; ◆- $\xi_{\text{вo}} = 0,8$;
 $X_I = 0,83$; $X_{II} = 0,17$; $\varphi_z^I = 52^\circ$; $\varphi_z^{II} = 75^\circ$; $m_I = 0,3$; $m_{II} = 2$.

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.

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 $0,35 \text{ г/м}^3$, т.е. получаются величины, различающиеся на порядок. Количество теплоты, выделившейся от выгорания сажи, составляет 9-25 % от общего количества подведенной теплоты.

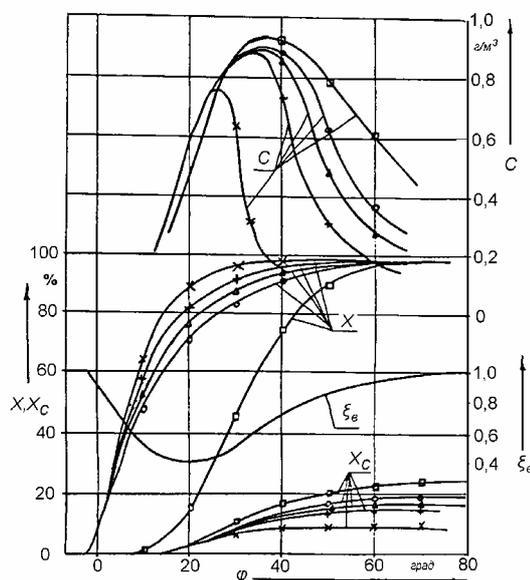


Рис. 2. Влияние характеристики выгорания топлива на процесс сажевыделения в дизеле:

×- $X_I = 1,0$; $X_{II} = 0$; + - $X_I = 0,9$; $X_{II} = 0,1$;
 △- $X_I = 0,83$; $X_{II} = 0,17$; ○- $X_I = 0,75$; $X_{II} = 0,25$;
 □- $X_I = 0$; $X_{II} = 1,0$; $\xi_{\text{вo}} = 0,4$.

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_I , есть еще один, на который следует обратить внимание. Это сокращение промежутка времени между функциями $\sigma(\varphi)$ и $x(\varphi)$ с увеличением x_I , определяющим длительность процесса образования сажи. В проведенных расчетах этот промежуток времени также менялся искусственным смещением функции $\sigma(\varphi)$ по оси φ .

Результаты расчета представлены на рис. 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 сажеобразования 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 выходе 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.

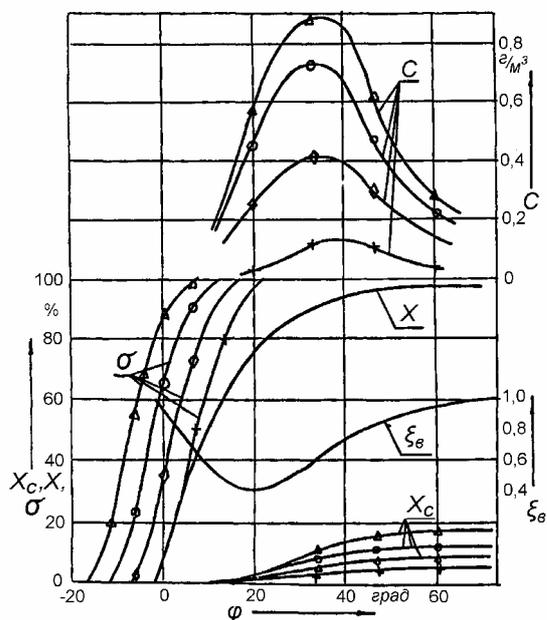


Рис. 3. Влияние положения функции $\sigma(\varphi)$ на характер сажевыделения в цилиндре:

Δ - $\varphi_3=15^\circ$; \circ - $\varphi_3=10^\circ$; \blacklozenge - $\varphi_3=5^\circ$; $+$ - $\varphi_3=0$; $X_1=0,83$; $X_{II}=0,17$; $\xi_{Bo}=0,4$.

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 проходит 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.

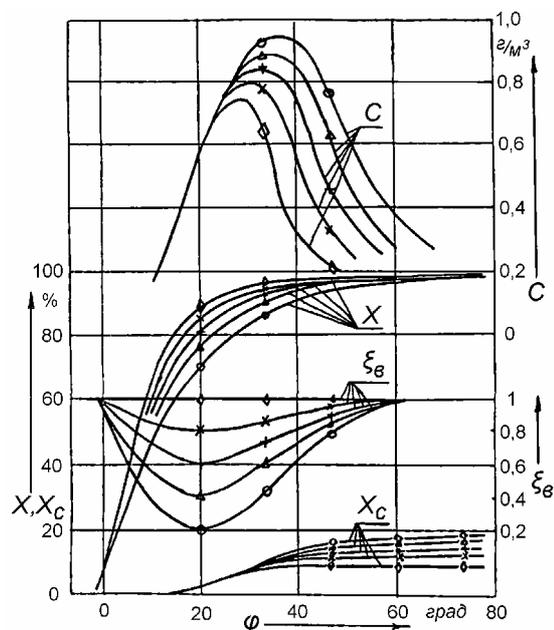


Рис. 4. Влияние функции $\xi_{B}(\varphi)$ на характеристики выгорания топлива и содержание сажи:

\blacklozenge - $\xi_{Bo}=1,0$; \times - $\xi_{Bo}=0,8$; $+$ - $\xi_{Bo}=0,6$; Δ - $\xi_{Bo}=0,4$; \circ - $\xi_{Bo}=0,2$.

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

ВЛИЯНИЕ ПЕРЕМЕННОСТИ СОСТАВА ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ЗОНЕ ГОРЕНИЯ НА САЖЕВЫДЕЛЕНИЕ, ПАРАМЕТРЫ РАБОЧЕГО ЦИКЛА И ИНДИКАТОРНЫЙ КПД ЦИКЛА ДИЗЕЛЯ

начинает опережать процесс ее образования. При $\xi_{в0} = 1$, что возможно только теоретически, содержание сажи в цилиндре минимально. Количество теплоты, выделившееся при выгорании сажи, составляет при $\xi_{в0} = 0,2-1$ соответственно $x_c = 9-19\%$ от теплоты, подведенной с топливом, причем меньшей величине $\xi_{в0}$ соответствует большее значение x_c . На рис. 5 показано изменение содержания сажи на выхлопе C_r , максимального содержания сажи в цилиндре C_{max} и момента его достижения в зависимости от величины $\xi_{в0}$. Минимальные значения C_r и C_{max} достигаются при теоретически возможном оптимальном соотношении топлива и окислителя на протяжении всего процесса выгорания топлива.

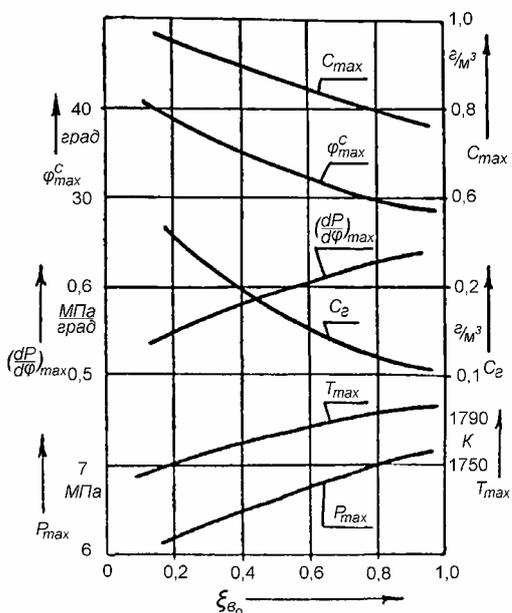


Рис. 5. Зависимость параметров рабочего процесса, сажевыделения от эффективности использования воздушного заряда цилиндра.

При увеличении значения $\xi_{в0}$ угол достижения C_{max} сдвигается в сторону ВМТ, возрастают параметры $(dp/d\varphi)_{max}$ 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 рис. 6

показано изменение индикаторного КПД η_i , названных составляющих неиспользования теплоты $\delta_{нс}^{сж}$, $\delta_{нс}$, $\delta_{впр}^{сж}$, коэффициентов использования теплоты выгорающей сажи x_c и остальной теплоты $x_{мс}$, 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 рис. 6 видно, что с увеличением подвода теплоты через выгорание сажи x_c (при снижении величины $\xi_{в0}$), индикаторный КПД η_i уменьшается, а неиспользование теплоты вследствие несвоевременности $\delta_{нс}$ значительно возрастает, причем изменение величины $\delta_{нс}$

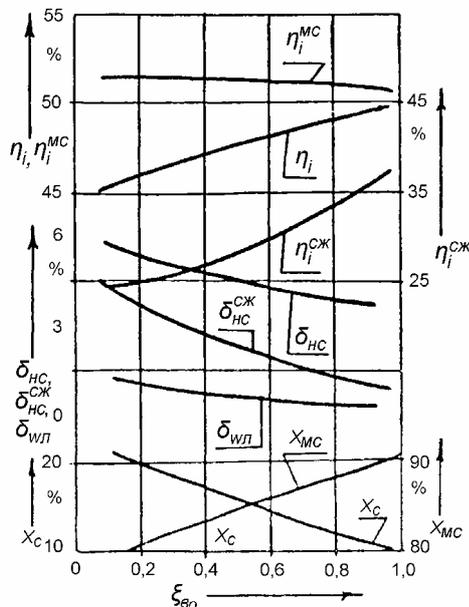


Рис. 6. Зависимость параметров тепловыделения, эффективности использования теплоты в цикле, индикаторного КПД от эффективности использования воздушного заряда цилиндра.

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 $\delta_{впр}^{сж}$ также резко возрастает при увеличении x_c . С возрастанием $\xi_{в0}$ 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_{mc} , вводимая в цикл с большей скоростью при меньшей продолжительности, а соответственно и с большим КПД ($\eta_i^{mc} = 0,51$).

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

Из таблицы видно, что при увеличении $\xi_{во}$ все коэффициенты неиспользования
Таблица 1

	x_c , %	$\delta_a^{сж}$, %	$\delta_{нс}^{сж}$, %	$\delta_k^{сж}$, %	$\delta_{wp}^{сж}$, %	$\delta_{wk}^{сж}$, %	$\delta_{нп}^{сж}$, %	$\Sigma\delta^{сж}$, %	$\delta_i^{сж}$, %	$\eta_i^{сж}$, %
$\xi_{во} = 0,4$	17,3	5,6	2,6	2,3	0,8	0,8	0,6	12,7	4,6	0,27
$\xi_{во} = 1$	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 $\xi_{во}$ 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 $\xi_{во}$; КПД использования теплоты выгорания сажи изменяется в диапазоне $\eta_i^{сж} = 0,25...0,40$, возрастает с увеличением коэффициента $\xi_{во}$ и уменьшением теплоты выгорания сажи.

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

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

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

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

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. - № 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.