

и СВЧ-плазмотроны // Низкотемпературная плазма. – Т. 6. – Новосибирск: Наука. Сиб. отд-ние, 1992. – 319 с. 4. Кроу. Численные модели течений газа с небольшим содержанием частиц // Теорет. основы инж. расчетов. – 1982. – № 32. – С. 114 – 122. 5.

Vandoormaal J.P., Raithby G.D. Enhancements of the SIMPLE Method for Predicting Incompressible Fluid Flows // Numer. Heat Transfer. – 1984. – No. 7. – P. 147 – 163.

УДК 621.436

Д.Д. Матиевский, канд. техн. наук, А.Е. Свистула д-р техн. наук

ВЛИЯНИЕ СТЕПЕНИ ЭФФЕКТИВНОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗДУШНОГО ЗАРЯДА ЦИЛИНДРА ДИЗЕЛЯ НА САЖЕВЫДЕЛЕНИЕ И ИНДИКАТОРНЫЙ КПД

Введение

В цилиндре дизеля в результате струйного смешения 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. Несгоревшая в цилиндре дизеля сажа представляет собой так называемый механический недожог топлива и входит составной частью в понятие теплоты сгорания. Основная масса сажи выгорает на линии расширения 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.

Методика исследования

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

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 ξ_v [1].

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

Здесь величина $\xi_v = f(\bar{\varphi}_z)$ однозначно устанавливает связь между значением коэффициента избытка воздуха в зоне горения $\alpha_r(\varphi)$ и характеристикой выгорания топлива $x(\varphi)$ и отражает степень эффек-

тивного использования воздушного заряда цилиндра.

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:

$$\delta_i^{сж} = \chi_{выг}^{сж} - (\delta_2^{сж} + \delta_{нс}^{сж} + \delta_k^{сж} + \delta_{вр}^{сж} + \delta_{вк}^{сж} + \delta_{нп}^{сж}), \quad (2)$$

где $\delta_i^{сж}$ – коэффициент использования теплоты, выделенной в результате выгорания сажистых частиц;
 $\chi_{выг}^{сж}$ – доля теплоты, выделившейся в цикле при выгорании сажи;

коэффициенты неиспользования теплоты:

$\delta_2^{сж}$ – в эталонном цикле,

$\delta_{нс}^{сж}$ – вследствие несвоевременности подвода теплоты,

$\delta_k^{сж}$ – вследствие изменения теплоемкости рабочего тела,

$\delta_{вр}^{сж}$ – вследствие наличия радиационного теплообмена от излучения сажистых частиц,

$\delta_{вк}^{сж}$ – вследствие наличия конвективного теплообмена,

$\delta_{нп}^{сж}$ – вследствие неполноты сгорания сажи.

Наибольшее значение в негативном влиянии на индикаторный КПД сажа оказывает через несвоевременность сгорания – коэффициент $\delta_{нс}^{сж}$. Учитывая отмеченные обстоятельства, в рамках данной работы ограничимся проведением прогноза влияния сажи на экономичность цикла только через изменение несвоевременности выгорания сажи $\delta_{нс}^{сж}$, неполноты $\delta_{нп}^{сж}$ и радиационного теплообмена $\delta_{вр}$, 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 $\delta_{нп}^{сж}$ достаточно знать зависимость коэффициента выделения теплоты от выгорания сажи $\chi_{выг}^{сж}$.

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

$$\eta_i^{сж} = \frac{\delta_i^{сж}}{\chi_{выг}^{сж}}, \quad (3)$$

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

$\delta_i^{сж}$ – полезное использование теплоты выгоревшей сажи.

2. Результаты прогнозирования содержания сажи в цилиндре дизеля и эффективности ее выгорания

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].

Характеристику тепловыделения будем рассматривать как сумму двух слагаемых

$$x = x_{мс} + x_c. \quad (4)$$

Величина x_c характеризует теплоту выгорания сажи, а $x_{мс} = x - x_c$ – всю остальную теплоту.

Характер протекания кривой $\xi_b(\varphi)$ определяется координатами ее минимума $\bar{\varphi}_{zo} = 0,33$ и $\xi_{bo} = 0,2...0,8$.

На рис. 1 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 $\xi_{\text{в}}$ соответствует большее значение x_c .

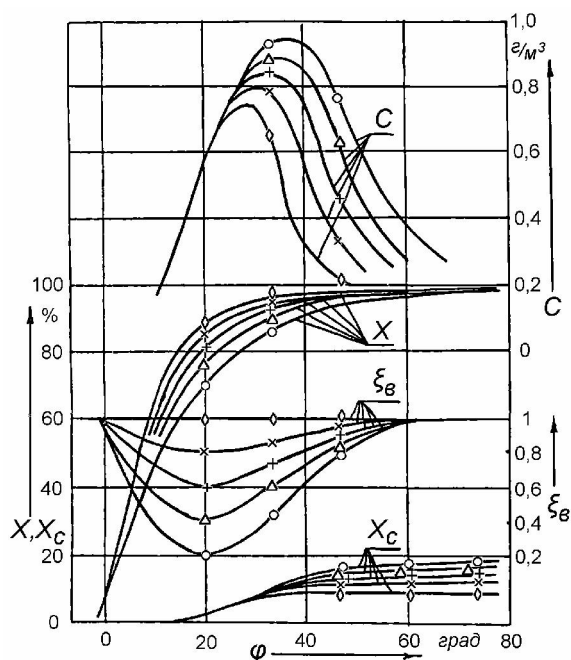


Рис. 1. Влияние функции $\xi_{\text{в}}(\varphi)$ на характеристики выгорания топлива и содержания сажи
 ◆ - $\xi_{\text{в}0}=1,0$; × - $\xi_{\text{в}0}=0,8$; + - $\xi_{\text{в}0}=0,6$; Δ - $\xi_{\text{в}0}=0,4$;
 ○ - $\xi_{\text{в}0}=0,2$.

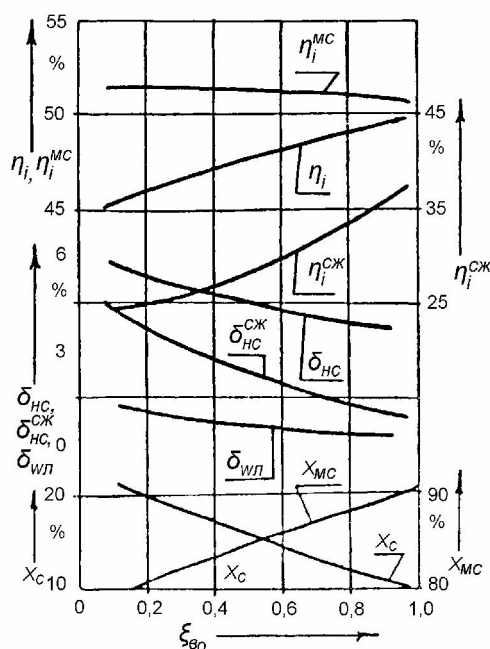


Рис. 2. Зависимость параметров тепловыделения, эффективности использования теплоты в цикле, индикаторного КПД от эффективности использования воздушного заряда цилиндра

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. 2 показано изменение индикаторного КПД η_i , названных составляющих неиспользования теплоты $\delta_{\text{НС}}^{\text{CЖ}}$, $\delta_{\text{НС}}$, $\delta_{\text{вп}}^{\text{CЖ}}$, коэффициентов использования теплоты выгорающей сажи x_c и остальной теплоты хмс., подсчитываемых по формулам:

$$\eta_i^{\text{CЖ}} = \delta_i^{\text{CЖ}} / x_c; \quad \eta_i^{\text{MC}} = \delta_i^{\text{MC}} / x_{\text{мс}}, \quad (5)$$

представляющих отношение полезно используемой теплоты к подведенной в результате развития соответствующего процесса в зависимости от степени эффективности использования воздушного заряда цилиндра.

Из рис. 2 видно, что с увеличением подвода теплоты через выгорание сажи x_c (при снижении величины $\xi_{\text{в}0}$), индикаторный КПД η_i уменьшается, а неиспользование теплоты вследствие несвоевременности $\delta_{\text{НС}}$ значительно возрастает, причем изменение величины $\delta_{\text{НС}}$ достигает 60 % от общего уменьшения η_i . С увеличением x_c возрастает доля неиспользования теплоты, связанная с несвоевременностью выгорания сажи $\delta_{\text{НС}}^{\text{CЖ}}$, в общем значении $\delta_{\text{НС}}$, и, уже при x_c равном 0,20, $\delta_{\text{НС}}^{\text{CЖ}}$ составляет более 70 % от $\delta_{\text{НС}}$. Доля неиспользования теплоты вследствие радиационного теплообмена $\delta_{\text{вп}}^{\text{CЖ}}$ также резко возрастает при увеличении x_c . С возрастанием $\xi_{\text{в}0}$ при улучшении качества процесса увеличение КПД η_i связано как с ростом $\eta_i^{\text{CЖ}}$, так и с уменьшением x_c на величину Δx_c , на которую автоматически возрастает $x_{\text{мс}}$, вводимая в цикл с большей скоростью при меньшей продолжительности, а соответственно и с большим КПД ($\eta_i^{\text{MC}} = 0,51$).

Ниже в табл. 1 приведены результаты полной

раскладки потерь теплоты, связанные с наличием и выгоранием сажистых частиц в цилиндре дизеля для

$\xi_{\text{во}} = 0,4$ и теоретически возможного рабочего процесса с $\xi_{\text{во}} = 1$.

Таблица 1. Результаты полной раскладки потерь теплоты

	$x_c, \%$	$\delta_{\text{с}}^{\text{сж}}, \%$	$\delta_{\text{нс}}^{\text{сж}}, \%$	$\delta_{\text{к}}^{\text{сж}}, \%$	$\delta_{\text{вр}}^{\text{сж}}, \%$	$\delta_{\text{вк}}^{\text{сж}}, \%$	$\delta_{\text{нп}}^{\text{сж}}, \%$	$\Sigma \delta^{\text{сж}}, \%$	$\delta_i^{\text{сж}}, \%$	$\eta_i^{\text{сж}}$
$\xi_{\text{во}} = 0,4$	17,3	5,6	2,6	2,3	0,8	0,8	0,6	12,7	4,6	0,27
$\xi_{\text{во}} = 1$	9,4	3,0	0,7	1,24	0,2	0,4	0,3	5,84	3,56	0,38

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

Выводы

1. При проведении математического моделирования влияния степени использования воздушного заряда цилиндра на процесс сажевыделения необходимо задавать взаимосвязанное изменение функций $x(\varphi)$, $\xi_{\text{в}}(\varphi)$ и $\sigma(\varphi)$, в противном случае анализ будет неполным и неточным. 2. Показано, что при увеличении степени использования воздушного заряда цилиндра (рост коэффициента $\xi_{\text{во}}$ с 0,2 до 1), максимальное содержание сажи в цикле C_{max} снижается более чем на 20 %, а на выхлопе $C_{\text{г}}$ – 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 $\xi_{\text{во}}$; КПД использования теплоты выгорания сажи изменяется в диапазоне $\eta_i^{\text{сж}} = 0,25...0,40$, возрастает с увеличением коэффициента

$\xi_{\text{во}}$ 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 $\delta_{\text{нс}}^{\text{сж}}$ и потерь от радиационного теплообмена $\delta_{\text{вр}}^{\text{сж}}$.

Список литературы

1. Разлейцев Н.Ф. Моделирование и оптимизация процесса сгорания в дизелях. – Харьков: Виш. шк., 1980. – 169 с.
2. Матиевский Д.Д. Анализ экономичности использования тепла в расчетном цикле ДВС // Изв. вузов. Машиностроение. – 1981. – № 8. – С. 71 – 74.
3. Батулин 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., Батулин 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.