

УДК 621.43.019.001

В.В. Душко, инж.

РАСЧЕТНЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ПЕРИОДА ЗАДЕРЖКИ САМОВОСПЛАМЕНЕНИЯ ТОПЛИВА В ЦИЛИНДРЕ ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Предпламенные процессы в судовых дизелях занимают малый отрезок времени но, именно эти процессы оказывают существенное влияние на качество и динамику рабочего процесса. Период задержки воспламенения τ_i является параметром, позволяющим косвенно определять токсичность и экономичность двигателя.

В настоящее время измерительная техника позволяет получить довольно точные значения параметров рабочего процесса дизеля, в том числе и по периоду задержки воспламенения. Разработка же математической модели для расчета этого параметра явилась бы удобным инструментом анализа влияния различных факторов (таких как качество распыливания топлива, его состав, параметры и качество топливоподготовки, а так же параметры воздушного заряда и пр.) на качество рабочего процесса с целью повышения экономичности и экологичности работы дизеля.

Данная проблема разработана многими исследователями, такими как Ищук Ю.Г. [1, 2], Семенов В.С. [3], Сомов В.А. [4, 5], Свиридов Ю.Б. [6] и др.. Так, например, в работе Семенова решаются задачи обобщения опытных исследований, проведенных на реальных судовых двигателях. Используются такие параметры как ход поршня, диаметр цилиндра, частота вращения коленчатого вала, угол опережения подачи топлива, температура и давление наддувочного воздуха. Во всех работах проведены разносторонние исследования данного вопроса и предложены разнообразные формулы для расчета τ_i . Недостатком большинства расчетных схем является узкий круг исходных параметров, влияющих на период задержки самовоспламенения топлива.

Предлагаемый метод расчета τ_i построен на фи-

зической основе влияния энергетического состояния воздушного заряда на воспламеняемость различных топлив, отличающихся по концентрации цетана, метанола, Н-Бутана, α -метилнафталина и др. Основной задачей данной модели был учет возможно большего количества факторов (в частности свойств топлива и качества топливоподготовки), влияющих на τ_i .

В модели на задержку воспламенения оказывают влияние: закономерность подачи топлива в цилиндр и его параметры при впрыске, энергетическое состояние воздушного заряда, смесеобразование и химическая стабильность топлива, связанная с превращением углеводородов, их способностью к распаду, преобразованию и окислению в предлагаемый период. Как следствие, τ_i есть функция многих переменных и не может быть описана одним уравнением.

В общем виде, исходя из диффузионной теории, продолжительность задержки воспламенения запишется уравнением [1, 6]:

$$\tau_i = \tau_\phi + \tau_x, \quad (1)$$

где τ_ϕ и τ_x – физическая и химическая составляющие задержки воспламенения.

В свою очередь, τ_ϕ состоит из двух слагаемых

$$\tau_\phi = \tau_{исп} + \tau_{см}, \quad (2)$$

где $\tau_{исп}$ и $\tau_{см}$ – продолжительность испарения и процесса смесеобразования.

По представлению Ю.Б. Свиридова [6] первые реакции окисления паров углеводородов должны начинаться в богатых, не очень горячих зонах, а первый очаг воспламенения рождается в том стехиометрическом слое, где наибольшие температуры.

Эти условия записываются системой уравнений (3, 4).

$$\tau_{\phi} = l_{\phi}^2 / \int_0^{l_{\phi}} U_{\phi} dl_{\phi}, \quad (3)$$

где l_{ϕ} – длина топливного факела;

U_{ϕ} – распределение скоростей частиц в топливном факеле.

$$\tau_x = (\text{const} / p_0)^{n_m} e^{-\frac{E_a}{RT_s}}, \quad (4)$$

где n_m , const – показатели топлива;

p_0 – давление окружающей среды;

E_a – энергия активации топлива;

T_s – температура воздуха в цилиндре двигателя.

Анализируя особенности горения распыленных топлив, можно сделать вывод о том, что в условиях дизеля допустимо принимать цикл с мгновенным сгоранием подготовленной смеси, что позволяет [1] рекомендовать простые решения представленных уравнений (5, 6, 7 и 8):

$$\tau_{исп} = \frac{c_m d_k \rho_m (T_{кр} - T_o)}{3\alpha_o [2T_c - (T_o + T_{кр})]}, \quad (5)$$

$$\tau_{см} = 6,367 \cdot 10^7 \frac{\rho_{\phi} \rho_{np}^{cm} \beta \Delta x^2}{T_{np}^{cm} (\rho S)_{см}}, \quad (6)$$

$$\tau_x = 1,29 \cdot 10^2 v_{cx} \cdot z_i^{-\frac{1}{\psi}} \cdot e^{\frac{E_a}{\psi RT_c}}, \quad (7)$$

$$v_{cx} = -7,43 \cdot 10^{-6} \cdot (ЦЧ)^2 + 1,123 \cdot 10^{-3} \cdot (ЦЧ) + 20,75 \cdot 10^{-2}, \quad (8)$$

где c_t – теплоемкость топлива;

d_k – диаметр капли топлива;

$\rho_m, \rho_{\phi}, \rho_{np}^{cm}$ – плотность топлива, воздуха в камере сгорания, приведенная плотность смеси паров топлива с воздухом, соответственно;

$(\rho S)_{см}$ – концентрационная плотность смеси воздуха с топливом;

$T_0, T_{кр}, T_c, T_{np}^{cm}$ – температуры: воздуха (начальная); критическая перед воспламенением топлива; сжатого воздуха в цилиндре; приведенная температура смеси топлива и воздуха;

α_0 – коэффициент теплопередачи от воздуха к капле топлива;

λ_{ϕ} – коэффициент теплопроводности воздуха;

β – комплексный показатель;

$M_m, M_{см}$ – молекулярные массы топлива и смеси соответственно;

$p_{кр}^{cm}, T_{кр}^{cm}$ – критическое давление и температура топлива в смеси;

Δx – толщина поверхностного слоя топливной струи, в которой идет смешение топлива с воздухом;

z – число парных столкновений молекул кислорода с молекулами углеводородов;

ψ – переходный коэффициент от логарифмов к реальным скоростям химических реакций;

v_{cx} – показатель скорости химических реакций, зависящий от физико-химических свойств топлива, определяемый по формуле (7);

ЦЧ – цетановое число.

Уравнения (5), (6) и (7) являются исходными для расчета продолжительности периода задержки воспламенения τ_i различных топлив в современных дизелях, но без учета продолжительности подачи топлива в цилиндр.

Изложенная методика в совокупности с современными вычислительными средствами предоставляет возможность, как оперативно оценивать влияние внешних факторов (характеристики топлива, наддувочного воздуха и пр.) на период задержки самовоспламенения топлива, так и определять оптимальные параметры работы дизеля. Уточнив данную модель для конкретных условий, появляется возможность анализировать взаимное влияние различных методов оптимизации рабочего процесса, таких как добавление воды в топливо (рис. 1) или повышение дисперсности топлива при его распыливании (рис. 2).

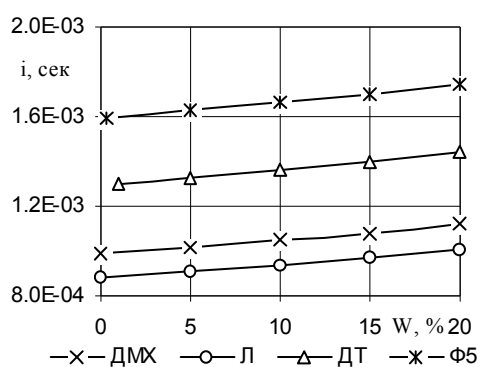


Рис. 1. Влияние содержания воды в топливе на период задержки самовоспламенения: ДМХ – дистиллятное топливо; Л – дизельное летнее топливо; ДТ – моторное топливо; Ф5 – мазут флотский

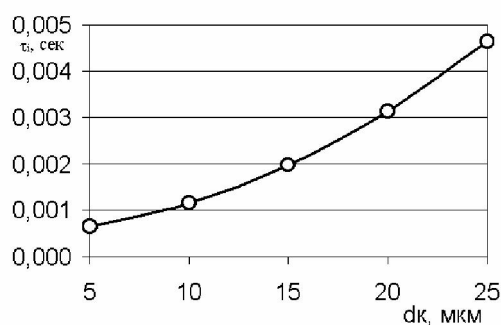


Рис. 2. Влияние дисперсности распыленного дизельного топлива на период задержки самовоспламенения

Расчеты проводились применительно к двигателю 6ДКРН 42/136 – 10 (аналог 6L42МС фирмы MAN B&W). Так при впрыске водотопливной эмульсии с содержанием воды до 20% период задержки возрастает в среднем на 9-12%. Возрастание τ_i на этом участке носит близкий к линейному характер. Одним из путей нейтрализации увеличения τ_i служит некоторое увеличение степени сжатия в дизеле. Другая характеристика топлива при впрыске – это степень дисперсности, которая непосредственно зависит от давления нагнетания, температуры впрыскиваемого топлива, а так же особенностей распылителя форсунки. На рис. 2 представлена зависимость периода задержки самовоспламенения от среднего диаметра капель впрыснутого в цилиндр топлива. Как видно

из рисунка уменьшение диаметра капли топлива неизбежно ведет к уменьшению τ_i , независимо от того каким путем достигнуто это уменьшение. В данном случае противовесом уменьшению среднего диаметра капли является нелинейный рост напряженности в деталях топливной аппаратуры.

Для подтверждения работоспособности разработанной схемы был выполнен ряд экспериментов на дизеле 4Ч17,5/24. При работе двигателя на холостом ходу и нагрузках в 12 и 17,5 кВт с частотой вращения 750 ± 3 об/мин изменялась температура впрыскиваемого топлива. Диапазон изменения температур стенки для трубопровода высокого давления был в пределах 300-500 К. При настройке расчетной схемы на данный дизель, разница в полученных результатах составляла не более 15%. Такую разницу в результатах можно объяснить влиянием общей массы впрыснутого топлива и зависимостью характера впрыска от температуры. На рис. 3 приведены диаграммы рабочего процесса дизеля при температурах трубопровода высокого давления $T_{ном}=300\text{К}$ и $T_{подогр}=430\text{К}$. Как видно из рисунка при повышении температуры впрыскиваемого топлива начало впрыска более позднее по сравнению с нормальной температурой, однако максимальное давление и скорость нарастания давления меньше.

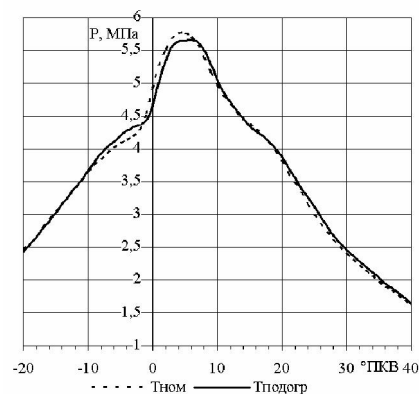


Рис. 3 Индикаторные диаграммы дизеля 4Ч17,5/24 в зависимости от температуры подогрева трубопровода высокого давления: $T_{ном}$ – температура топлива высокого давления 300 К; $T_{подогр}$ – температура топлива высокого давления 430 К

Приведенные примеры наглядно показывают, что период задержки самовоспламенения топлива есть функция, зависящая от многих параметров. Учет и изучение возможно большего количества факторов, влияющих на τ_i , позволит определить ее величину в связке с оптимальными параметрами впрыска.

Список литературы

1. Ицук Ю.Г. *Топливо и полнота его сгорания в судовых дизелях*. – Л.: Судостроение, 1985. – 100 с. 2. Ицук Ю.Г. *Интенсификация процесса сгорания топлива в судовых дизелях*. – Л.: Судостроение, 1987. – 54 с. 3. Семенов В.С. *Теплонапряженность и долговечность цилиндропоршневой группы судовых дизе-*

лей. – М.: Транспорт, 1977. – 182 с. 4. Сомов В.А., Ицук Ю.Г. *Судовые многотопливные двигатели*. – Л.: Судостроение, 1984. – 240 с. 5. Лебедев О.Н., Сомов В.А. *Водотопливные эмульсии в судовых дизелях*. – Л.: Судостроение, 1988. – 108 с. 6. Свиридов Ю.Б. *Принципы построения обобщенной теории сгорания в дизелях // Двигателестроение*. – 1980. – № 11. – С. 10 – 15. 7. Капустин В.В. *Проблема управления предпламенными процессами в дизелях // Моделирование приборов и техпроцессов: Сб. тр. Междунар. науч.-техн. конф.* – М.: МГАПИ, 2001. – Т. 3. – С. 110 – 113.

УДК 621.436.068

**П.Е. Куницын, канд. техн. наук, Н.А. Шевченко, инж., А.Ф. Доровской, инж.,
А.Г. Крушедольский, канд. техн. наук**

ПУТИ УЛУЧШЕНИЯ ЭКОЛОГИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ РАБОТЫ ДВУХТАКТНОГО ДИЗЕЛЬНОГО ДВИГАТЕЛЯ ТИПА 6ТД С РЕГУЛИРУЕМЫМ ДАВЛЕНИЕМ НАДДУВА

Охрана окружающей среды является одной из наиболее актуальных проблем, стоящих перед человечеством. На загрязнение атмосферы вредными выбросами значительная доля приходится на транспортные средства. Поэтому при проектировании и эксплуатации транспортных средств в настоящее время, наряду с их экономической эффективностью, экологические показатели играют важную роль. Это применительно и к спецмашинам, которые создаются и эксплуатируются в интересах Министерства обороны Украины.

В Казённом предприятии "Харьковское конструкторское бюро по двигателестроению" этому вопросу уделяется большое внимание.

В данной работе предлагаются к рассмотрению результаты экспериментальной проверки эффективности конструкторских мероприятий, направленных на снижение оптической плотности выпускных газов двухтактного дизельного двигателя типа 6ТД с горизонтально расположенными цилиндрами и противоположно движущимися поршнями и регулируемым давлением наддува.

Для снижения оптической плотности выпускных газов при пуске и на переходных режимах в КП ХКБД реализованы следующие конструкторские мероприятия:

– в регуляторе установлен механизм отрицательной коррекции, обеспечивающий уменьшенную