

рода позволяет сократить затраты энергии на 47% и уменьшить ущерб примерно в 10 раз по сравнению с традиционной силовой установкой.

Приведенные примеры показывают, что комплекс разработанных математических моделей, методов расчета и программного обеспечения позволяет производить оценку показателей в полном жизненном цикле, как существующих типов силовых установок, так и перспективных вариантов, в том числе на основе альтернативных источников энергии, таких как топливные элементы.

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД ОЦЕНКИ ОКСИДОВ АЗОТА В ОТРАБОТАВШИХ ГАЗАХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Толшин В.И.

Московская государственная академия водного транспорта, г. Москва

Известно, что оксиды азота образуются в локальных зонах КС с высокой температурой, имеющих место, прежде всего, в фазе кинетического сгорания, когда концентрация кислорода и испарившегося топлива в этих зонах обеспечивает резкий подъем давления и температуры. Поэтому рост жесткости процесса сопровождается повышенной концентрацией NO_x в ОГ дизеля. В камерах сгорания высокооборотных автомобильных дизелей отвод теплоты от локальных зон увеличивается благодаря вихреобразованию и первое место по вредности могут занимать токсичные составляющие CN и CO . В камерах сгорания малооборотных и среднеоборотных судовых дизелей процессы отвода теплоты от локальных зон не столь интенсивны, как в многооборотных автомобильных дизелях, и поэтому первое место по вредности занимают оксиды азота.

Точные методы расчета выбросов оксидов азота с учетом температуры, характера и расположения локальных зон с точки зрения использования их для оценки токсичности дизеля в условиях эксплуатации являются сложными, так как для осуществления расчетов по этим методам необходимо большое количество исходных данных. В частности, необходимо иметь сведения по параметрам топливной аппаратуры, камеры сгорания и необходимо провести расчет смесеобразования. Эти методы целесообразно использовать на заводах - изготовителях дизелей при проектировании и доводке дизелей.

В ряде случаев, например для контроля оксидов азота на борту судна или для их приближенной оценки при расчетах, могут использоваться менее трудоемкие упрощенные методы, которые рассматриваются ниже.

Теоретическое обоснование упрощенного метода оценки оксидов азота в отработавших газах судовых дизелей изложено в (1).

В основе метода лежат следующие предпосылки:

1. Образование оксидов азота происходит в фазе кинетического сгорания в локальных зонах камеры сгорания, где коэффициент избытка воздуха близок к 1.

2. При определении температуры локальных зон они условно рассматриваются, как одна зона, температура которой может быть определена по формуле:

Образование NO_x поставлено в зависимость от температуры локальных зон в цилиндре. Предполагается, что локальная зона, независимо от места ее расположения, охватывает только объем со стехиометрическим отношением топлива и воздуха ($\alpha'_1 = 1$). Если по результатам анализа осциллограмм найдено, что в период от начала сгорания до точки P_{\max} сгорела часть цикловой подачи $b_{\text{ц}}$ равная $b_{\text{ц}}^*$, то значения T_z , $T_{\text{л.з}}$ и $b_{\text{ц}}$ определяется из уравнений теплового баланса:

$$T_{\text{л.з.}} = \frac{b_{\text{ц}}^* \cdot H_{\text{и}}}{C_{\text{в}}''' \cdot M_{\text{л.з.}}} + \frac{\bar{C}_{\text{в}}'}{C_{\text{в}}'''} \cdot T_{\text{с}} \quad (1)$$

здесь $M_{\text{л.з.}} = (14.3 \cdot 0.21 / K_{\text{O}_2}) \cdot b_{\text{ц}}^*$ - масса локальной зоны;

K_{O_2} - концентрация кислорода, о.е.;

3. Образование оксидов азота происходит в результате химических реакций (согласно формулам академика Зельдовича) по бимолекулярному цепному механизмам. Например по бимолекулярному механизму:



На основании сопоставления расчетных и экспериментальных исследований в дальнейших расчетах принимается бимолекулярный механизм образования NO_x .

4. Образование молекул NO_x происходит при высокой температуре, когда кинетическая энергия молекул достаточна для эффективного столкновения молекул N_2 и O_2 и в результате столкновения образуется NO .

5. Количество эффективных столкновений пропорционально массе локальной зоны, и зависит от температуры в локальной зоне, подчиняется закону распределения скоростей Максвелла и пропорционально произведению концентраций N_2 и O_2 за локальной зоной. В результате скорость изменения концентрации составляет:

$$d(\text{NO}_x) / d\tau_{\text{к.с.}} = J \sqrt{\frac{2RT_{\text{л.з.}}}{\mu}} \cdot \sqrt{2} M d^2 \cdot K \pi \left[\frac{1}{c} \right] \quad (2)$$

$$\text{где } J = \left[\int_{C_{1M}/c}^{\infty} \frac{4M}{\sqrt{\pi}} \chi^2 e^{-\chi^2} dx \right]$$

где K - произведение концентрации O_2 и N_2 ;

$T_{\text{лз}}$ - температура локальных зон;

M - число молекул в локальной зоне

$$K \cong 0,16(\alpha_1' - 1) / \alpha_1'$$

$$v = \frac{c}{L}$$

где $c = x \cdot V_0$ - скорость движения молекулы;

$$L = \frac{1}{\sqrt{2Md^2\pi}} - \text{свободный пробег;}$$

d - диаметр молекулы.

Интегрирование уравнения (2) представляет собой сложную задачу, т.к. неизвестно распределение температур и коэффициенты теплопередачи за локальной зоной. Поэтому в дальнейшем в основу упрощенного расчета положена полуэмпирическая зависимость, основные члены которой повторяют члены зависимости (2):

$$NO_x = J \cdot X_{p \max} \cdot R_{N_2} \cdot R_{O_2} \cdot \frac{\alpha_1' - X_{p \max}}{\alpha_1'} \cdot \bar{P}^m \cdot \frac{1}{\alpha_1 \varphi_{np}} \quad (3)$$

где m – постоянная ($\sim 1,2$)

$$X_{p \max} = b_{\varphi}^* / b_{\varphi}$$

Предложенный метод удобен тем, что основные параметры, входящие в уравнение (3), могут быть получены на судне путем непосредственных замеров во время эксплуатации:

P_{\max} , P_c , V (часовой расход топлива), α_1 - коэффициент избытка воздуха, температура на входе в дизель. Для определения коэффициента избытка воздуха предлагается использовать датчик кислорода в отработавших газах. Авторами испытан такой датчик.

На рис. 1 представлены результаты оценки NO_x с помощью расчетной методики и сравнения с результатами экспериментов. В соответствии с приведенными данными, точность метода лежит в пределах 5% допускаемых по МАРПОЛ.

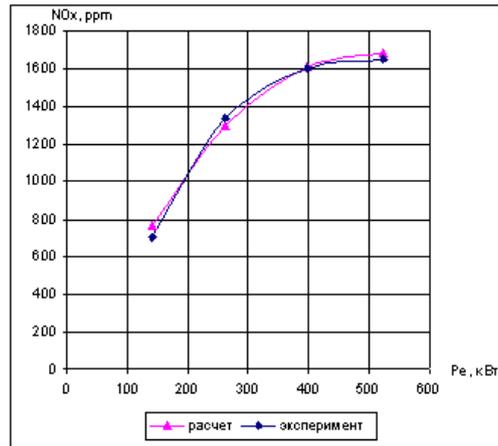


Рис. 1 Результаты расчетов и эксперимента по концентрации оксидов азота двигателя 6ЧН25/34 $P_e = 520$ кВт (эксперимент по данным к.т.н. С.Литвина)

Судовые среднеоборотные дизели оборудованы кранами для подсоединения индикаторов, с помощью которых определяется максимальное давление конца сжатия. Для оценки коэффициента избытка воздуха α_1 необходимо измерить концентрацию кислорода в ОГ, после замера расхода топлива V и α_1 определяется значение расхода воздуха.

На Рис. 2 представлены сравнительные результаты испытания датчика и показания прибора, отличия в которых не более 1 %. Зависимость между напряжением на выходе из датчика и концентрацией кислорода имеет вид:

$$O_2 (\%) = 0,3767 \cdot U (\text{мВ}) + 10,813.$$

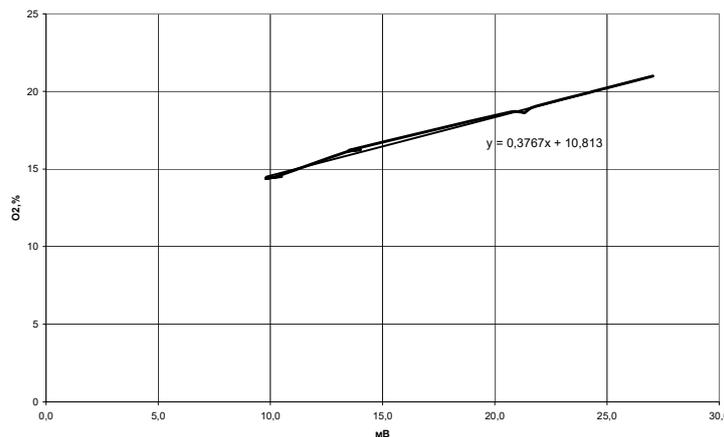


Рис. 2 Зависимость концентрации кислорода от напряжения на выходе датчика кислорода

Вывод: таким образом разработан и рекомендуется метод экспресс-оценки концентрации оксидов азота при эксплуатации на борту судна.

ЛИТЕРАТУРА

1. Толшин В.И. Оценка характера изменения концентрации NOx при рециркуляции отработавших газов // Двигателестроение 2002, №1, с.32.
2. Толшин В.И., Якунчиков В.В., Кирпиченков С.В., Амбросов Д.Б. Снижение выбросов оксидов азота с выпускными газами судовых дизелей мощностью 100 – 200 кВт речных судов и оценка в условиях эксплуатации. // Речной транспорт 2004 г.

ВЛИЯНИЕ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБКАТКИ ГАЛТЕЛЕЙ РОЛИКАМИ НА ИХ УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

Чайнов Н.Д., Мягков Л.Л., Марусланов А.Е.

МГТУ им. Н.Э. Баумана, г. Москва

Несмотря на большой опыт, накопленный отечественным и зарубежным машиностроением по расчету и конструированию, изготовлению и эксплуатации коленчатых валов, в практике еще нередки случаи их поломок по причинам конструкторского и технологического характера. Причем главная из них — недостаточный запас усталостной прочности в галтелях коренных и шатунных шеек, щеках, а также у радиальных отверстий в шейках. И чаще всего коленчатые валы разрушаются по галтелям коренных и шатунных шеек (рис. 1).

Анализ поломок коленчатых валов показал, что примерно 60-80 % поломок происходит из-за разрушений от изгибных нагрузок по щекам в плоскости кривошипа [3]. Теоретические исследования также показали, что наибольшие напряжения возникают в галтелях шатунных и коренных шеек коленчатых валов при действии знакопеременного изгибающего момента в плоскости кривошипа.

Наличие поломок свидетельствует о недостаточном запасе прочности, который определялся по известному выражению Серенсена-Кинасошвили [1]:

$$n_{\sigma} = \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_a k_{\sigma D} + \psi_{\sigma} \sigma_m}, \quad (1)$$

где σ_{-1} — предел выносливости материала детали; σ_a , σ_m — амплитуда и среднее значение напряжений, действующих при эксплуатации; $k_{\sigma D}$ — коэффициент концентрации напряжений в детали; ψ_{σ} — коэффициент влияния асимметрии цикла нагружения.