

УПРОЩЕННЫЙ МЕТОД КОНТРОЛЯ ОКИСЛОВ АЗОТА В ВЫПУСКНЫХ ГАЗАХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Толшин В.И., Амбросов Д.Б.

Московская государственная академия водного транспорта, г. Москва

В настоящее время вопросам снижения вредных выбросов транспортных двигателей в воздушную среду придается большое значение. За период последнего десятилетия нормы на вредные выбросы оксидов азота (ГОСТ Р 51249-99) существенно ужесточились с 14-29 г/(кВтч) до 18 г/(кВтч) для судовых дизелей. Практика показывает, что в период эксплуатации, концентрации вредных выбросов могут возрастать в несколько раз и поэтому контроль вредных выбросов дизельных двигателей в условиях эксплуатации необходим. Согласно ГОСТ Р 51249-99 контролю подвергаются все дизели мощностью 65 кВт и более, а точность замеров при этом должна составлять по $\text{NO}_x \pm 10\%$. Естественно, что многочисленные транспортные средства, работающие автономно, не могут быть оснащены дорогостоящими газоанализаторами, стоимость которых составляет тысячи долларов США. Поэтому разработка и применение более дешевых, но достоверных методов и способов контроля необходима.

В судовых установках речного транспорта в основном используются среднеоборотные дизели, которые в подавляющем большинстве имеют индикаторные краны, позволяющие регистрировать давление в цилиндре двигателя.

В исследованиях МГАВТ и профессора С.В. Лебедева показано, что отношение количества теплоты, выделившегося в фазе быстрого сгорания, к общему количеству теплоты, введенному в цилиндр с топливом

$$X_{p_{\max}} = \frac{b_{\text{ц}}^*}{b_{\text{ц}}} \quad \text{где} \quad b_{\text{ц}}^* = \frac{M_{\text{см}} \cdot \bar{C}_v \cdot T_Z - M_{\text{см}} \cdot \bar{C}_v \cdot T_C}{H_u},$$

$M_{\text{см}}$ – масса смеси в цилиндре, которое соответствует концентрации NO_x в (г) к величине топлива израсходованного за цикл в (кг). Таким образом определяется отношение $X_{p_{\max}}$ - количества топлива ($b_{\text{ц}}^*$), эквивалентного количеству выделившейся теплоты при сгорании на участке от точки начала сгорания (приблизительно от точки со значением p_c (T_c) до точки $\approx p_{\max}$ (или T_{\max}). Расчет ведется по формуле $X_{p_{\max}} = \frac{b_{\text{ц}}^*}{b_{\text{ц}}}$. Приблизительно

значение $b_{\text{ц}}^*$ может быть определено по известной формуле:

$$b_{\text{ц}}^* = \frac{M_{\text{см}} \cdot \bar{C}_v \cdot T_Z - M_{\text{см}} \cdot \bar{C}_v \cdot T_C}{H_u}$$

где: $M_{\text{см}}$ – масса смеси в цилиндре.

Выбросы оксидов азота в основном определяются фазой кинетического сгорания.

Окончательно оценка для определения концентрации NOx предлагается приближенная зависимость, полученная на основе использования уравнения Максвелла и уравнений по которым определяется температура в локальной зоне [2]. Из закона распределения скоростей молекул Максвелла следует, что число молекул dN_{dc} в диапазоне dx составляет:

$$dN_{dc} = \frac{4M}{\sqrt{\pi}} x^2 \cdot e^{-x^2} \cdot dx$$

где: $x = \frac{c}{v_B}$, c – скорость молекул, $v_B = \sqrt{\frac{2 \cdot R \cdot T}{\mu}}$ – наивероятнейшая скорость молекул;

$M = \frac{N_A \cdot \rho}{\mu}$ – число молекул в единице объема, μ – молекулярный вес, ρ – плотность, R – универсальная газовая постоянная.

Относительное число эффективных столкновений молекул O_2 и N_2 (концентрация NOx), которые участвуют в процессе образования оксидов азота может быть подсчитано по одной из этих зависимостей:

$$NOx = N_{\text{эфф}} = \int_{C_1}^{\infty} R_{N_2} \cdot R_O \cdot \frac{Xp_{\max}}{\alpha'_1 \cdot \varphi_{\text{пр}}} \quad \text{для цепной реакции;}$$

$$NOx = N_{\text{эфф}} = \int_{C_1}^{\infty} R_{N_2} \cdot R_{O_2} \cdot \frac{Xp_{\max}}{\alpha'_1 \cdot \varphi_{\text{пр}}} \quad \text{для бимолекулярной реакции;}$$

$$\text{где:} \quad \int_{C_1}^{\infty} = \frac{4}{\sqrt{\pi}} \int x^2 \cdot e^{-x^2} \cdot dx ;$$

R_{N_2} – концентрация азота в зоне образования NOx;

R_O – концентрация атомарного кислорода в зоне образования NOx;

R_{O_2} – концентрация кислорода в зоне образования NOx;

α'_1 – коэффициент избытка воздуха в цилиндре;

$\varphi_{\text{пр}}$ – коэффициент продукки.

$N_{\text{эфф}}$ – равно концентрации оксидов азота на выпуске.

C_1 – коэффициент, устанавливающий соответствие модели с результатами эксперимента. Так как ГОСТ Р 51249-99 регламентирует при проведении испытаний двигателя на судне задавать такую же частоту вращения вала двигателя как и при стендовых испытаниях, то это позволяет определить C_1 по результатам стендовых испытаний. C_1 зависит от частоты вращения вала двигателя, она характеризует погрешность при определении температуры в локальной зоне. опыты показывают что при разных режимах, например, тяжелый или легкий винт, но при одной и той же частоте вращения вала двигателя величина C_1 остается неизменной.

Расчеты NOx проводились по формуле для бимолекулярной реакции, для которой получена наибольшая сходимость.

Температуру в локальной зоне можно определить по формуле:

$$T_{л.з} = \frac{b_{ц} \cdot H_u}{14,3 \cdot \bar{C}_{v}''' \cdot M_{л.з}} + \frac{\bar{C}_{v}'}{\bar{C}_{v}'''} T_c$$

На рис. 1 представленном ниже видно, что расчеты подтверждаются результатами экспериментов с точностью до 3-5%.

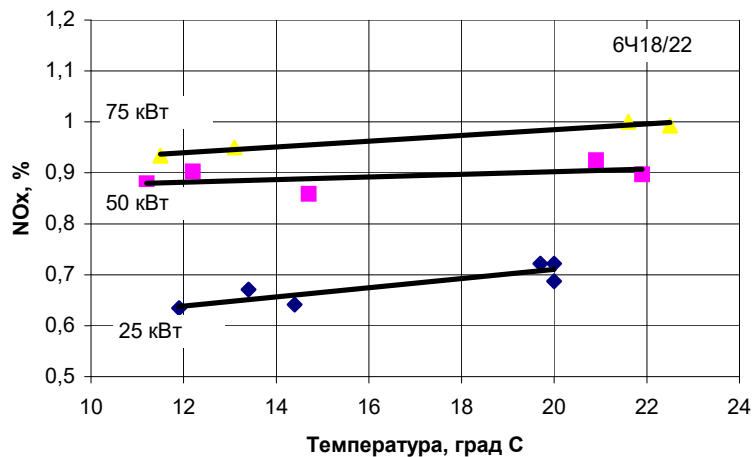


Рис. 1 Результаты экспериментов и расчетов, проведенных на двигателе 6Ч18/22 на кафедре СЭУ и А МГА ВТ.

Метод расчета совместной работы дизеля с турбокомпрессором, использованный в настоящей работе, основывается на малых отклонениях параметров от исходного режима, что предопределило упрощения в моделировании турбины и компрессора (метод профессора Р.М. Васильева-Южина).

Пример расчета концентрации NOx двигателя 6Ч18/22:

Исходные данные: $T_0=293\text{K}$, $P_e=82,5\text{ кВт}$, $n=680\text{ мин}^{-1}$, $p_c=3,828\text{ МПа}$, $p_{\text{max}}=6,35\text{ МПа}$, $V=20,12\text{ кг/ч}$, $O_2=12,05\%$ (в ОГ), $Q_H=42700\text{ кДж/(кг}\cdot\text{K)}$.

Рассчитанные значения: $\alpha_1=2,34$, $m_{в.ц.}=0,0055\text{ кг}$, $T_c=1082\text{K}$, $T_{\text{max}}=1796\text{K}$, $C_v'=836\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, $C_v''=862\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, $C_v'''=1285\text{ Дж/(кг}\cdot\text{K)}$, $T_{л.з.}=3028\text{K}$, $C_1=2780\text{ м/с}$, $N_{эфф.}=30705$, $X_{p_{\text{max}}}=0,52$, $R_{N_2}=0,79$, $R_{O_2}=0,162$, $NO_x=874\text{ ppm}$. (по результатам эксперимента $NO_x = 850 - 860\text{ ppm}$)

ВЫВОДЫ:

Повышающиеся требования к нормам вредных выбросов отработавших газов транспортных дизелей приводят к необходимости организации их систематического контроля в условиях эксплуатации. Для определения концентрации окислов азота используется разработанный метод.

Программа расчета может быть внесена в программу обработки индикаторной диаграммы в цилиндре на судах, в которых имеются автоматизированные системы диагностики типа Autronica.

Метод расчета позволяет учесть изменение параметров внешней среды на входе в двигатель.

Проведенные эксперименты подтверждают достоверность предлагаемого метода при сравнительной оценке изменения концентрации оксидов азота в условиях эксплуатации. Сравнение результатов расчетов совместной работы двигателя и турбокомпрессора с экспериментальными данными так же позволяет судить о достоверности методики расчета совместной работы.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Stefan Gros. Marine emission legislation./ Wartsila Diesel Group. Marine News. -№ 1.-1994. -р. 37-43.
2. Толшин В.И. Приближенная оценка концентрации оксидов азота в отработавших газах (ОГ) судового 4-х тактного дизеля // Двигателестроение. 2003, №2, Приложение 1, с. 5-6.
3. Толшин В.И., Амбросов Д.Б., Зябров В.А., Минаев А.Ю. Альтернативный упрощенный метод контроля выбросов NOx // Речной транспорт 2004, №3.

ПУТИ ПОВЫШЕНИЯ ТОПЛИВНОЙ ЭКОНОМИЧНОСТИ И ЭКОЛОГИЧНОСТИ РОТОРНО-ПОРШНЕВОГО ДВИГАТЕЛЯ ВАНКЕЛЯ

Злотин Г.Н., Морщихин Е.Б., Федянов Е.А., Ярыгин К.Е.
Волгоградский государственный технический университет, г. Волгоград

В последнее время вновь усилился интерес к роторно-поршневым двигателям (РПД) Ванкеля. Это связано, в том числе, с перспективами их применения в легкомоторной авиации, для которой этот тип двигателей по сочетанию удельной мощности, уравновешенности, металлоемкости и трудоемкости изготовления обладает неоспоримыми преимуществами.

На кафедре «Теплотехника и гидравлика» Волгоградского государственного технического университета ведутся исследования, целью которых является повышение эксплуатационной топливной экономичности РПД и улучшение их экологических характеристик. Первое направление исследований связано с применением управляемого фазированного впрыскивания топлива, а второе – с использованием метода отключения части рабочих циклов.

Фазированное впрыскивание топлива во впускное окно осуществляется для того, чтобы путем расслоения топливовоздушного заряда в камере сгорания уменьшить недогорание топливовоздушной смеси вблизи задней, по ходу вращения, вершины ротора. Это недогорание обусловлено тем, что