

## РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ РАБОЧИХ ПРОЦЕССОВ В ЦИЛИНДРАХ ТЕПЛОВОЗНЫХ ДИЗЕЛЕЙ

Климова Е.Н.

*Самарский государственный университет*

*Самара, Россия*

## DEVELOPING A MATHEMATICAL MODEL OF WORKING PROCESSES IN THE CYLINDERS OF DIESEL LOC ENGINES

Klimova E.N.

*Samara State University*

*Samara, Russia*

В работе проведен анализ экологических требований, предъявляемых к тепловозным дизелям (Euro), приведен обзор существующих моделей рабочих процессов в цилиндрах тепловозных дизелей, проведена сравнительная характеристика и проанализирована возможность разработки многозонной модели, которая бы обеспечивала приемлемую для инженерных расчетов точность, адекватно описывала процессы при изменении параметров двигателя и требовала минимальное количество экспериментальных данных для интерпретации модели.

Проведенный анализ моделей образования и окисления сажевых частиц показывает, что ввиду существенной неоднородности топливовоздушной смеси в цилиндре необходима разработка такой многозонной модели, которая бы обеспечивала приемлемую для инженерных расчетов точность, адекватно описывала процессы при изменении параметров двигателя и требовала минимальное количество экспериментальных данных для интерпретации модели.

Общая математическая модель процессов в дизеле представляется совокупностью моделей отдельных процессов и их взаимодействий. Процессы в рабочем цилиндре дизеля описываются квазистатической системой, одним из составляющих уравнений которой является уравнение первого закона термодинамики:

$$dQ = dU + dL. \quad (1)$$

Изменение количества теплоты, подводимой к рабочему телу

$$dQ = Q_H dq_x + dQ_w + u_n dG_n - u_m dG_m. \quad (2)$$

Для определения изменения внутренней энергии рабочего тела в цилиндре дизеля  $dU$  условимся рассматривать смесь газов в цилиндре как состоящую из двух компонентов: воздуха и «чистых» (в дальнейшем термин употребляется без кавычек) продуктов сгорания. Тогда внутренняя энергия рабочего тела

$$U = G'u' + G''u'', \quad (3)$$

где  $G'$  и  $G''$  - массы воздуха и чистых продуктов сгорания;

$u'$  и  $u''$  - удельные внутренние энергии воздуха и чистых продуктов сгорания.

Из выражения (3) следует, что

$$dU = G' du' + G'' du'' + u' dG' + u'' dG'', \quad (4)$$

Для идеального газа можно считать, что удельная внутренняя энергия  $u$  определяется только температурой  $T$ ,

$$dU = (c'_v G' + c''_v G'') dT + u' dG' + u'' dG'' \quad (5)$$

После подстановки уравнений (2), (5), в уравнение (1), учитывая то, что последнее слагаемое уравнения (1)  $dL$  - работа, совершаемая рабочим телом в цилиндре, состоит из работы перемещения поршня и работы перемещения газов через органы газораспределения, получим уравнение, разделив все члены которого на  $dj$ , и учитывая, что энтальпия газов  $i = u + pv$ , получаем уравнение первого закона термодинамики в дифференциальной форме для рабочего процесса в цилиндре:

$$\begin{aligned} & (c'_v G' + c''_v G'') \frac{dT}{dj} + u' \frac{dG'}{dj} + u'' \frac{dG''}{dj} = \\ & = Q_n \frac{dq_x}{dj} + \frac{dQ_w}{dj} - 0,6854 \cdot 10^{-2} D^2 sbp + i_n \frac{dG_n}{dj} - i_m \frac{dG_m}{dj}. \end{aligned} \quad (6)$$

В левой части уравнения (6) записана суммарная скорость изменения внутренней энергии рабочего тела в цилиндре за счёт изменения температуры и количества воздуха и чистых продуктов сгорания. В правой части записана сумма скоростей подвода (отвода) теплоты за счёт сгорания топлива, теплообмена со стенками цилиндра, работы перемещения поршня, притока энтальпии и убыли её при газообмене.

Уравнение (6) является общим для рабочего процесса в цилиндре. Для расчёта рабочего процесса уравнение решается совместно с уравнениями массового баланса. К системе уравнений также добавляется уравнение состояния. Полученные уравнения описывают рабочий процесс с учётом обратных течений (забросов) газов из выпускного коллектора в цилиндр и из цилиндра в ресивер продувочного воздуха. Уравнения не устанавливают явную зависимость между давлением, температурой газов и углом поворота кривошипа. Однако они позволяют, задавшись шагом изменения угла поворота кривошипа и решая уравнения совместно на каждом шаге, определить изменение параметров рабочего процесса в течение цикла.

Для решения уравнений рабочего процесса применительно к конкретному дизелю необходимо задать размеры цилиндра; сечения, коэффициенты расхода и фазы открытия органов газораспределения; угловую скорость вращения вала; цикловую подачу топлива и

три условия: закон сгорания топлива в зависимости от угла поворота кривошипа  $f(\varphi)$ , коэффициент теплоотдачи от газов к стенке цилиндра и условия на входе и выходе из цилиндра, и провести расчет для каждой зоны с учетом коэффициента избытка воздуха.

Развитие математического моделирования, использующего для идентификации экспериментальные данные, и автоматизированной обработки результатов натурных испытаний ДВС, в перспективе должно привести к созданию программно-аппаратурных комплексов, в которых моделирование процессов и их экспериментальное исследование являются органическими составляющими единой автоматизированной процедуры совершенствования рабочего процесса ДВС.

*Работа выполнена при поддержке программы «Михаил Ломоносов II»*