

# ТРАНСПОРТ И ЭНЕРГЕТИКА

Зонов В. Д., канд. техн. наук, доц.

Украинская государственная академия железнодорожного транспорта

## КОНЦЕПЦИЯ ДИГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ ОБКАТОЧНЫХ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЕЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ И МАНЕВРОВЫХ ТЕПЛОВЗОВ

*Известно, что диагностическое обеспечение в эксплуатационной экономичности, долговечности и работоспособности двигателя внутреннего сгорания (ДВС) играет значительную роль. При этом эксплуатационная величина расхода топлива тепловозного дизеля зависит от технологии и качества обкаточных испытаний на основных режимах холостого хода и малых нагрузок (на которых осуществляется основная приработка ЦПГ). Учитывая специфику процесса топливоподачи на режимах холостого хода и малых нагрузок, а также её влияние на характер и динамику процесса сгорания топлива в цилиндре двигателя, представляет особый интерес изучение и диагностика механизма зарождения, формирования и расщепления по дисперсному составу топливного факела, распадающегося на отдельные капли. Изучение и диагностика механизма распада топливного факела на отдельные капли позволит дать ответ на вопрос о количественных характеристиках и дисперсном составе абразивных частиц, оставшихся после испарения и выгорания топлива в цилиндре двигателя и их влиянии на качество обкаточных испытаний.*

**Ключевые слова:** *энергосберегающие технологии, диагностика, закон топливоподачи.*

**Введение.** Наука и практика диагностического обеспечения энергосберегающих технологий железнодорожного транспорта переходят на принципиально новый уровень международной унификацией и требований к эффективному использованию топливно-энергетических ресурсов (ТЕР), как необходимому условию выхода на рынок конкурентоспособной продукции.

Концептуально задача диагностического обеспечения энергосберегающих технологий обкаточных испытаний должна быть сформулирована как “идеальная” модель, учитывающая многообразие параметрических и исполнительных функционалов. При этом “идеальная” модель диагностического обеспечения должна быть прозрачна на всех этапах технологического процесса обкаточных испытаний, позволяющая, осуществлять экспертную оценку по основному параметру, - величине расхода топлива в реальном масштабе времени.

**Методология.** Комплексное решение экспертной диагностики энергосберегающей технологии качества обкаточных испытаний многогранная задача, которая позволит:

-осуществлять поэлементный мониторинг приработки цилиндропоршневой группы (ЦПГ) дизелей на каждом из обкаточных режимов дизелей магистральных и маневровых тепловозов;

-на принципиально новой основе решать задачи достоверности, надёжности и объективности результатов обкаточных испытаний силовых установок магистральных и маневровых тепловозов.

**Результаты исследований и их обсуждение.** Многолетние теоретические и экспериментальные исследования диагностического обеспечения качества приработки цилиндропоршневой группы (ЦПГ) привели к пониманию недостаточной изученности диагностического сопровождения процесса топливоподачи в цилиндры дизелей магистральных и маневровых тепловозов. Поняв механизм распада топливного факела в цилиндре двигателя на каждом из обкаточных режимов, возможно, создать инструмент диагностического сопровождения, характеризующего качество приработки ЦПГ на каждом обкаточном режиме двигателя внутреннего сгорания (ДВС).

Автором установлен закон топливоподачи для тепловозных дизелей, как отечественного, так и зарубежного производства [1], обеспечивающий устранение пропусков впрыска топлива и неравномерности впрыскиваемого топлива по циклам и цилиндрам во всём диапазоне частот вращения и мощности при проведении обкаточных испытаний.

Учитывая, что при проведении обкаточных испытаний, приработка ЦПГ в основном происходит на режимах холостого хода и малых нагрузок, необходимость математической модели диагностирования закона топливоподачи [2] и механизма распада топливного факела на этих режимах в цилиндре двигателя очевидна.

Математическая модель диагностирования процесса топливоподачи, влияющего на качество приработки ЦПГ, разрабатывалась с учётом

предельной относительной ошибки расчёта по параметру стабилизации расхода топлива, на каждом из обкаточных режимов[3].

Диагностирование представляет собой опыт, поэтому предельная относительная ошибка искомой функции равна дифференциалу натурального логарифма, т.е.

$$\partial_y = \pm \frac{d_y}{y} = \pm d(\ln y). \quad (1)$$

Основным диагностическим показателем, характеризующим энергосберегающую технологию обкаточных испытаний двигателя внутреннего сгорания (ДВС), является удельный эффективный расход топлива.

$$g_e = B_4 / N_e \quad (2)$$

$$\partial g_e = \pm(\partial B_4 + \partial V + K_1 \cdot \partial I_1 + K_2 \cdot \partial I_2 + K_3 \cdot \partial I_3), \quad (4)$$

где  $K_1 = \frac{I_1}{I_1 + I_2 + I_3}$ ;  $K_2 = \frac{I_2}{I_1 + I_2 + I_3}$ ;

$K_3 = \frac{I_3}{I_1 + I_2 + I_3}$  - коэффициент влияния.

$$\partial B_4 = \pm 0.2 \partial g_e; \quad \partial V = \pm 0.2 \partial g_e; \quad \partial I_1 = \pm 0.2 \frac{\partial g_e}{K_1}; \quad \partial I_2 = \pm 0.2 \frac{\partial g_e}{K_2}; \quad \partial I_3 = \pm 0.2 \frac{\partial g_e}{K_3};$$

Для оценки погрешности измерения других информативных параметров, входящих в алгоритм, воспользуемся уравнением внутреннего

$$\partial t_i = \pm(K_4 \partial \Delta_{HC} + K_5 \partial \Delta_{HPI} + K_6 \partial W_{OG} + K_7 \partial q_{VX}), \quad (5)$$

де  $K_4 = \frac{\Delta_{HC}}{t_i}$ ;  $K_5 = \frac{\Delta_{HPI}}{t_i}$ ;  $K_6 = \frac{W_{OG}}{t_i}$ ;

$K_7 = \frac{q_{VX}}{t_i}$ ; - коэффициенты влияния.

$$\partial t_i = \pm(0.021 \partial \Delta_{HC} + 0.042 \partial \Delta_{HPI} + 0.21 \partial W_{OG} + 0.936 \partial q_{VX}). \quad (6)$$

Предельная относительная погрешность определения доли тепла, теряемой с уходящими газами, определяется зависимостью

$$\partial q_{VX} = \pm(\partial \lambda_{\Sigma} + K_8 \cdot \partial t_T + K_9 \cdot \partial t_S), \quad (7)$$

где  $K_8 = \frac{t_T}{t_T - t_S}$ ,  $K_9 = \frac{t_S}{t_T - t_S}$  - коэффициенты влияния.

$$\partial \lambda_{\Sigma} = \pm(0.05 \partial [O_2] + 0.02 \partial [CO_2] + 0.02 \partial [H_2O] + 0.06 [C_n H_m] + 0.02 [CO]) \quad (9)$$

Выполнение расчетов требует оценки погрешности измерения других важнейших параметров:  $t_T$ ,  $t_S$ ,  $t_O$ , и др.

Воспользуемся уравнениями для определения погрешности вычисления адиабатного к.п.д. турбокомпрессора

$$\partial \eta_{ад.к} = \pm(3.26(\partial T_0 + \partial T_k) + 1.21(\partial p_k + \partial p'_0)); \quad (10)$$

внутреннего к.п.д. турбины

где  $B_4$  - часовой расход топлива;  $N_e$  - эффективная мощность.

Вообще в качестве исходной информации может быть использована не только величина  $g_e$ , но и, например, расход масла на угар, дымность отработавших газов и другие параметры.

Эффективная мощность вычисляется на основе замера напряжения и тока генератора.

$$N_e = V \cdot (I_1 + I_2 + I_3), \quad (3)$$

где  $V$  - напряжение на клеммах генератора;  $I_1$ ,  $I_2$ ,  $I_3$  - фазовые токи.

После преобразования в соответствии с (1) уравнение (4) с учетом (3) примет вид

Используя принцип равного влияния, определим предельные относительные погрешности

теплового баланса, представив его в соответствии с методом малых отклонений

Используя показатели режима работы дизеля, принятого в качестве контрольного ( $t_i = 0.7$ ;  $q_{VX} = 0.43$ ;  $W_{OG} = 0.1$ ;  $\Delta_{HPI} = 0.02$ ;  $\Delta_{HC} = 0.01$ ), получим расчетное уравнение

Воспользовавшись опытными данными контрольного режима, получим

$$\partial q_{VX} = \pm(\partial \lambda_{\Sigma} + \partial t_T + 0.1 \partial t_S) \quad (8)$$

Входящая в уравнение (7) составляющая  $\partial \lambda_{\Sigma}$  может быть вычислена на основе уравнения

$$\partial \eta_{OT} = \pm(4.26(\partial T_T + \partial T_{OT}) + 1.06(\partial p_T + \partial p_{OT})); \quad (11)$$

Механического к.п.д. турбокомпрессора

$$\partial \eta_{МТК} = 0.037 \partial n_{ТК}.$$

Приведенная математическая модель, встроенная в алгоритм диагностического обеспечения контроля качества энергосберегающей технологии обкаточных испытаний, позволяет сформулировать, на основе теории системы диагностического обеспечения (СДО), основные

принципы концепции энергосберегающих технологий (ЭСТ).

Общая концепция СДО формулирует системные свойства, и реализацию принципа моделей диагностики качества (МДК) технологии энергосбережения обкаточных испытаний.

Под МДК принимается упорядоченная совокупность элементов, звеньев, устройств (в дальнейшем - подсистем), связанных друг с другом направленными связями, действующими как одно целое и предназначенными для достижения общей цели. Основными подсистемами МДК являются совокупности средств физико-статистической диагностики качества, включая подсистемы:

-испытаний на стойкость (устойчивость) к воздействию внешних факторов и на надежность;

-физического (локального и интегрального) диагностирования;

-физико-технического анализа причин (предпосылок, предвестников) отказов и других несоответствий требованиям;

-статистического диагностирования;

-моделирования процессов дефектообразования и деградации параметров, обнаружения дефектов средствами диагностики качества (ДК);

-комплексной оценки качества объекта диагностирования (ОД).

В целом МДК представляет собой совокупность взаимосвязанных средств ДК, реализующих принцип комплексности. Принцип комплексности состоит в том, что все используемые методы испытаний, диагностирования и анализа могут применяться, помимо технологий обкаточных испытаний, на всех этапах жизненного цикла двигателя внутреннего сгорания, обеспечивая возможность эффективного выявления всех потенциальных рисков.

Этот принцип в полной мере отвечает положениям МС ИСО 9000

#### **Выводы.**

1. Концепция диагностического обеспечения энергосберегающих технологий обкаточных испытаний силовых установок магистральных и маневровых тепловозов полностью соответствует требованиям МС ИСО 9001.

2. Установленный закон топливоподачи позволяет сформировать требования к системам диагностического сопровождения технологии обкаточных испытаний, необходимых для принятия управляющих решений по повышению качества, энергосбережения и ресурсосбережения.

3. Оценка эффективности диагностического обеспечения позволяет вводить корректировки в модели диагностирования с учетом изменяющейся ситуации, например, изменения требований нормативной документации по совершенствованию объекта диагностики.

#### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Пат.30267 Україна F02M 45/00. Форсунка спеціальної конструкції для дизельного та газодизельного процесу Зонов В.Д. Опубл.25.02.2008, Бюл.№4

2. Єроценков С.А., Григор'єв О.Л., Зонов В.Д. Математичне моделювання процесу паливоподачі у форсунках спеціальної конструкції //Зб. наук. праць. - Харків: Хардаст, 2001. - Вип. 45. - С. 82-88

3.Зонов В.Д. Повышение качества приработки цилиндра-поршневой группы дизелей путём интенсификации процесса топливоподачи//Проблемы трибологии (Problems of Tribology).-2010.-№1. -С.104-107