ко слоев циркулярных мышечных элементов и небольшое количество эластических волокон, наружная (адвентиция) – волокнистая соединительная ткань с незначительной примесью тонких и толстых упругих волокон, идущих большей частью продольно оси ЛС (описание, как еще у W.Henle, 1841). Лимфатические стволы, подобно венам, снабжены клапанами – это полулунные складки внутренней оболочки с карманами, они обеспечивают центростремительный лимфоток к венам. ЛУ представляют собой плотные, круглые или продолговатые, иногда сплющенные органы. Их размеры значительно колеблются – от просяного зерна до миндального ореха. ЛУ состоят из капсулы с трабекулами и аденоидной ткани. Между ними находятся лимфатические синусы с эндотелиальным покровом и тоненькой сеткой в полости. Капсула ЛУ – это плотная соединительнотканная оболочка, содержащая гладкомышечные клетки и примесь упругих волокон. Аденоидная ткань, где размножаются лимфоциты, состоит из корковых фолликулов и их продолжения в мозговое вещество, фолликулярных перекладин. Афферентные ЛС приносят лимфу в синусы ЛУ, причем эндотелий ЛС продолжается в эндотелий синусов, откуда лимфа уходит в эфферентные ЛС. Иногда между афферентными и эфферентными ЛС наблюдается прямой анастомоз, расположенный на поверхности капсулы ЛУ, по которому часть лимфы минует синусы ЛУ, орган в целом.

Технические науки

ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ИСПЫТАНИЙ ДИЗЕЛЕЙ ПРИ ДИНАМИЧЕСКИХ НАГРУЗКАХ

Зубков Е.В.

Набережночелнинский институт ФГАУ ВО «Казанский (Приволжский) федеральный университет», Набережные Челны, e-mail: eugen_z@mail.ru

В настоящее время на отечественных машиностроительных предприятиях испытания дизелей, проводимые по международному стандарту 1585, выполняются в стационарных режимах [2]. Однако, в условиях эксплуатации наиболее распространён неустановившийся режим нагрузки. Испытания в статических режимах, которые получили наибольшее распространение, не совсем адекватно показывают работу двигателя при реальных нагрузках.

Разработка технологического процесса испытаний при исследовании дизелей в динамических режимах позволит получить характеристики их рабочих процессов при неустановившихся нагрузках. Применение имитационных моделей позволит проводить эти испытания с наименьшими затратами ресурсов, позволяя находить наиболее оптимальные эксплуатационные параметры [3].

С целью обеспечения возможности учета динамических свойств дизеля, при проведении имитационных испытаний, применяется математическая модель двигателя, адекватность которой доказана для дизеля КАМАЗ 740.60 при стендовых испытаниях на заводе двигателей ОАО «КАМАЗ» экспериментально [1]:

$$\begin{cases} \dfrac{dh(t)}{dt} = T_h \cdot h(t) + K_{hm} \cdot M_C(t) + K_\omega \cdot \overline{\omega(t)} + 0 \cdot \overline{M_C(t)} \\ \dfrac{dM_C(t)}{dt} = 0 \cdot h(t) + T_m \cdot M_C(t) + 0 \cdot \overline{\omega(t)} + K_C \cdot \overline{M_C(t)} \end{cases}, \quad (1)$$

$$\omega(t) = K_h(t) + K_m \cdot M_C(t), \quad (2)$$

где $\overline{\omega(t)}$ и $\overline{M_C(t)}$ – входные параметры требуемой частоты вращения вала двигателя и нагрузки, соответственно; h(t) и $M_C(t)$ – переменные, определяющие положение рейки ТНВД и нагрузку, соответственно; ω(t) – выходной сигнал, показывающий частоту вращения вала двигателя; для двигателя КАМАЗ 740.60: $T_h = -3{,}33$; $T_m = 0{,}93$; $K_\omega = 0{,}008$; $K_h = 120$; $K_m = 0{,}68$; $K_c = -1{,}32$; $K_{hm} = -0{,}005$.

Векторная передаточная функция, полученная из модели (1,2), была использована для имитационного моделирования режимов испытаний с помощью Xcos – графического редактора для разработки гибридных моделей динамических систем, входящего в пакет прикладных математических программ SciLab.

Созданы модели работы дизеля в режимах пилообразного и ступенчатого изменений нагрузки. Пилообразная нагрузка возникает при работе машинного агрегата, как грейдер, например, при установке навесного ножа или отвала бокового на автомобиль КАМАЗ, а ступенчатая нагрузка возникает при работе машинного агрегата, как передвижная буровая установка.

Ступенчатую нагрузку представим в виде ряда Фурье (3):

$$\overline{M_C(t)} = \frac{446,5}{2} + \sum_{k=1}^{\infty}\left(\left(-\frac{0,13(-121,75\cdot\sin(1,58k)+121,75\sin(6,28k))}{k} - \right.\right.$$

$$-\frac{0,06(-243,51\cdot\sin(3,4k)+243,51\cdot\sin(6,28k))}{k} + \frac{95,87\cdot\sin(6,28)}{k} -$$

$$\left.\frac{51(-\sin(4,71k)+\sin(6,28k))}{k\pi}\right)\cdot\cos\frac{k\pi t}{l} + \left(-\frac{0,06(243,51\cdot\cos(3,14k)-243,51\cdot\cos(6,28k))}{k} - \right.$$

$$-\frac{0,13(121,75\cdot\cos(1,56k)-121,75\cdot\cos(6,28k))}{k} + \frac{0,54(177,54-177,54\cdot\cos(6,28k))}{k} -$$

$$\left.\left.-\frac{51(\cos(4,7k)-\cos(6,28k))}{k}\right)\cdot\sin\frac{k\pi t}{k}\right). \quad (3)$$

Подставив формулу (3) в формулу (1) получим реакцию системы на эту нагрузку.

Пилообразную нагрузку, аналогично представленной (3), запишем в виде формулы (4):

$$\overline{M_C(t)} = 150 + \sum_{k=1}^{\infty}\left(\frac{150(-1+\cos(2k\pi)+2k\pi\sin(2k\pi))}{k^2\pi^2}\cdot\frac{\cos(k\pi t)}{t_{i+1}} + \right.$$

$$\left.+\frac{150(-2k\pi\cos(2k\pi)+\sin(2k\pi))}{k^2\pi^2}\cdot\frac{\sin(k\pi t)}{t_{i+1}}\right), \quad (4)$$

Подставив формулу (4) в формулу (1) получим реакцию системы на эту нагрузку.

Полученные сигналы управляющих воздействий, имитирующих работу дизеля при пилообразном и ступенчатом изменении нагрузки, можно также использовать для управления двигателем в процессе стендовых испытаний.

На основе, полученных моделей, можно создать компенсирующее воздействие, то есть модель управления рейкой топливного насоса, чтобы нивелировать колебание частоты вращения вала двигателя.

Таким образом, неблагоприятные режимы работы дизеля, которые могут привести его к преждевременному износу, возможно устранить с помощью специальных управляющих воздействий, полученных в результате имитационных испытаний.

Применение стендовых испытаний для получения параметров имитационной модели и дальнейшее имитационное моделирование режимов работы дизеля в динамических режимах позволяют при наименьших расходах ресурсов получать характеристики двигателей. Проведенные исследования с помощью имитационной модели дизеля КАМАЗ 740.60 показали возможность совершенствования его режимов работы с помощью системы управления.

Список литературы

1. Галиуллин Л.А., Зубков Е.В., Мочалов Д.И. Математическое моделирование режимов испытаний дизельных двигателей /Научно-технические ведомости СПбГПУ. – 2011 – № 5. – С. 77-81.

2. Луканин И.Н., Шатров М.Г., Кричевская Т.Ю. и др. Двигатели внутреннего сгорания. В 3 кн. Кн. 3. Компьютерный практикум. Моделирование процессов в ДВС.: Учебник для вузов / Под ред. И.Н. Луканина и М.Г. Шатрова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Высш. шк., 2005. – 414 с.: ил.

3. Novikov A.A., Zubkov E.V. Regulation of the Crankshaft Speed of a Diesel Engine with a Common Rail Fuel System / Russian Engineering Research. – 2012. – Vol. 32, № 7-8. – P. 523–525.