

КОМПЛЕКСНАЯ ВИБРОАКУСТИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА ГЛАВНЫХ СУДОВЫХ ДИЗЕЛЕЙ ПО КРУТИЛЬНЫМ КОЛЕБАНИЯМ ВАЛОПРОВОДА

В.Е. Михайлов, д.т.н., проф, начальник кафедры
До Дык Лыу, к.т.н, докторант
Государственная Морская Академия им. адм. С.О. Макарова

Представлены новые решения диагностики судовых дизелей — комплексная виброакустическая диагностика (ВАД) по крутильным колебаниям валопровода. Исследовано состояние судовых дизелей в целом математическим моделированием ВАД. Решены задачи аналитической ВАД на основе моделирования сил и моментов цилиндров и винта, характеризующих состояние цилиндров. Моделирование судового пропульсивного комплекса осуществляется системой уравнений для крутильных колебаний валопровода. Для аналитического решения этой системы используется правило Крамера. Получены модели ВАД для разработки методов и технических средств при автоматическом контроле и диагностике судовых дизелей.

Основной целью комплексной диагностики главных судовых дизелей является автоматический контроль равномерности работы, своевременное обнаружение и локализация неисправности рабочего цилиндра. Неравномерная работа дизелей приводит в некоторых случаях к авариям и отказам деталей. Вопрос контроля и регулирования равномерности работы является важным и актуальным не только для механиков судов, но и для разработчиков средств технического контроля и диагностики судовых дизелей.

Степень неравномерности работы дизеля обычно определяется сравнением одноименных технико-экономических параметров всех цилиндров с допустимыми измененными значениями. На новых современных судах используют системы и средства для контроля и диагностирования технического состояния судовых дизелей, включающие системы измерения и индикации следующих параметров: индикаторной диаграммы отдельного цилиндра, средней частоты вращения коленчатого вала, закона подачи топлива в цилиндр и т. д. Особенностью этих систем является измерение механиком судна давления сгорания переносом датчика давления от цилиндра к цилиндру.

Новая методология контроля и диагностики неравномерности сгорания судовых дизелей

состоит в том, что анализируется интегральный сигнал, содержащий информацию о работе каждого цилиндра. Сигналы могут быть характеристикой общего крутящего мгновенного момента или текущей частотой вращения коленчатого вала [1, 2].

Для комплексной диагностики судовых дизелей по крутильным колебаниям валопровода самым эффективным методом является математическое моделирование. Математические модели крутильных колебаний включают моделирование вынужденных моментов, содержащих параметры качества работы цилиндров судовых ДВС.

Моделирование индикаторной диаграммы i -го цилиндра выполнены посредством коэффициентов сгорания $C_{i,c}$ и утечки $f_{i,y}$, а также эталонными функциями для прототипа судовых дизелей [2]. На основании этих моделей крутящий момент i -го цилиндра записывается в виде:

$$M_i(\omega t) = \omega^2 M_{i,0}^3 + M_{i,1}^3 + C_{i,c} M_{i,2}^3 + f_{i,y} M_{i,3}^3; i = 1, \dots, z, \quad (1)$$

где $M_{i,m}^3$, $m = 0, 1, 2, 3$ — эталонные компоненты моментов прототипа ДВС;

$$M_{i,m}^3(\omega t) = F_{i,m}^3 T_i(\omega t); m = 0, 1, 2, 3,$$

где $T_i(\omega t)$ — функция трансформирования; $F_{i,m}^3$ — эталонные компоненты сил i -го цилиндра: $F_{i,0}^3$ — компонента инерционной силы; $F_{i,1}^3$, $F_{i,2}^3$, $F_{i,3}^3$ — компоненты газовой силы.

Обычно крутильные колебания валопровода судового главного дизельного комплекса представлены системой линейных дифференциальных уравнений в матричном виде, в которой применяются матрицы: моментов инерции масс, коэффициентов демпфирования, коэффициентов статической жесткости системы; а также вектор текущих вынужденных крутящих моментов системы и вектор текущих значений углов поворота вала.

Вектор вынужденных моментов в этой модели имеет следующий вид:

$$M(\omega t) = \omega^2 M_0^{\circ}(\omega t) + M_1^{\circ}(\omega t) + C_c \circ M_2^{\circ}(\omega t) + F_y \circ M_3^{\circ}(\omega t) \quad (2)$$

где C_c и F_y — векторы состояний системы, определяющиеся коэффициентами сгорания и утечек в цилиндрах; M_j° — эталонные векторы вынужденных моментов, моментов, $j = 0, 1, 2, 3$, и символ « \circ » обозначает поэлементное произведение.

В векторах C_c и F_y имеются компоненты приведенных к винту коэффициентов сгорания и утечек, которые определяются с помощью формулы Бремса [3]. Винт подвергается воздействию вынужденных моментов с гармониками $z_p, 2z_p, 3z_p$, амплитуды которых определяются по усредненному моменту винта. Амплитуда k -й гармоники момента винта равна нулю, $k \neq z_p, 2z_p, 3z_p$, где z_p — число лопастей винта.

Приведенные коэффициенты утечки и сгорания являются суммой указанных коэффициентов по цилиндрам.

Поскольку система дифференциальных уравнений для крутильных колебаний валопровода — линейная система, следовательно можно использовать метод суперпозиции. Каждое слагаемое определяется уравнением:

$$J\ddot{S}_j + B\dot{S}_j + CS_j = S_j \circ M_j^{\circ}(\omega t), \quad j = 0, 1, 2, 3 \quad (3)$$

где J, B, C — указанные выше матрицы системы дифференциальных уравнений для модели крутильных колебаний валопровода; S_j — векторы показателей состояний цилиндров и винта.

Методы суперпозиции и гармонического баланса для решений всех четырех уравнений (3) идентичны также для $j = 0 \div 3$, поскольку каждая система является линейной системой дифференциальных уравнений.

Представляя эталонные моменты (двигателя и гребного винта) в ряду Фурье с определенным числом M гармоник ($M = 15 \div 30$), рассмотрим возбужденные моменты с k -й гармоникой, тогда система (3) записывается уравнением:

$$J\ddot{S} + B\dot{S} + CS = M_k^s \sin k\omega t + M_k^c \cos k\omega t, \quad (4)$$

$$M_k^c = S \circ M_k^{\circ, c}; \quad M_k^s = S \circ M_k^{\circ, s},$$

где S представляет собой S_j в рассмотренном уравнении (3), $M_k^{\circ, c/s}$ — амплитуды перед синусом и косинусом k -й гармоники эталонной компоненты моментов.

Решение находится в виде, аналогичном правой части уравнения (4), где амплитуды перед синусом и косинусом заменяются амплитудами угловых перемещений вынужденных крутильных колебаний валопровода. Методом гармонического

баланса решение системы (4) преобразуется в систему алгебраических уравнений для неизвестных амплитуд угловых перемещений.

Представляя формальное решение для амплитуды угловых перемещений i -й массы по правилу Крамера, система линейных алгебраических уравнений принимает следующий вид:

$$S_{i,k} = \sum_{p=1}^n \beta_{i,p,k} S_p, \quad i = 1 - 2n; \quad k = 1 - M, \quad (5)$$

где $\beta_{i,p,k}$ — постоянные коэффициенты прототипа судовых дизелей.

Подставляя (5) в (4) для каждого вектора $S_0 \div S_3$, после несложного преобразования получаем:

$$\sum_{p=1}^n \beta_{i,p,k}^{(2)} C_{p,c} = \varphi_{i,k}^c - \sum_{p=1}^n \beta_{i,p,k}^{(3)} f_{p,y} - S_{i,1,k}^{\circ, c} - \omega^2 S_{i,0,k}^{\circ, c}; \quad k = 1 - M; \quad (6)$$

$$\sum_{p=1}^n \beta_{n+i,p,k}^{(2)} C_{p,c} = \varphi_{i,k}^s - \sum_{p=1}^n \beta_{n+i,p,k}^{(3)} f_{p,y} - S_{i,1,k}^{\circ, s} - \omega^2 S_{i,0,k}^{\circ, s}; \quad k = 1 - M. \quad (7)$$

где $\varphi_{i,k}^c, \varphi_{i,k}^s$ — значения синуса и косинуса k -й гармоники крутильных колебаний в рассматриваемом сечении; $\beta_{i,p,k}^{(2)}, \beta_{i,p,k}^{(3)}, \beta_{n+i,p,k}^{(2)}, \beta_{n+i,p,k}^{(3)}, \Phi_{i,1,k}^{\circ, c/s}, \Phi_{i,0,k}^{\circ, c/s}$ — постоянные коэффициенты для прототипа судовых дизелей.

Системы (6) и (7) определяют связь между частотными характеристиками крутильных колебаний в i -м сечении и показателями качества сгорания и герметичности камеры сгорания цилиндров.

На практике обычно измеряют крутящий момент дизеля, который пропорционален разности крутильных перемещений двух смежных сечений. Относительные крутильные колебания преобразуются в ряд Фурье. С помощью моделей (6) и (7) получаются идентичные модели для относительных крутильных колебаний — модели крутящего момента. Полученные модели устойчивы, если гармоники, используемые в диагностике, находятся далеко от резонансных частот.

Диагностика неравномерности работы судовых дизелей

Задачей комплексной диагностики является оценка качества работы цилиндров. Общие модели (6) и (7) зависят только от показателей качества сгорания в цилиндрах, а коэффициенты утечек принимаются как случайные величины с постоянным математическим ожиданием.

Из моделей (6) и (7) можно также получить оценки коэффициентов и степени неравномерности сгорания в цилиндрах дизеля.

Методом моделирования вибродиагностики судовых дизелей по частоте вращения коленчатого вала является преобразование измеренной частоты вращения коленчатого вала в угловое перемещение. Математический аппарат для этого преобразования представляет собой интегратор.

Таким образом, из моделей (6) и (7) и интегратора получены новые модели диагностики по частоте вращения коленчатого вала.

В заключение можно сделать вывод о том, что диагностика качества работы судовых дизелей в целом и оценка технического состояния отдельного цилиндра осуществляются только по одному датчику мгновенной частоты вращения коленчатого вала или датчику измерения текущего крутящего момента. Для повышения эффективности диагностики (получения линейной модели) целесообразно выбирать режимы диагностики, удаленные от резонансов, а также учи-

тывать условие стабильности рабочего режима и окружающей среды.

Литература

1. *До Дык Лыу*. Виброакустическая диагностика судовых многоцилиндровых ДВС: Дис. канд. техн. наук. / Варна, Болгария, 1994.
2. *До Дык Лыу, Михайлов В.Е.* Диагностика герметичности камеры сгорания и неравномерности работы цилиндров ДВС по общему двигательному моменту // Сб. тр. ГМА им. адм. С.О. Макарова. — СПб., 2006. — С. 177–181.
3. *Минчев Н.Д.* Динамика судовых машин. — София, 1983. — 448 с.

НА ДВИГАТЕЛЕСТРОИТЕЛЬНЫХ ЗАВОДАХ РОССИИ

Дизели ЗМЗ будут поставлять на Кубу

Заволжский моторный завод в ближайшее время отправит для испытаний на Кубу пять дизельных двигателей ЗМЗ 5143. Министерство обороны Кубы заинтересовано в поставках российских дизелей для установки на армейские внедорожники.

Если испытания моторов пройдут удачно, регулярные поставки дизельных моторов на Кубу могут начаться уже в конце лета этого года. Ожидается, что в год кубинская армия будет получать около тысячи новых дизелей.

ЗМЗ 5143 разработан на основе бензинового четырехцилиндрового мотора ЗМЗ 406. Объем дизеля составляет 2,2 л, а его мощность — 96 л. с. Сейчас такие двигатели устанавливаются на внедорожники «Hunte» Ульяновского автомобильного завода, в основе которых советские армейские машины УАЗ 469.

www.lenta.ru

Челябинский тракторный завод — Уралтрак представляет новое поколение машин

Бренд ЧТЗ известен в мире свыше 70 лет. Сегодня предприятие представляет собой комплекс производственных, инженерных, исследовательских и испытательных подразделений, расположенных на площади около 200 Га, с численностью сотрудников свыше 200 тыс. чел. Полный цикл разработки, изготовления, испытаний и сертификации инженерной техники является залогом лидерства в современных условиях (свыше 70 % российского рынка — доля ЧТЗ). На смену десяткам тысяч строительных машин ЧТЗ, работающих в России и за ее пределами, пришла новая модернизированная техника, созданная с учетом опыта и современных требований, основные образцы которой будут продемонстрированы на выставке СТТ–2006.

В числе новинок, претендующих на лидерство — гусеничные бульдозеры в самых востребо-

ванных классах мощностью 170–230 л. с. (модели Б10М2 и Б12), с автоматической гидромеханической трансмиссией, не имеющие аналогов в мире. Десятки модификаций под конкретные виды работ и для различных климатических условий, широкий выбор рабочего оборудования базовых машин (бульдозерное, рыхлительное, трубоукладочное, тяговые лебедки и прочее) — все это позволяет покупателю выбрать машину, максимально отвечающую его требованиям.

Помимо традиционных видов техники, 2006 год для ЧТЗ стал годом уверенного выхода на рынок колесных дорожно-строительных машин. Первые представители колесного семейства ЧТЗ — фронтальные погрузчики ПК-46 «Proffi» грузоподъемностью до 5 т — уверенно завоевывают свою нишу отечественных машин с мировым уровнем производительности, эргономики и надежности.

Комплексный подход к повышению конкурентоспособности предприятия обеспечил рост экспортных поставок. Расширяется перечень стран СНГ и дальнего зарубежья, которые вновь начинают отдавать предпочтение бульдозерам ЧТЗ.

*Начальник управления продаж по России
А.А. Гладских*

ОАО ВДМ приступило к производству двигателей по лицензии фирмы MTU/Detroit Diesel

В рамках проекта по лицензионному производству ОАО «Волжский дизель имени Маминых» приступило к выпуску дизельных и газовых двигателей Серии 2000 и 4000 фирмы MTU/Detroit Diesel и агрегатов на их базе.

Данный проект направлен на создание в России собственного производства современных двигателей внутреннего сгорания мощностью 880–3600 кВт, отвечающим всем требованиям мировых стандартов.

www.vdm-plant.ru