

Рис. 4. Изменение СКЗ виброускорений в месте установки виброизолирующих опор в зависимости от режима работы двигателя

Следует отметить, что наиболее нагруженными являются виброизолирующие опоры, воспринимающие опрокидывающий момент двигателя.

Таким образом, на основании полученных расчетных и экспериментальных данных можно сделать следующие выводы:

- 1) При оценке вибрационного состояния силового агрегата нельзя выделить режим работы, на котором бы проявились все «слабые» места конструкции;
- 2) Наибольшее время двигатель в составе транспортного средства МАЗ-544008 работает на режимах, на которых не наблюдаются пиковые значения среднеквадратичных виброускорений.

#### Литература:

1. Павлов М.Е. Разработка метода анализа вибрационного состояния дизельных двигателей [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02/ Павлов Михаил Евгеньевич – Ярославль, 2005. – 127с.
2. Яковенко А.Л. Разработка методики и инструментальных средств для прогнозирования структурного шума двигателя внутреннего сгорания [Текст]: Дис. ... канд. техн. наук: 05.04.02/ Яковенко Андрей Леонидович – Москва, 2009. – 24с.

### ОДИН ИЗ МЕТОДОВ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ СУДОВОГО ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ ПО ФАКТИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Погуляева М.А. (Санкт-Петербургский государственный морской технический университет)

В работе [1] указывается, что трудоемкость технической эксплуатации, в первую очередь, зависит от качества проекта и постройки судна. Именно на этих стадиях создания судна закладывается уровень надежности и эксплуатационной технологичности судна и судовой техники, характеризующей безотказность и долго-

вечность судна и его элементов, их приспособленность к выполнению технического обслуживания (ТО) и ремонта.

Согласно [1], метод ТО и ремонта – это совокупность технологических и организационных правил выполнения ТО и ремонта, а также правил по определению объектов и периодичности работ, обеспечивающих поддержание требуемого уровня технического состояния и надежности объекта. В зависимости от характера информации о надежности и техническом состоянии объектов, используемой для назначения периодичности и объема ТО и ремонта, различают следующие методы ТО и ремонта техники: регламентный, по отказам с контролем уровня надежности, по состоянию с периодическим контролем технического состояния, по состоянию с непрерывным контролем параметров технического состояния по параметрам.

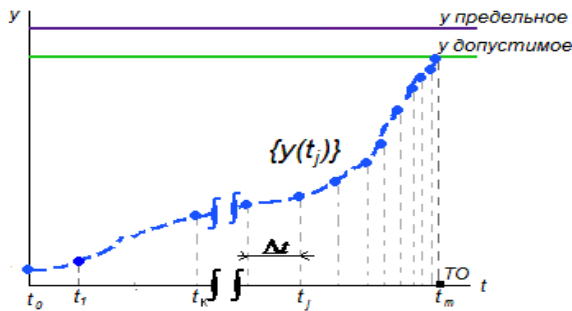


Рис. 1. Иллюстрация метода ТО с убывающим интервалом контроля

Анализ методов ТО показывает, что предпочтительным будет являться метод толерантный по отношению к обслуживанию по состоянию с периодическим контролем и по состоянию с непрерывным контролем. Таким методом является метод ТО по состоянию с убывающим временным интервалом контроля  $\Delta t = (t_j - t_{j-1}) = \text{var}$  диагностического параметра  $y$  (рисунок 1).

Множество моментов времени  $t_j$  измерения диагностического параметра  $y$  определяется из выражения:

$$\{t_j\} = \frac{(j \cdot T_{\text{пр}})}{m} + 0,5 \cdot j \cdot (m - j) \cdot [t^1] + t_k, \quad (1)$$

где  $\{t_j\}$ ,  $j = \overline{1, m}$  – конечное множество конкретных моментов измерения параметра  $y$  на интервале прогнозирования  $T_{\text{пр}}$ ;  $[t^1]$  – единица времени интервала измерений, например, 1 час, 1 день и т.д.;  $t_k$  – момент последнего изменения [2]. Количество измерений  $m$  определяется из условия

$$m(m - 1) \leq 2T_{\text{пр}}. \quad (2)$$

Если первоначально принять  $T_{\text{пр}} = T_{\text{то1}}$ , где  $T_{\text{то1}}$  – регламентированный момент выполнения первого технического обслуживания, из выражения (2) можно найти  $m$ , а по выражению (1) определить конкретные моменты времени  $t_j$  выполнения измерений.

Предположим, что выполнены все  $m$  измерений и это дало конечное множество данных  $\{y(t_j)\}$ ,  $j = \overline{1, m}$ , как показано на рисунке 1. Как правило, данные измерений, представленные множеством пар  $\{y_j, t_j\}$  дают на плоскости  $(y, t)$  существенный разброс точек с соответствующими координатами, по которым необходимо выдвинуть гипотезу о подходящем типе функции тренда  $\mathcal{Y}(t)$ , являющейся аппроксимирующей функцией множества  $\{y(t_j)\}$ . Следует учитывать, что множество  $\{y(t_j)\}$  «маскирует» истинную функцию тренда вследствие случайных воздействий, вызывающих искажение результатов измерений. Назовем множество  $\{y(t_j)\}$  ансамблем  $A(y, t)$ , если такое предположение осуществляется. Практически это множество можно считать ансамблем, если удастся найти такую фазовую плоскость  $(x, z)$ , где  $x = x(y, t)$  и  $z = z(y, t)$ , на которой точки  $x_j, z_j$  с некоторой дисперсией  $s^2$  располагаются вдоль некоторой гладкой кривой или лучше прямой  $x(z)$ .

После того, как установлено наличие ансамбля, переходят к идентификации  $x(z)$ , а затем, действуя «обратным ходом» определяют тип и параметры функции тренда  $\mathcal{Y}(t)$ . Поскольку, как отмечалось, экспериментальный тренд отличается разбросом точек на плоскости  $(y, t)$ , то очевидно, что следует применить какую-нибудь сглаживающую операцию, например, интегрирование I. Далее осуществляется анализ прямых фазовых плоскостей  $(x, z)$  типа  $x=y$  и  $z=I_k y$ , где  $I_k$  – интегралы кратности  $k$  ( $k=1,2,\dots$ ) с пределами  $t_0=0$  и  $t_m=t$  от функции  $y(t)$ :

$$y(t) = a_0 + a_1 I_k(t). \quad (3)$$

Оценки значений коэффициентов  $a_0$  и  $a_1$  вычисляются по множеству  $\{y_i, I y_i\}$  методом наименьших квадратов.

Уравнение прямой (3) фазовой плоскости  $(y, I_k)$  является интегральным, решение которого есть [3]:

$$y(t) = a_0 \cdot \exp(a_1 t) = \mathcal{Y}(t), \quad \text{при } k=1 \quad (4)$$

и

$$y(t) = a_0 \cdot \operatorname{ch}(\sqrt{a_1} t) = \mathcal{Y}(t), \quad \text{при } k=2. \quad (5)$$

В качестве оператора сглаживания ансамбля  $A(y, t)$  можно использовать также L-интеграл [4]. В этом случае решением уравнения прямой

$$y(t) = a_0 + a_1 L_k(t), \quad (6)$$

будет тренд типа

$$y(t) = \frac{a_0}{(1 - a_1 t)^2} = \mathcal{Y}(t), \quad \text{при } k=1 \quad (7)$$

и

$$y(t) = \frac{a_0 \cdot (1 + a_1 t)^2}{(1 - a_1 t)^2} = \mathcal{Y}(t), \quad \text{при } k=2. \quad (8)$$

Из этих четырех функций тренда  $\mathcal{Y}(t)$  следует выбрать ту, которая соответствует наименьшей дисперсии  $s^2$  на фазовой плоскости.

Метод идентификации экспериментальных трендов, разработанный профессором СПбГМУ Соболевым Леонидом Георгиевичем, находит практическое применение в задачах идентификации экспериментальных трендов.

Подставив в выражения (4), (5), (6) или (7)  $y(t)=y_{\text{доп}}$  можно определить время  $t_{\text{доп}}=t_m$ , которое, в принципе, с некоторой погрешностью по времени должно соответствовать времени выполнения регламентированного ТО. По идее эта погрешность не должна превышать величины, ожидаемой энтропийной относительной приведенной погрешности

$$g = 0,5 \sqrt{1 - r^2}, \quad (9)$$

где  $r$  - коэффициент корреляции фазовой плоскости:

$$r = \frac{1}{\left[ 1 + \frac{s^2_{\Delta y}}{s^2_y} \right]^{0,5}}. \quad (10)$$

В выражении (10)  $s^2_y$  - дисперсия отдельных точек от их среднего арифметического значения  $\bar{y}$ ;  $s^2_{\Delta y}$  - дисперсия отдельных точек от линий  $y = a_0 + a_1 I_k(t)$  и  $y(t) = a_0 + a_1 L_k(t)$ .

Известно, что коэффициент корреляции  $r$  зависит от объема выборки  $n$ .

Если опираться на данные, приведенные в [5,6], то можно считать достаточным объем выборки  $n=10\dots 15$ , когда взаимная корреляционная функция  $R$  восстанавливается с погрешностью не более 1...2%.

Поскольку между взаимной корреляционной функцией  $R$  и коэффициентом корреляции  $r$  есть взаимосвязь через дисперсии, то условие достаточности объема выборки  $n=10\dots 15$  примем за исходное для начала организации процедуры определения аппроксимирующей функции  $y(t)$  и прогнозирования изменения технического состояния СЭО. Граничным значением коэффициента корреляции, ниже которого аппроксимирующая функция  $y(t)$  не будет приниматься к рассмотрению, считается  $r=0,707$ . Данному значению коэффициента корреляции соответствует условие равенства мощности сигнала  $S^2_y$  мощности шума  $S^2_{\Delta y}$ .

Рассмотрим, как изменяется значение коэффициента корреляции от объема выборки. В работе [7] приводится графическая зависимость отношение давления сжатия  $P_{сж}$  к температуре выхлопных газов  $\Theta_r$  дизеля (рисунок 2). Это отношение применяется для определения качества уплотнения между поршнем и цилиндром и в нашем случае является контролируемым параметром  $y(t)$ , определяющим техническое состояние цилиндропоршневой группы (ЦПГ) дизеля. Своевременное ТО дизеля приводит к повышению этого отношения.

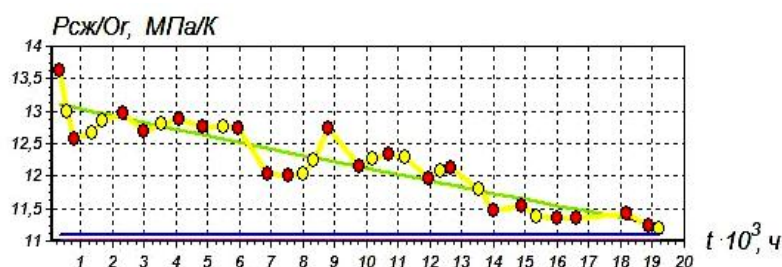


Рис. 2. Зависимость  $P_{сж}/\Theta_r$  от времени работы двигателя и аппроксимирующей функции

Расчет значений коэффициента корреляции проводился по красным точкам, как наиболее отражающим неравномерность  $P_{сж}/\Theta_r$  в функции времени с учетом увеличения количества исходных данных, т.е.  $y(t_j)$ ,  $j=5,20$ . Таким образом, объем выборки составил  $n=20$ . На рисунке 4 показано изменение значения коэффициента корреляции  $r$ , определяемого по выражению (10) с использованием операторов сглаживания  $I$  и  $L$  в зависимости от объема выборки  $n$ .

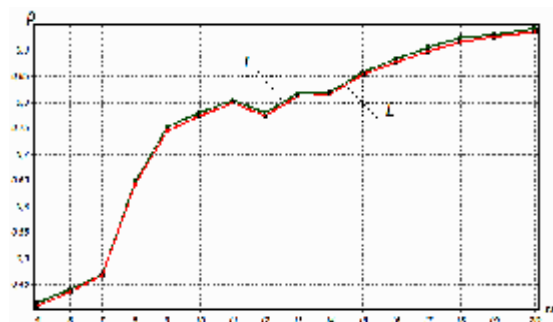


Рис. 3. Изменение значения коэффициента корреляции от объема выборки

Как видно из рисунка 3 значения коэффициента корреляции для обеих фазовых плоскостей  $(y, y_U)$  и  $(y, y_L)$  достигают практически одинакового максимального значения  $r=0,933$ . Это значит энтропийная относительная приведенная погрешность  $g=0,18=18\%$ , но при условии использования всего временного интервала наблюдений параметра  $y(t)$ .

Теперь поставим следующее условие. Пусть отношение  $P_{сж}/\Theta_r$  в функции времени есть  $y(t)$ , которое при достижении допустимого значения  $y_{доп}=11,5$  будет указывать на необходимость выполнения ТО ЦПГ. Объем выборки ограничим моментом времени  $t=10000$  часов, включая все точки (рисунок 2), и проведем операцию

сглаживания временного ряда  $y(t)$  операторами I и L. Результаты сглаживания представлены фазовыми плоскостями  $(y, y_I)$  и  $(y, y_L)$  на рисунке 4.

Как видно из рисунка 4, фазовой плоскости  $(y, y_I)$  соответствует несколько больший коэффициент корреляции, а поэтому в качестве аппроксимирующей функции выберем функцию вида:

$$y(t) = 13,102 \cdot \exp(-0,0077 \cdot t) = \varphi(t), \quad (11)$$

показанную на рисунке 2 зеленым цветом. В качестве значения коэффициента корреляции примем  $r \geq 0,769$ , тем самым оценим ожидаемую энтропийную погрешность  $g = 0,32$ . Как видно из выражения аппроксимирующей функции, параметр тренда  $a_1 = -0,0077$  является нелинейно входящим, но его оценка выполнялась для условия линейного вхождения, т.к. решалось уравнение прямой фазовой плоскости  $(y, y_I)$ .

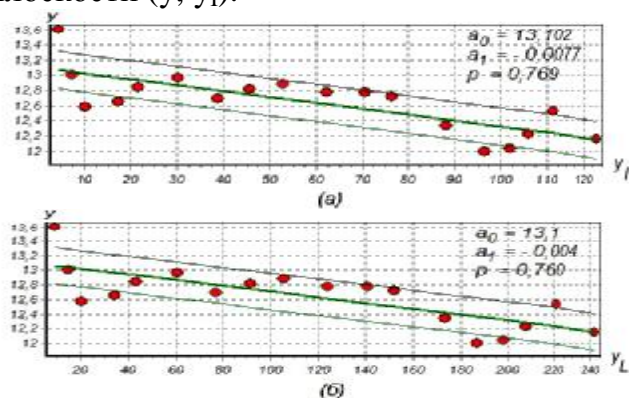


Рис. 4. Фазовые плоскости:

- а - применения оператора сглаживания I;
- б- применения оператора сглаживания L

при  $a_1'' = -0,0102$  в аппроксимирующую функцию (11) при  $y(t) = y_{\text{доп}} = 11,5$  получим по выражению (11), что допустимое значение отношения  $P_{\text{сж}} / \Theta_r$  будет достигнуто в момент времени  $t = 13445$ . При этом упреждение процесса составило 4200 часов с погрешностью 555 часов, т.е. порядка 3,5%.

В заключение следует отметить, что практическая реализация рассмотренного алгоритма обработки информации о текущем техническом состоянии СЭО позволит осуществить переход от жестко регламентированного технического обслуживания к менее затратному обслуживанию по фактическому состоянию на основе компьютерных информационных технологий.

#### Литература:

1. Никитин А.М. Управление технической эксплуатацией судов / СПб: Изд-во Политехнического университета, 2006. 360с.
2. Хруцкий О.В. Техническая диагностика / СПб: Изд-во СПбГМТУ, 2005. 208с.
3. Соболев Л.Г., Хруцкий О.В. К вопросу об идентификации экспериментальных трендов // Контроль. Диагностика. 2004. №2. С.39-42.
4. Соболев Л.Г. Об одном операционном методе идентификации экспериментальных трендов// Автоматика и телемеханика. 2000. №11. С.114-122.
5. Волгин В.В., Каримов Р.Н. Оценка корреляционных функций в промышленных системах управления / М: Энергия, 1979. 79с.
6. Цапенко М.П. Измерительные информационные системы / М: Энергия, 1974. 320с.

7. Моек Е., Штрикерт Х. Техническая диагностика судовых машин и механизмов / Л: Судостроение, 1986. 232с.

## **МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МЫЛА КАК ПЕРСПЕКТИВНЫЙ ПРОТИВОИЗНОСНЫЙ И АНТИФРИКЦИОННЫЙ КОМПОНЕНТ СМАЗОЧНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДВС**

**Путинцев С.В.** (Московский государственный университет им. Н.Э.Баумана)

В настоящее время на рынке автохимии достаточно много сомнительных по описанию механизма действия, подчас не только малоэффективных, но и вредных для системы смазки двигателя и окружающей среды трибологических составов. В то же время растущие нагрузки на детали двигателя вкупе с не всегда надлежащим качеством смазочных материалов провоцируют повышенный износ деталей и рост механических потерь, что требует поиска новых, эффективных и экологически чистых способов ресурсосбережения в области поршневых машин.

Одним из традиционных способов снижения интенсивности изнашивания выступает повышение твердости сопряженных поверхностей деталей. Однако, как можно видеть из рассмотрения известных зависимостей для линейного износа [1] повышение твердости может быть произведено в ограниченных пределах (и с учетом твердости контртела), в противном случае деталь с большей твердостью по сравнению с контактирующей деталью вызовет усиление изнашивания последней. С учетом этого ограничения, логичным может быть признано повышение твердости не самой поверхности детали, а покрывающих ее граничных пленок.

Авторы фундаментальных исследований в области физики граничного трения [2, 3 и др.] сходятся во мнении, что среди большого числа веществ, формирующих защитные граничные пленки на смазываемых деталях, наилучшим сочетанием критериев «эффективность-безопасность» характеризуются соли жирных кислот, называемые еще металлическими мылами. При этом, по совокупности антифрикционных и прочностных (на смятие-разрыв) свойств граничной пленки первенствуют металлические мыла на основе стеариновой кислоты  $\text{CH}_3(\text{-CH}_2\text{-})_{15}\text{COOH}$  - стеараты.

Особенно важно то, что по сравнению с другими распространенными типами трибологически эффективных веществ, например, хлором, серой или фосфором – металлические мыла совершенно не опасны: ни коррозионно, ни экологически. Факт их безопасности подкрепляется широким применением стеаратов в пищевой и косметической отраслях.

Из рассмотрения модели граничной пленки согласно А.С. Ахматову [2], приведенной на рис.1., видно, что расположение слоев молекул металлического мыла отличается структурированностью в виде строго вертикальной ориентации по отношению к поверхности (так называемый «молекулярный ворс») и многозвенностью цепей, состоящих (считая от поверхности) из: диполя карбоксильной группы  $\text{COOH}$ , метиленовой группы  $\text{CH}_2$  и метильного окончания  $\text{CH}_3$ .