Информативность признаков для диагностики состояния подшипников на основе обнаружения локальных неоднородностей

Чувилина Е. В.
e.v.chuvilina@gmail.com
Рыбинский государственный авиационный технический университет имени П. А. Соловьева

Рассматривается задача диагностики состояния подшипников газотурбинных двигателей (ГТД) как задача распознавания образов на основе обнаружения локальных неоднородностей в вибросигнале. Предложены и исследованы ряд признаковых пространств, выделены наиболее информативные из них, имеющие линейную разделимость, а именно: изменение фрактальной размерности, векторы коэффициентов сноса, матрицы зависимости приращения от величины сигнала.

Ключевые слова: *вибродиагностика, локальные неоднородности, фрактальная размерность, вектор коэффициентов сноса, подшипники, информативность.*

Informative Features for Diagnostics of Bearings by Detection of Local Inhomogeneities

Chuvilina E. V.
P. A. Solovyev Rybinsk State Aviation Technical University

The task of diagnostics of bearings in a gasturbine engine is seen as a pattern recognition problem based on the detection of local inhomogeneities in the vibrosignal. A number of features are proposed and investigated; most informative ones having a linear separability, namely, fractal dimension, drift vector, and matrix of dependence increments from the signal, are allocated.

Keywords: *vibrodiagnostics, local inhomogenities, fractal dimension, vector of drift coefficients, bearings, informativity.*

Введение

Техническое состояние ГТД во многом определяет надежность и безопасность летательных аппаратов. По мере эксплуатации в деталях двигателя могут возникать дефекты. Взаимодействие отдельных узлов ГТД приводит к генерации сложных колебательных процессов, что позволяет контролировать и диагностировать состояние ГТД по вибрационным параметрам. Одним из критических элементов, от которых зависит работоспособность двигателя, являются подшипниковые узлы, поскольку они воспринимают большую часть статических и динамических усилий, возникающих в работающем механизме. Задача задачи диагностики технического состояния подшипников ГТД в настоящее время решена неудовлетворительно, оптимальное решение не найдено. В производстве для получения и исследования сигналов подшипников используются виброизмерительные приборы ИВУ-1 и MIC-200 [1], включающие в себя набор алгоритмов, таких как преобразование Фурье, вычисление корреляционных функций, статистических характеристик (среднеквадратичное значение, эксцесс, асимметрия), распознавание состояния подшипника выполняется оператором путем перебора получаемых характеристик. При диагностике этими приборами возникают ситуации, когда кондиционный подшипник относят к плохим. Возникает задача классифиции, при которой необоснованно снятые подшипники распознавались бы как кондиционные. Практически все виброакустические методы контроля основаны либо на анализе самого сигнала, либо на анализе его частотных характеристик. В статье [2] представлены методы на основе декомпозиции вибросигнала по Wavelet-коэффициентам и на основе графического представления сигнала, которые хотя и помогают уточнить результаты анализа, но имеют скорее обощающий, чем различающий характер. В статье [3] предложен метод характерных последовательностей, имеющий высокую информативность, однако являющийся очень трудоемким и времезатратным.

Таким образом, возникает задача поиска наиболее информативных признаков, которые можно использовать для классификации подшипников ГТД.

Задача диагностики состояния подшипников газотурбинных двигателей

Рассматривается задача диагностики технического состояния межвальных подшипников ГТД (кондиционный, некондиционный) по оцифрованному вибросигналу, полученному прибором ИВУ-1. Для получения вибросигнала в зоне узла межвального подшипника на неработающем двигателе с помощью штанги внутрь вала турбины низкого давления (НД) устанавливается датчик, в процессе свободного вращения ротора измеряются амплитуды вибраций.

Пусть $T = 0, \pm 1, \pm 2, \ldots$ — бесконечная ось дискретного времени, $T_{t_0}^{t_0+N} = \{t \in T | t_0 \leqslant t < t_0 + N\}$ — некоторый ее фрагмент, быть может, неограниченный справа, если $N \to \infty$. Ставится задача принятия по наблюдаемой цифровой последовательности $S_{t_0}^{t_0+N}$ бинарного решения относительно исправности подшипника $S_{t_0}^{t_0+N} \to \{0, 1\}$. В некондиционных подшипниках возникают возмущения, отсутствующие в хороших: по мере появления дефектов на кинематических узлах подшипника, в вибросигнале появляются отдельные, короткие амплитудные пики, соответствующие моментам соударения дефектов; с развитием дефекта увеличиваются амплитуды пиков и их количество. По наличию и количеству неоднородностей в вибросигнале, соответствующих моментам появления дефектов, можно сформировать признак для определения состояния подшипника. Поэтому предлагается решать поставленную задачу на основе обнаружения локальных неоднородностей как изменений свойств вибросигнала подшипника.

Задача обнаружения изменения свойств случайных процессов сформулирована В. В. Моттлем [4] следующим образом. Наблюдаемый случайный процесс $S_{t_0}^{t_0+N} = (s_t, t_0 \leqslant t < t_0 + N)$ характеризуется скачкообразным изменяющимся значением параметра c:

$$c = \begin{cases} c_1, & t_0 \leqslant t < t_1; \\ c_2, & t_1 \leqslant t < t_2; \\ \ldots & \\ c_G, & t_{G-1} \leqslant t < t_G; \\ c_{G+1}, & t_G \leqslant t < t_0 + N. \end{cases}$$

Значение $G = 0$ будем интерпретировать как неизменное значение параметра в течение всего интервала наблюдения $c = c^1 = const, t_0 \leqslant t < t_0 + N$. Требуется, анализируя реализацию случайного процесса $S_{t_0}^{t_0+N}$, определить число G моментов скачкообразного изменения параметра, оценить моменты $t_1, \ldots t_G$. Скачкообразные изменения параметра c для вибросигнала подшипника будут соответствовать моментам возникновения дефектов. Некондиционным подшипникам соответствует более резкое изменение параметра c и большее количество G таких изменений, чем для кондиционных. Таким образом, по изменению параметра c можно судить о состоянии подшипника.

Обнаружение изменений любой функции распределения или какой-либо иной вероятностной характеристики может быть сведено к обнаружению изменения математического ожидания в некоторой новой случайной последовательности, сформированной из исходной (диагностическая последовательность) [5].

По реализации $S_{t_0}^{t_0+N}$ строится новая диагностическая последовательность F_0^{l-1} следующим образом.

Реализация $S_{t_0}^{t_0+N}$ представляется в виде последовательности перекрывающихся блоков длины b. Если новый блок начинается через каждые $b/2$ отсчетов, то их количество $l = [2N/b]$. Таким образом, реализация раскладывается на элементарные участки:

$$S_{t_0}^{t_0+N-1} \to [e_{t_0}^{t_0+b-1}, e_{t_0+b/2}^{(t_0+3b)/2-1}, \ldots, e_{t_0+ib/2}^{t_0+(i+2)b/2-1}, \ldots, e_{t_0+(l-1)b/2}^{t_0+N-1}]$$

Для каждого блока $e_{t_0+ib/2}^{t_0+(i+2)b/2-1}$ рассчитывается диагностический признак f_i. Получается последовательность

$$F_0^{l-1} = (f_i, 0 \leqslant i \leqslant l-1)$$

Моменты скачкообразного изменения значения диагностического признака F будут соответствовать моментам изменения параметра c в исходном процессе $S_{t_0}^{t_0+N-1}$ с точностью $b/2$. Таким образом, задача обнаружения локальных неоднородностей (изменения параметра c) в исходном процессе $S_{t_0}^{t_0+N-1}$ сводится к задаче обнаружения изменения свойств в F_0^{l-1}.

Состояние объекта (подшипника ГТД) может быть описано совокупностью определяющих его параметров (признаков). Однако не все признаки вносят одинаковый вклад в принятие решения. Важным этапом диагностики и классификации является выбор наиболее информативных признаков: система признаков должна обладать большой диагностической ценностью [6]. Использование неинформативных признаков снижает эффективность процесса диагностики.

В качестве диагностических признаков рассматриваются локальные фрактальные размерности, изменение фрактальной размерности, локальные матрицы зависимости величины приращения сигнала от самой величины сигнала, локальные векторы коэффициентов сноса, оценивается их информативность. Под локальностью понимается, что признаки рассчитываются не на всем сигнале, а на блоке сигнала.

Алгоритмы вычисления признаков на основе зависимости приращений от величины сигнала

Определение 1. *В точке t приращение сигнала — это разность между текущим и предыдущим значениями сигнала: $\delta_t = s_t - s_{t-1}$, $t = 1, \ldots, N$. Множество приращений для точек всего сигнала образуют последовательность приращений сигнала: $\Delta = \{\delta_1, \ldots, \delta_N\}$*

Множество значений всего сигнала S разбивается на n упорядоченных диапазонов, множество значений приращений разбивается на m упорядоченных диапазонов.

Разбиение множества значений сигнала:

$$\widetilde{S} = \{\widetilde{S}_1, \ldots, \widetilde{S}_n\}, \text{ где } \forall p = 1, \ldots, n-1 \ \forall s \in \widetilde{S}_p, s' \in \widetilde{S}_{p+1} \ s < s'$$

Разбиение множества приращений сигнала:

$$\widetilde{\Delta} = \{\widetilde{\Delta}_1, \ldots, \widetilde{\Delta}_m\}, \text{ где } \forall q = 1, \ldots, m-1 \ \forall \delta \in \widetilde{\Delta}_q, \delta' \in \widetilde{\Delta}_{q+1} \ \delta < \delta'$$

Таким образом, получается $n \times m$ пар диапазонов. В данной работе рассматривается разбиение множества значений и множества приращений сигнала на три равных диапазона: большие, средние и маленькие значения.

Вычисление матриц зависимости величины приращения от величины сигнала для блока сигнала

Для каждого блока вычисляется матрица H_i, содержащая количество точек, соответствующих парам диапазонов. Затем эта матрица нормируется по строкам.

Формально это можно записать следующим образом:

для $i = 0, \dots, l-1$
  для $p = 1, \dots, n$
    для $q = 1, \dots, m$
      $A_{i\,pq} = \left|\{s_t \colon s_t \in \widetilde{S}_p, \delta_t \in \widetilde{\Delta}_q, t = t_0 + ib/2, \dots, t_0 + (i+2)b/2 - 1\}\right|$
      $B_{ip} = \left|\{s_t \colon s_t \in \widetilde{S}_p, t = t_0 + ib/2, \dots, t_0 + (i+2)b/2 - 1\}\right|$
      $H_{i\,pq} = A_{i\,pq}/B_{ip}$

Вычисление векторов коэффициентов сноса для блока сигнала

Определение 2. *Коэффициент сноса для диапазона значений сигнала — среднее значение приращения для точек блока, в которых значение сигнала соответствует рассматриваемому диапазону. Коэффициенты сноса блока для каждого диапазона значений образуют вектор коэффициентов сноса.*

Таким образом, для каждого блока рассчитывается вектор коэффициентов сноса V_i длины n.

Формально это можно записать следующим образом:

для $i = 0, \dots, l-1$
  для $p = 1, \dots, n$
    для $q = 1, \dots, m$
      $A_{i\,pq} = \left|\{s_t \colon s_t \in \widetilde{S}_p, \delta_t \in \widetilde{\Delta}_q, t = t_0 + ib/2, \dots, t_0 + (i+2)b/2 - 1\}\right|$
      $V_{i\,p} = \sum\limits_{q=1}^{q=m} \frac{A_{i\,pq}}{m}$

Алгоритм вычисления фрактальной размерности для блока сигнала

Компьютерные алгоритмы вычисления размерности Минковского [7] r обычно опираются на соотношение:

$$\log N(\varepsilon) = \log \varphi - \log \varepsilon$$

где Φ - константа, $N(\varepsilon)$ - минимальное число клеток со стороной ε, необходимых для покрытия фрактала (блока сигнала). График зависимости от $\log{(N)}_\varepsilon$ от $\log \varepsilon$ - прямая с угловым коэффициентом r.

Для определения неизвестных параметров φ и r необходимо оценить $N(\varepsilon)$ для нескольких значений ε. Если использовать клетки только двух размеров ε_1 и ε_2, то неизвестные φ и r можно определить из системы уравнений:

$$\log{(N)}_{\varepsilon_1} = \log \varphi - \log \varepsilon_1$$

$$\log{(N)}_{\varepsilon_2} = \log \varphi - \log \varepsilon_2$$

Тем не менее, учитывая, что величины $N(\varepsilon)$ могут быть найдены лишь приближенно, имеет смысл оценить $N(\varepsilon)$ для большого количества различных значений ε. В этом случае получится переопределенная система (число уравнений больше числа неизвестных), которая скорее всего не будет иметь точного решения. Далее определяются значения $\log\varphi$ и r, минимизирующие сумму квадратов отклонений.

Пусть $N_i(\varepsilon)$ – минимальное число клеток со стороной ε, необходимых для покрытия i-го блока, s_{max} и s_{min} – максимальное и минимальное значения в пределах всей реализации соответственно. Рассматриваются размеры клеток ε_k, $k = 0, \ldots, n$, где

$$\varepsilon_0 = (s_{max} - s_{min})/b,\ \varepsilon_k = 2^k(s_{max} - s_{min})/b,\ \varepsilon_n < b/3$$

Для каждого ε_k вычисляется $N_i(\varepsilon_k)$. Размерность i-го блока R_i оценивается как коэффициент наклона прямой, образованной графиком зависимости $\log N_i(\varepsilon)$ от $log\varepsilon$, который вычисляется по методу наименьших квадратов.

Формально алгоритм вычисления размерности можно записать следующим образом:

для $k = 0, \ldots, n\colon \varepsilon_n < b/3$
  $\varepsilon_k = 2^k(s_{max} - s_{min})/b$
  $N_i(\varepsilon_k)$=`CalcSquares(`$S_{t_0+ib/2}^{t_0+(i+2)b/2-1}$`, `$\varepsilon_k$`)`
R_i=`RbyMNK(`$\{N_i(\varepsilon_k)\}$`, `$\{\varepsilon_k\}$`)`

Здесь функция `CalcSquares(`$S_{t_0+ib/2}^{t_0+(i+2)b/2-1}$`, `$\varepsilon_k$`)` вычисляет минимальное количество клеток со стороной ε_k, необходимых для покрытия участка графика, соответствующего i-му блоку, функция `RbyMNK(`$\{N_i(\varepsilon_k)\}$`, `$\{\varepsilon_k\}$`)` вычисляет размерность блока по методу наименьших квадратов.

Алгоритм обнаружения локальных неоднородностей по фрактальной размерности

Изменение фрактальной размерности на соседних блоках $\Delta R_i = R_i - R_{(i-1)}$ сравнивается с величиной фрактальной размерности на $(i-1)$-м блоке. Считается, что обнаружена локальная неоднородность, если изменение размерности превышает $R_{(i-1)}$ более чем в α раз, где α — заданный порог:

$$\Delta R_i / R_{(i-1)} > \alpha.$$

Отдельно рассматривается как общее количество неоднородностей (Inh_{all}), так и количество неоднородностей, связанных с ростом (Inh_{up}) или уменьшением фрактальной размерности (Inh_{down}) – будем называть их *положительными* и *отрицательными*, соответственно.

$Inh_{all} = 0$
$Inh_{up} = 0$
$Inh_{down} = 0$
для $i = 0, \ldots, l$
  если $\Delta R_i / R_{(i-1)} > \alpha$ **то**
    если $R_i > R_{(i-1)}$ **то**
      $Inh_{down} = Inh_{down} + 1$
    иначе
      $Inh_{up} = Inh_{up} + 1$
    $Inh_{all} = Inh_{all} + 1$

Оцениваются информативности признаков Inh_{all}, Inh_{up}, Inh_{down} для разных размеров блока b и величины порога α. Выбирается та пара, при которых достигается максимальная информативность.

Оценка информативности признаков

Для оценки ценности предлагаемых диагностических признаков, рассчитывается их информативность I. Основной критерий информативности признакового пространства X вычисляется как отношение среднего межклассового расстояния к среднему внутриклассовому [8]:

$$I(X) = \frac{\overline{\rho_{IJ}}}{\overline{\rho_m}}$$

где ρ_m — *внутриклассовое расстояние* (среднее расстояние между объектами класса m), и ρ_{IJ} — *расстояние между классами* (среднее между расстояние между объектами разных классов). Такое определение понятия информативности может служить критерием информативности, поскольку характеризует компактность расположения объектов одного класса и удаленность объектов разных классов в признаковом пространстве. Используется евклидово расстояние, в многомерном пространстве оно равно

$$d(x_{I,k}, x_{J,l}) = \sqrt{\sum_{u=1}^{\dim X} (x_{I,k}(u) - x_{J,l}(u))^2},$$

где $\dim X$ — количество признаков, размерность пространства объектов, $d(x_{I,k}, x_{J,l})$ — евклидово расстояние между точками признакового пространства, которые соответствуют объектам k и l классов I и J, $x_{I,k}(u)$ — значение u-го признака k-го объекта класса I.

Внутриклассовое Евклидово расстояние :

$$\rho_m = \frac{2 \sum\limits_{1 \leqslant k < l \leqslant K_m} d(x_{m,k}, x_{m,l})}{K_m(K_m - 1)},$$

где K_m — количество объектов в классе m.

Евклидово расстояние между классами:

$$\rho_{I,J} = \frac{\sum\limits_{k=1}^{K_I} \sum\limits_{l=1}^{K_J} d(x_{I,k} - x_{J,l})}{K_I \cdot K_J}.$$

Отношение среднего межклассового Евклидова расстояния в признаковом пространстве к среднему внутриклассовому расстоянию в признаковом пространстве X:

$$I(X) = \frac{2 \sum\limits_{1 \leqslant I < J \leqslant M} \rho_{I,J}}{(M-1) \sum\limits_{m=1}^{M} \rho_m}.$$

Эксперимент

Для проведения эксперимента используется выборка вибросигналов подшипников трансмиссии ГТД, предоставленная «НПО «Сатурн» [1]. В нее входят 6 оцифрованных вибросигналов подшипников: два кондиционных, два некондиционных и два необоснованно снятых. Размер выборки небольшой, но была необходимость получить результаты именно на этих данных. Частота дискретизации сигналов 10 кГц, длина реализаций 30000 отсчетов. Выборка может быть разбита на три класса: B — неисправные, C — кондиционные, (правильно распознанные с помощью прибора ИВУ-1) и N — необоснованно снятые (кондиционные, но ошибочно распознанные как плохие подшипники прибором ИВУ-1). Для решения задачи диагностики состояния подшипников можно рассматривать три класса (C, B, N) или два класса $(C \cup N, B)$. В данной работе рассматриваются оба случая.

Каждый вибросигнал разбивается на блоки длины b. Для каждого блока рассчитываются характеристики:

— матрица зависимости приращения от величины сигнала;
— вектор коэффициентов сноса;
— фрактальная размерность.

Для соседних блоков оцениваются:

— евклидово расстояние между матрицами зависимости приращения от величины сигнала;
— евклидово расстояние между векторами коэффициентов сноса;
— изменение фрактальной размерности;
— наличие локальной неоднородности по фрактальной размерности и определение отрицательная она или положительная.

Для всего сигнала оцениваются следующие диагностические признаки:

— среднее евклидово расстояние между матрицами зависимости приращения от величины сигнала;
— среднее евклидово расстояние между векторами коэффициентов сноса;
— средняя фрактальная размерность;
— среднее изменение фрактальной размерности;
— общее количество неоднородностей;
— количество положительный неоднородностей;
— количество отрицательных неоднородностей.

Параметры размер блока b и порог для определения неоднородности α используются для вычисления признаков:

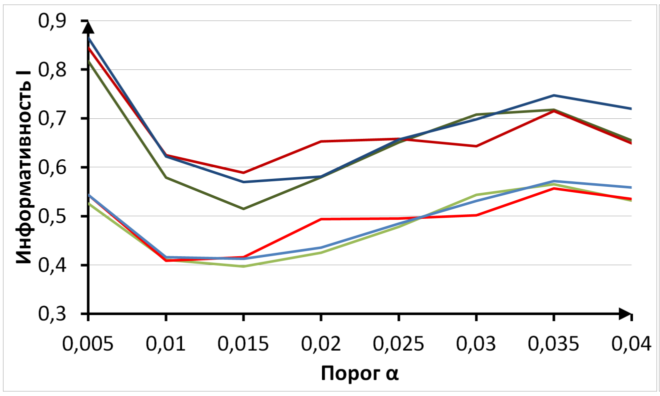
— общее количество неоднородностей;
— количество положительный неоднородностей;
— количество отрицательных неоднородностей.

Проводятся эксперименты с разными значениями b и α, рассчитывается информативность каждого из получаемых признаков в отдельности. Пара (b, α) определяется по результатам, имеющим наибольшую информативность.

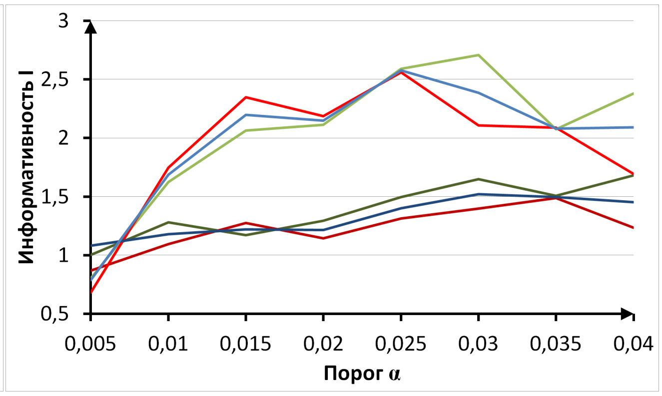
На рис. 1 представлены графики зависимости информативности признака от величины порога при разных размерах блока. Видно, что при очень маленьких и слишком больших размерах блока информативность падает, информативность признаков при решении задачи на трех классах выше, чем при решении на двух классах. Наибольшая информативность достигается использовании признака «Количество положительных неоднородностей» при параметрах $b = 16, \alpha = 0,03$ при решении задачи на трех классах.

Только от порога b зависит вычисление признаков:

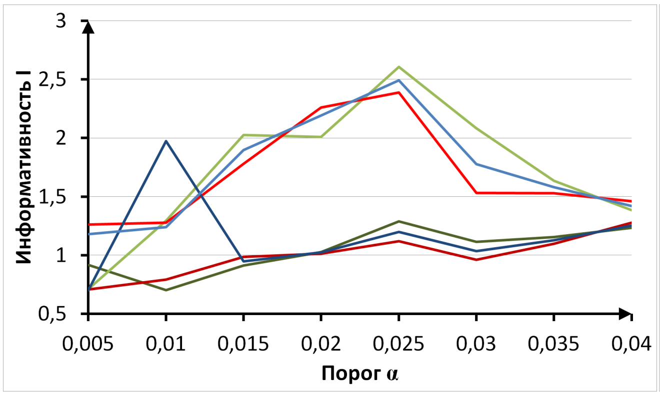
— среднее евклидово расстояние между матрицами зависимости приращения от величины сигнала;



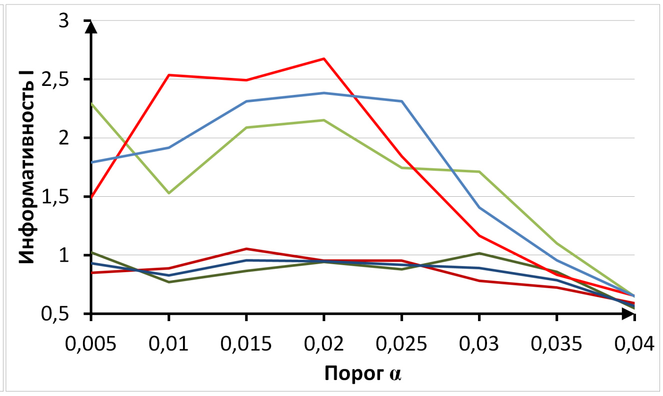
(а) Размер блока 8



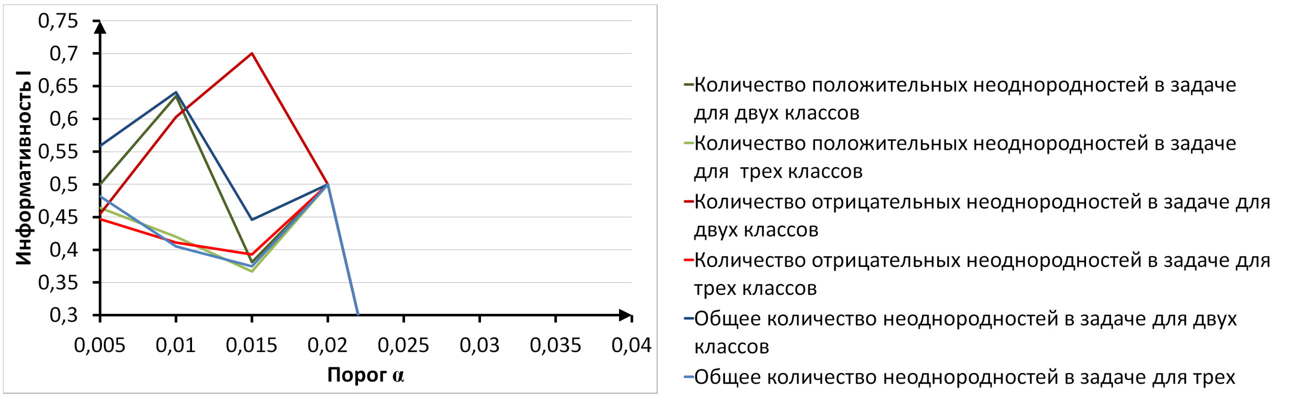
(б) Размер блока 16



(в) Размер блока 24



(г) Размер блока 32



(д) Размер блока 64

Рис. 1: Графики зависимости информативности признаков от величины порога

— среднее евклидово расстояние между векторами коэффициентов сноса;
— средняя фрактальная размерность;
— среднее изменение фрактальной размерности;

Графики зависимости информативности признака от величины порога при разных размерах блока (рис. 2) отражают, что наибольшая информативность достигается при использовании признака «Расстояние между векторами коэффициентов сноса» при $b = 24$ при решении задачи на трех классах $I = 2,267$.

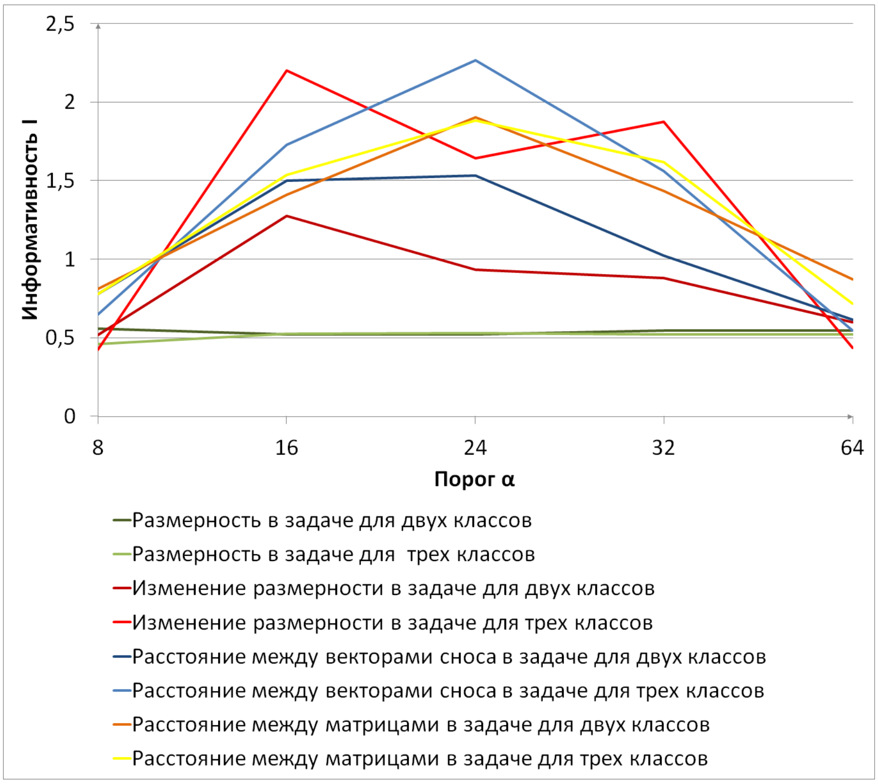


Рис. 2: График информативности в зависимости от размера блока b

При решении задачи на трех классах, признаки имеют большую информативность. С увеличением размера блока b изменения сглаживаются, их сложнее обнаружить, уменьшение размера блока b вызывает обнаружение большого количества ложных неоднородностей, что подтверждается информативностью признаков.

Можно выделить следующие признаки, подходящие для решения данной задачи:

1) количество «отрицательных» неоднородностей;
2) общее количество неоднородностей;
3) количество «положительных» неоднородностей;
4) расстояние между векторами коэффициентов сноса;
5) расстояние между матрицами зависимости приращения от величины сигнала.

Наибольшая информативность $I = 2,708$ достигается при использовании признака «Количество «положительных» неоднородностей» при размере блока $b = 16$ и пороге $\alpha = 0,03$.

Информативность признаков, получаемых с помощью виброизмерительных приборов ИВУ-1 и MIC-200 приведены в табл. 1.

Таблица 1: Информативность диагностических признаков систем ИВУ-1 и MIC-200

Используемый виброприбор, признак	Информативность	
	2 класса	3 класса
ИВУ-1 (СКО)	0.692	0.572
MIC-200 (спектральные признаки)	0.519	0.733

Заключение

В работе предложены алгоритмы вычисления диагностических признаков для диагностики состояния подшипников ГТД по вибросигналу на основе обнаружения в нем локальных неоднородностей: фрактальная размерность сигнала, матрицы зависимости величины приращения от величины сигнала, векторы коэффициентов сноса. Вычислена их информативность, определены наиболее информативные признаки — количество «положительных», «отрицательных», общее количество неоднородностей, расстояние между векторами коэффициентов сноса, расстояние между матрицами зависимости приращения от величины сигнала. Предложен метод настройки алгоритмов вычисления диагностических признаков, найдены оптимальные параметры на обучающей выборке. Информативность предлагаемых признаков в ряде случаев выше, чем информативность СКО, полученное по сигналу с аналогового выхода ИВУ-1, и спектральных признаков, определяемые с помощью комплекса MIC-200 (ВДК-44), следовательно, целесообразно работать с предлагаемыми признаками. Помимо задачи диагностики их можно применять для решения задач обнаружения локальных неоднородностей в сигналах.

Литература

[1] *Шепель В. Т., Комаров Б. И., Грызлова Т. П.* Выбор признаков для диагностики технического состояния трансмиссионных подшипников ГТД // Авиационно-космическая техника и технология. 2005. № 8(24). С.$\tilde{9}$7–100.

[2] *Облеухов А. А., Шалаев Д. С., Грызлова Т. П.* Анализ информативности Wavelet-представления вибросигналов в задаче диагностики состояния подшипников // Двигатели и энергоустановки аэрокосмических летательных аппаратов. 2011. № 10(87). С. 133–138.

[3] *Горшков А. П., Грызлова Т. П.* Система диагностики состояния сложных технических объектов по характерным последовательностям цифровых сигналов // Информационные технологии. 2008. № 9. С. 35–38.

[4] *Моттль В. В., Мучник И. Б.* Скрытые марковские модели в структурном анализе сигналов. М.: Физматлит, 1999. 352 с.

[5] *Бродский Б. Е., Дарховский Б. С., Каплан А. Я., Шишкин С. Л.* Непараметрическая сегментация электрических сигналов мозга // Автоматика и телемеханика. 1998. № 2. С. 23–32.

[6] *Биргер И. А.* Техническая диагностика. М.: Машиностроение, 1978. 240 с.

[7] *Кроновер Р. М.* Фракталы и хаос в динамических системах. Основы теории. М.: Постмаркет, 2000. 352 с.

[8] *Грызлова Т. П., Балыкина А. С.* Система оценки информативности диагностических признаков и признаковых пространств // Авиационно-космическая техника и технология. 2011. № 9(86). С. 148–154.