

УДК 621.438.003

Т.П. ГРЫЗЛОВА

Рыбинская государственная авиационная технологическая академия им. П.А. Соловьева, Россия

ПРОБЛЕМЫ АНАЛИЗА СИГНАЛОВ СЛОЖНЫХ ИСТОЧНИКОВ

Рассматриваются методы решения прикладных задач автоматического анализа сигналов. Во время испытаний сложных технических объектов ставятся такие задачи, как диагностика технического состояния, обнаружение значимых событий и распознавание последовательности состояний сложного источника и / или оценки моментов смены состояния источников. Рассмотрены модели составного и сложного источника, более близкой к физике исследуемого явления. Модель составного источника согласуется с анализом нестационарных процессов как кусочно-стационарных, а сигнал сложного источника требует структурного анализа и исключения из обрабатываемых данных фрагментов, непригодных для анализа. Предложены формализации управляемого и распределенного источников. Предложены нестационарные функционалы для анализа сигналов сложных источников во временной области, позволяющие выполнить декомпозицию сигнала, распознавание его элементов и решить задачу статистического синтеза рекуррентных и адаптивных алгоритмов приема как элементов, так и сигнала в целом. Существенно, что анализируются блоки данных переменной длины, согласованные по фазе (полуволны). Приведены характеристики функционалов от положительных полуволн вибросигналов подшипников трансмиссии ГТД.

Ключевые слова: сложный источник, цифровые сигналы, методы анализа, временной анализ, диагностика, обнаружение, оценка моментов смены состояния, распознавание состояний, управляемый источник, распределенный источник, нестационарный функционал, декомпозиция сигналов, структурный анализ.

Введение

При испытаниях и эксплуатации сложных технических объектов на основе анализа регистрируемых сигналов решается множество прикладных задач. Обобщая опыт решения задачи диагностики технического состояния подшипников трансмиссии газотурбинных двигателей (ГТД) [1 – 3], применения Wavelet-анализа нестационарных динамических процессов [4] и постановки задач исследования и контроля вибронгруженности ГТД [5], представляется целесообразным сформулировать прикладные задачи анализа сигналов сложных источников в общем виде. Можно выделить следующие прикладные задачи автоматического анализа сигналов при испытаниях или эксплуатации сложных технических объектов:

– диагностика технического состояния объекта, т. е. принятие по наблюдаемой цифровой последовательности \mathbf{s}_0^T бинарного решения относительно его исправности $\hat{\mathbf{r}} \in \{0, 1\}$:

$$\mathbf{s}_0^T \rightarrow \hat{\mathbf{r}}; \quad (1)$$

– обнаружение на фоне сравнительно однородного или существенно неоднородного процесса значимых событий, т.е. обнаружение в наблюдаемой

цифровой последовательности \mathbf{s}_0^T подпоследовательности $\mathbf{g}_{\tau_0}^{\tau_1}$, которая позволяет в реальном времени принять решение $\hat{\theta} = 1$, означающее, что на временном интервале $[\hat{\tau}_0, \hat{\tau}_1]$, $0 < \hat{\tau}_0 < \tau \leq \hat{\tau}_1 < T$ наблюдалось интересующее нас событие или явление:

$$\mathbf{s}_0^T \rightarrow \mathbf{g}_{\tau_0}^{\tau_1} \rightarrow \{\hat{\theta}, \hat{\tau}_0, \hat{\tau}_1\}; \quad (2)$$

– определение последовательности смены состояний из заданного множества, т.е. оценок состояний $\hat{\mathbf{a}}$ и оценок моментов переключения $\hat{\tau}_i, \hat{\tau}_{i+1}$, $i = 1..K$:

$$\mathbf{s}_0^t \rightarrow \hat{\mathbf{a}}_{\hat{\tau}_i}^{\hat{\tau}_{i+1}}. \quad (3)$$

Вследствие ошибок оценивания или необходимой для анализа и принятия решения задержки, моменты времени τ , когда действительно происходят значимые события или смена состояния объекта, отличаются от их оценок $\hat{\tau}$, в том числе, и количеством L . При $L < K$ мы, вероятнее всего, сталкиваемся с ложной тревогой, а при $L > K$ – пропускаем события или моменты переключения, но в общем случае характер ошибок может оказаться значительно более сложным, так как их может быть много и разного рода и при $L = K$.

Распространенный метод решения прикладных задач анализа сигналов является двухэтапным: обработка сигналов и принятие решения о текущем состоянии объекта или смене состояний. Используя методы обработки данных [6], сигнал отображают в пространство признаков \tilde{X} :

$$s_0^T \rightarrow \tilde{X} \quad (4)$$

или представляют в сигнальных пространствах (спектры, Wavelet-преобразования). Эвристически находят эффективные методы обработки, аналитически или методом моделирования определяют параметры алгоритмов обработки. На втором этапе формализуется метод принятия решения, ищутся оценки вероятностей ошибок первого и второго рода [7 – 9]. Часто метод принятия решения не может быть формальным, т. е. информация не может быть обработана автоматически. Одной из причин является скрытая или явная нестационарность диагностических сигналов. Хотя известно, что методы анализа нестационарных сигналов должны быть специальными, т.е. требуется учитывать конкретные силы, обусловившие нестационарность, обычно полагают, что нестационарные сигналы можно разбить на стационарные участки, а далее применять решения, полученные для стационарных сигналов [6]. Подобные методы согласуются с моделью составного источника [10], которая упрощает разработку методов и алгоритмов анализа, но не адекватна реальным процессам. В настоящей работе введено понятие сложного источника и разработаны две формальные модели сложных источников. Дана краткая предварительная оценка пригодности некоторых известных методов обработки данных и оптимального приема для решения задач (1) – (3). Была поставлена задача поиска нестационарных функционалов, позволяющих выполнить структурный анализ сигналов во временной области. Предложены

функционалы, привязанные к моментам пересечения сигналами нулевого уровня в одном направлении и вычисляемые на основе сравнения кодов полуоволн. Показана их полезность при вибродиагностике подшипников трансмиссии ГТД.

1. Формализация моделей сложных источников

Проблема классификации источников была поставлена в теории информации в связи с кодированием и разработкой методов компактного представления данных. Различают вероятностные источники – источники, которые могут создать любые сообщения, но с определенной вероятностью, и комбинаторные источники – источники, которые могут породить только некоторые сообщения. На практике часто используют понятия стационарных и марковских источников. Для описания нестационарных и дискретно-непрерывных сигналов пользуются моделью составного источника [10], когда предполагается статистическая однородность данных в пределах сегментов, коммутируемых дискретным источником, причем моменты переключений обычно полагаются известными (рис. 1). Данные моделируются стохастическими линейными дифференциальными уравнениями. На практике моменты переключения состояния источника неизвестны и, в лучшем случае, могут быть приблизительно рассчитаны, исходя из физики процессов. Кроме того, границы элементарных сигналов очень нечеткие, элементарные сигналы интерферируют. Велика вариативность элементов, как в пределах одного сигнала, так и выборке сигналов от однотипных источников. Таким образом, модель составного источника является конструктивным компромиссом.

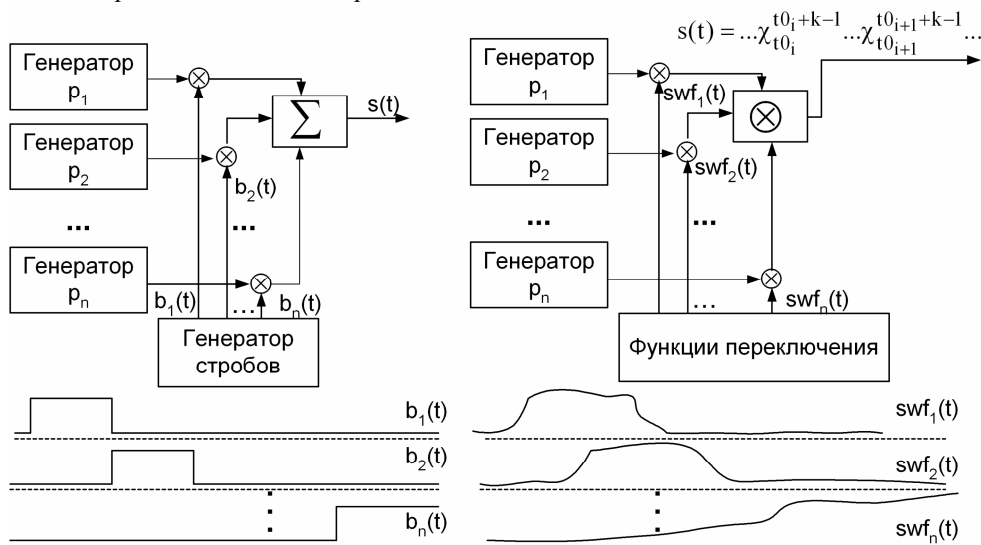


Рис. 1. Модели составного (слева) и сложного (справа) источников

Предложены две формализации модели сложного источника, основанные на принципе повторяемости элементов сигнала и общности законов формирования объектов одного класса. При этом элементарные сигналы могут быть сильно вариативными, а законы их формирования – сложными и неизвестными.

1.1. Управляемый сложный источник

Известно множество состояний – режимов работы или фаз работы $A = \{a_i\}$. В каждом состоянии (режиме, фазе) модель поведения или типичные регистрируемые сигналы $s(t, a_i) = \mathbf{p}_0^i$ являются как функциями времени, так и состояния (фазы, режима). Если $a(t)$ меняется, т.е. является функцией некоторого управления $a(t, \mathbf{u}(t))$, принимая значения из A , то мы имеем управляемый сложный источник, моменты переключения которого из одного состояния в другое нам неизвестны. Обозначим вектор моментов перехода $\tau(t) = \tau_1^L$. Задача заключается в оценке последовательности состояний $\hat{a}(t)$ и моментов перехода, оно вследствие ошибок может различаться от количества переключений состояний L в исходном процессе: $\hat{\tau}(t) = \hat{\tau}_1^K$ – задача (3).

1.2. Распределенный источник

Модель распределенного сложного источника включает множество почти одинаковых источников $\{A_1, \dots, A_m\}$, каждый из которых формирует сигнал $x_k(t)$. Сигналы источников являются компонентами многомерного процесса $\mathbf{X}(t)$, включение их определяется бинарными временными переключательными функциями $b_k(t)$:

$$\mathbf{X}(t) = |x_1(t) \cdot b_1(t), \dots, x_m(t) \cdot b_m(t)|^T. \quad (5)$$

В среде распространения и датчике компоненты взаимодействуют, поэтому наблюдаемый сигнал является неизвестным сложным преобразованием $\mathbf{s}(t) = \mathbf{ST}(\mathbf{X}(t))$. В простейшем случае это может быть суммирование компонент или коммутация. Можно ввести более сложную модель:

$$\mathbf{X}(t) = |x_1(t) \cdot \text{swf}_1(t), \dots, x_m(t) \cdot \text{swf}_m(t)|^T, \quad (6)$$

где $\text{swf}_k(t)$ – произвольные переключательные функции, например, одна компонента может нарастать, а другая убывать. Взаимодействие разных последовательностей в одном сигнале приводит к ис-

кажению их формы и проявляется как неаддитивные помехи. Такие модели могут быть полезны в акустике, когда имеется неопределенное количество источников повторяющихся сигналов, накладывающихся друг на друга и взаимодействующих сложным образом (см. рис. 1). В задаче вибродиагностики подшипников трансмиссии ГТД почти периодически повторяется пространственная конфигурация элементарных источников вибраций относительно датчиков. Сигналы от элементарных источников просты, похожи (характерны), но взаимодействуют сложным образом. Характерная последовательность $\chi(t) = \otimes_i s_i(t)$ может быть и результатом взаимодействия элементарных сигналов. Вне зависимости от механизма размытия и нестационарного воздействия на элементы сигнала, сигнал сложного источника предлагается исследовать на основе феноменологической модели, постулирующей наличие участков разных типов и характерных последовательностей.

2. Методы решения прикладных задач анализа сигналов

В теории оптимального приема задачи (1) – (3) формализованы в конструктивном виде, позволяющем найти решение методами статистического синтеза [7 – 9]. В общем виде наблюдение является сложным преобразованием сигнала, зависящего от параметров λ , и произвольной помехи $n_c(t)$:

$$\xi(t) = \mathbf{F}(s(t, \lambda), n_c(t)). \quad (7)$$

Однако, хотя в теории оптимального приема постановка задач изначально не сужается, решить задачу статистического синтеза можно в ограниченном ряде случаев, как правило, аддитивного белого шума и при известных аналитических моделях сигналов и элементов сигналов. Например, задачи различения и распознавания двух сигналов решаются для известных моделей сигналов и наблюдения вида

$$\begin{aligned} \xi(t) &= r s_1(t, \lambda) + (1-r) s_2(t, \lambda) + n(t) \\ \xi(t) &= \theta_1 s_1(t, \lambda) + \theta_2 s_2(t, \lambda) + n(t). \end{aligned} \quad (8)$$

Аналогично в теории оптимального приема формализуется задача многоальтернативного приема.

Задача обнаружения сигнала известна – оценивается величина $\theta \in \{0, 1\}$ по наблюдению

$$\xi(t) = \theta s(t) + n(t). \quad (9)$$

Задача о разладке близка к задаче обнаружения, но наблюдение

$$\xi(t) = s(\Phi(t)) + n(t) \quad (10)$$

зависит от величины $\Phi(t)$, определяющей статистические свойства полезного сигнала. Величина

эта, по предположению, изменяется во времени, оставаясь постоянной на интервалах значительной продолжительности. Требуется определить моменты времени, когда происходит переключение $\Phi(t)$.

Диагностические сигналы в прикладных задачах (1) – (3), регистрируемые при испытаниях элементов авиационных двигателей, являются очень сложными структурными объектами, математическая модель которых или неизвестна, или настолько сложна, что ее использование становится неконструктивным. С одной стороны, методы идентификации структурных моделей не развиты в требуемой для разработки приложений степени [11, 12], а с другой – сигналы, которые надо обнаружить и распознать, принимаются на фоне мешающих сигналов, подобных принимаемому. Таким образом, преимущество отдается методам обработки данных, которые широко используют как для моделирования сложных объектов, так и для анализа их состояния [6]. Обычно анализ выполняется методами, разработанными на основе теории случайных процессов. Общая схема анализа отдельных реализаций включает определение среднего квадрата и среднего значения, оценивание ковариационной функции, спектральной плотности и плотности вероятности, проверку стационарности, периодичности и нормальности. Общая схема анализа совокупности реализаций заключается в анализе отдельных реализаций, проверке коррелированности реализаций и эквивалентности статистических свойств реализаций. Для совокупности реализаций оцениваются взаимные ковариационные функции, взаимные спектральные плотности, частотные характеристики, функции когерентности. Если процессы являются нестационарными, переходными или почти-периодическими, то требуется разработка специальных методов анализа.

Несомненно, разработка и исследование методов анализа эмпирических данных не теряет своей актуальности. В свое время проблему о соотношении между эмпирическими данными и извлекаемой из них необходимой исследователю информации проанализировали Э.М. Браверман и И.Б. Мучник [11]. Они обратили внимание на следующие важные для извлечения информации из экспериментальных данных моменты:

- эмпирические данные, как правило, не содержат непосредственной информации о наиболее существенных внутренних характеристиках явления;
- информация о возможных типах объектов (альтернативах) отсутствует, т.е. требуется разработка типологии на основе эмпирических данных;
- эмпирические данные могут описывать взаимодействия между элементами большой системы и иметь сложный вид (графы, большое число одновременно меняющихся кривых).

Подобные представления о характере полезной информации, содержащейся в эмпирических данных, не позволяют использовать для их обработки классические статистические методы. На основе концепции о возможности формирования представления сигналов в виде небольшого числа сильно различающихся подмножеств множества из большого числа элементов сигнала, был разработан структурный (лингвистический) подход, который положил начало развитию методов машинного обучения [11, 13]. В настоящее время это одно из наиболее актуальных направлений развития методов цифровой обработки эмпирических данных, причем преимущественно во временной области [14, 15]. Основные этапы структурного анализа: разделение области задания на части, рассмотрение функций на этих участках как самостоятельных единиц наблюдения и сравнение частей сигнала между собой. Методы решения этих задач исследованы недостаточно.

В качестве примера будем рассматривать задачу диагностики подшипников трансмиссии ГТД.

Обучающая выборка в задаче вибродиагностики имеет размер 20 сигналов, частота дискретизации – 10 кГц, длина реализаций – 30000 отсчетов (3 сек.). Далее будем использовать обозначения $S(t)$ и $V(t)$ для сигналов, зарегистрированных в исправном и неисправном состояниях подшипников трансмиссии ГТД (классы S и V , соответственно). На рис. 2 показаны фрагменты вибросигналов на коротком временном интервале [1850, 3200], случайно выбранном из сигнала. На нем происходит поворот конфигурации механической системы на 90° .

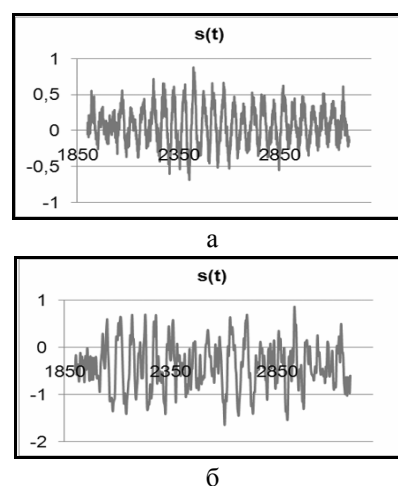


Рис. 2. Фрагменты s_{1850}^{3200} вибросигналов классов S (а) и V (б)

Ставится задача поиска функционалов от эмпирических данных (сигналов), по которым можно обнаружить смену состояния источника и распознать это состояние. Функционалы не должны быть

сложными, чтобы их можно было использовать при решении задач (1) – (3) в реальном времени. Если они позволят формализовать задачи на языке теории оптимального приема, то станет возможным полностью автоматизированный анализ сигналов.

3. Анализ во временной области

В классическом спектральном анализе не используется модель данных, управление соотношением между разрешением и дисперсией спектральной оценки выполняется с помощью окон. Wavelet-анализ предоставляет многомерные данные с разными масштабами по частоте и времени.

Предлагается анализировать элементы сигнала, согласованные по фазе, т.е. привязанные к моментам пересечения нулевого уровня в заданном направлении.

Во всех случаях оказывается полезной многоуровневая временная модель ограничений на размеры блоков данных, рассчитанная исходя из физики задачи.

Обычно размеры блоков данных фиксируются, поскольку работа с блоками данных переменной длины трудна. Вычисляя временные функционалы от сигнала сложного источника, мы переходим к дискретно-непрерывным последовательностям, методы анализа которых известны. Основная задача – формирование временных функционалов и анализ их методами обработки данных или оптимального приема. Ее решение поясняет схема на рис. 3.

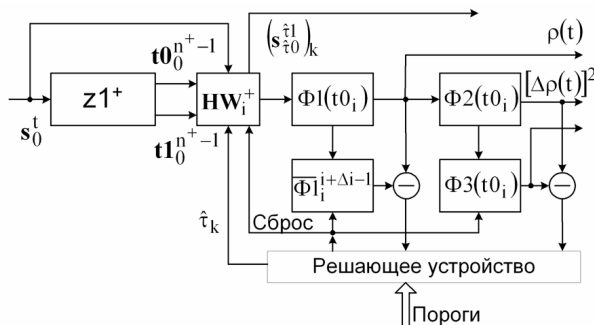


Рис. 3. Схема временного анализа сигналов

По пересечениям нулевого уровня в положительном и отрицательном направлениях определяются моменты времени начала (t0) и окончания (t1) положительных полувольт, которые выделяются из сигнала:

$$HW_i^+ = (s_{t0}^{t1})_i.$$

Полувольты и, соответственно, сигнал, кодируются:

$$HW_i^+ \rightarrow (c_{t0}^{t1}(s(t)))_i = c_i,$$

$$s_0^{N-1} \rightarrow c_0, c_1, \dots, c_{n^+-1},$$

n^+ – количество полувольт, выделенных в сигнале.

Между кодами соседних полувольт вычисляется расстояние по Хэммингу:

$$\Phi 1(t) = \rho_i = \rho(HW_i^+, HW_{i-1}^+)_0^{n^+-1}, i = 0..n^+ - 1. (11)$$

Моменты времени начала полувольт хранятся в массиве, и если на i-ю полувольту обнаруживается событие, то по индексу определяется момент реального времени, когда оно возникло:

$$t = t0(i) = t0_0^{n^+-1}, i \rightarrow t.$$

По приращениям функционала $\Delta\Phi 1(t)$ вычисляется функционал:

$$\Phi 2(t) = \varepsilon_i^2(t0_i) = (\Delta\Phi 1_i^2)_1^{n^+-2}, i = 1..n^+ - 2,$$

$$\Phi 2(t) = [\rho(HW_i^+, HW_{i-1}^+) - \rho(HW_i^+, HW_{i+1}^+)]^2. (12)$$

Функционалы (11), (12) позволяют определить моменты возникновения событий или переключения состояний. Среднее по Δi отсчетам функционала помогает сократить количество ошибок ложной тревоги:

$$\Phi 3(t) = \varepsilon_i^2(t0_i) =$$

$$\left\{ \frac{1}{\Delta i} \sum_{j=i}^{j=i+\Delta i-1} [\rho(HW_j^+, HW_{j-1}^+) - \rho(HW_j^+, HW_{j+1}^+)]^2 \right\}_i.$$

Задача диагностики подшипников трансмиссии ГТД давно решается самыми разными методами цифровой обработки. Наилучшее решение было найдено методом характерных последовательностей [16]. На основе обучающей выборки с помощью программного обеспечения поиска характерных последовательностей (ХП) найдены признаки (частоты встречаемости ХП), которые обеспечивают полную линейную разделимость образов вибросигналов. К недостаткам этого метода относится сильная зависимость от мощности сигнала, необходимость нормировки и большая вычислительная сложность. Предлагаемая схема анализа пригодна для работы в реальном времени, блоки обрабатываемых данных согласованы по фазе, зависимость функционалов от мощности сигнала незначительна. На рис. 4 показаны примеры полувольт в вибросигналах от исправных и неисправных подшипников трансмиссии ГТД, на рис. 5 – функционалы $\Phi 3(t)$, вычисленные для фрагментов, показанных на рис. 2.

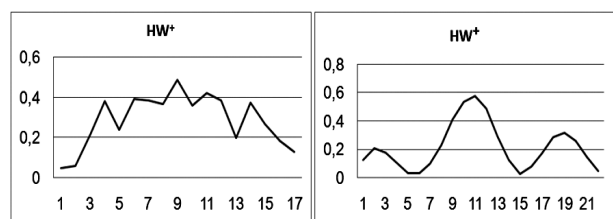


Рис. 4. Полувольты вибросигналов подшипников трансмиссии ГТД классов С (слева), В (справа)

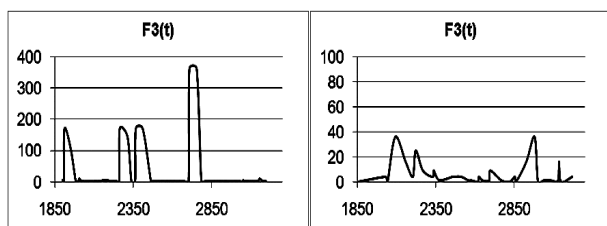


Рис. 5. Результаты временного анализа фрагментов вибросигналов (рис. 2) классов **С** (слева), **В** (справа)

На рис. 6 показаны простые временные функционалы для неисправного и кондиционного подшипников. В этом случае нет необходимости проводить дальнейшую обработку, поскольку последовательности длительностей положительных полуволн, их средних и дисперсий настолько характерны, что диагностика не вызывает затруднений.

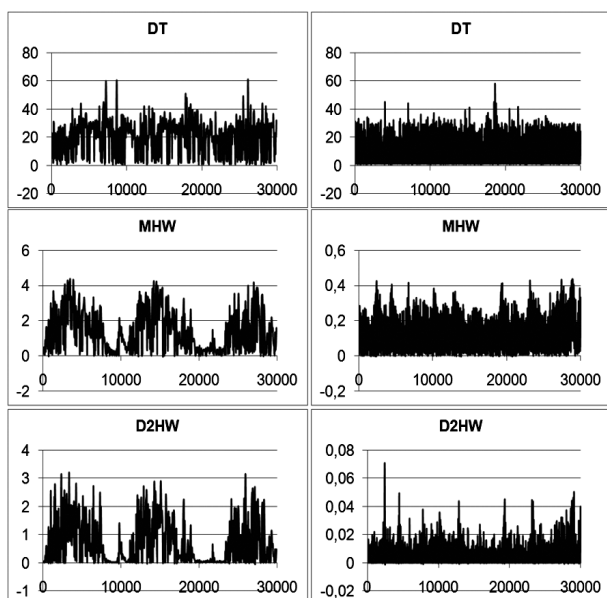


Рис. 6. Последовательности длин HW^+ , их средние и дисперсии (слева – класса **В**, справа – класса **С**)

Функционалы $\Phi 1$ показаны на рис. 7, их средние (MF), отклонения (DF), максимальные значения (Max), а также количество полуволн n^+ показаны в табл. 1. Хочется обратить внимание, что поскольку длины полуволн велики, то и коды получаются очень большими, поэтому результат надо логарифмировать. Удобнее вычислять расстояние непосредственно по битовым последовательностям.

Наконец, усредненные функционалы показаны на рис. 8, выбраны кондиционный и некондиционный подшипники с похожими $\Phi 1(t)$.

Это сходство исчезает по мере сглаживания, что делает возможной визуальную диагностику состояния подшипников трансмиссии ГТД.

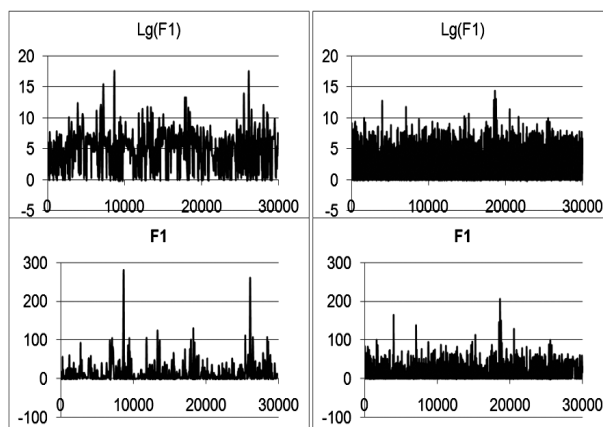


Рис. 7. Расстояния между кодами полуволн в вибросигналах (слева – класса **В**, справа – класса **С**)

Таблица 1

Количество полуволн и их характеристики

	n^+	Max	MF	DF
C1	2797	205	13	21,5
C2	1366	81,5	6,7	10,8
C3	1530	69	6,8	10,3
C4	1317	167	21,6	23
C5	1703	36	2,4	3,7
C6	863	64	6	9
N1	582	168	6,1	15
N2	707	70	6,8	10,7
N3	909	302	25	33
N4	433	81,5	3,3	6,7
N5	874	111	9,2	14,2
N6	1267	48	2,4	5
B1	836	63	5	9
B2	335	76	3,8	7
B4	803	71	6,4	9,9
B5	979	77	7,4	11
B6	1120	92	9,9	14
B7	800	278	15	24,9

Заключение

Таким образом, основные проблемы структурного анализа сигналов в реальном времени могут быть решены с помощью временного анализа блоков данных переменной длины, согласованных по фазе. Размер этих блоков данных является очень информативным, что продемонстрировано в статье.

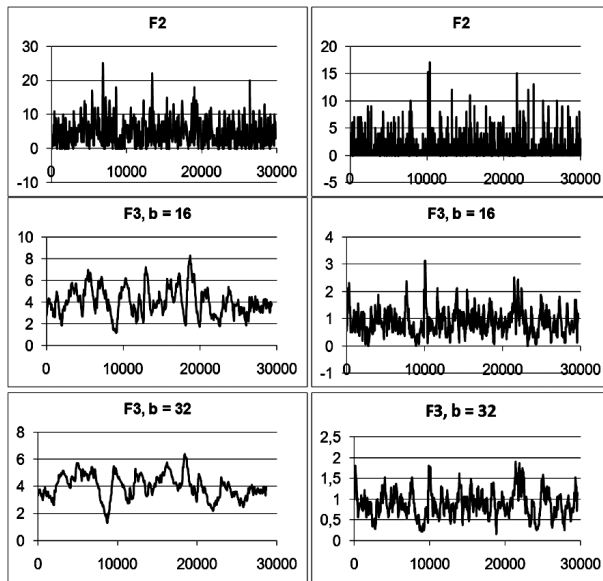


Рис. 8. Функционалы $F_3(t)$ при различных размерах блоков данных для вибросигналов (слева – класса В, справа – класса С)

Обычно мы эту информацию разрушаем, задавая размер обрабатываемых блоков данных произвольно. Временной анализ может быть выполнен с помощью многоуровневой системы анализа, представляющей собой систему временных ограничений на интервалы, в которые могут происходить события разного уровня и разного временного масштаба.

Сформулированы проблемы теории цифровой обработки эмпирических данных, которые необходимо решать для эффективного анализа сигналов сложных источников. В первую очередь, это поиск нестационарных функционалов, позволяющих выполнить структурный анализ сигналов на основе методов оптимального приема и рекуррентного оценивания.

На примере задачи вибродиагностики технического состояния подшипников трансмиссии ГТД показаны особенности характеристик полувольт вибросигналов разных классов, а также функционалов, привязанных к пересечениям нулевого уровня.

Литература

1. Шепель В.Т. Выбор признаков для диагностики технического состояния трансмиссионных подшипников ГТД / В.Т. Шепель, Б.И. Комаров, Т.П. Грызлова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 8 (24). – С. 200-205.
2. Шепель В.Т. Wavelet-анализ для диагностики технического состояния трансмиссионных подшипников газотурбинных двигателей / В.Т. Шепель, Б.И. Комаров, Т.П. Грызлова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2005. – № 10 (26). – С. 191-195.

3. Гориков А.П. Диагностика состояния подшипников трансмиссии газотурбинных двигателей в пространствах статистик характерных последовательностей вибраций / А.П. Гориков, Т.П. Грызлова, Б.И. Комаров, В.Т. Шепель // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2006. – № 10 (36). – С. 67-71.

4. Грызлова Т.П. Методическое и программное обеспечение обработки нестационарных процессов на основе Wavelet-анализа / Т.П. Грызлова, Г.Ш. Пиралишвили, В.Т. Шепель // *Вестник двигателестроения*. – 2006. – № 3. – С. 135-140.

5. Коровин Б.Б. Об использовании дискретного Wavelet-преобразования при исследовании и контроле вибронгруженности ГТД / Б.Б. Коровин, О.Н. Былинкина, Т.П. Грызлова // *Авиационно-космическая техника и технология*. – 2007. – № 9 (45). – С. 115-120.

6. Бендат Дж. Прикладной анализ случайных данных / Дж. Бендат, А. Пирсол. – М.: Мир, 1989. – 540 с.

7. Сейдж Э. Теория оценивания и ее применение в связи и управлении / Э. Сейдж, Дж. Мелс. – М.: Связь, 1976. – 495 с.

8. Фомин В.Н. Рекуррентное оценивание и адаптивная фильтрация / В.Н. Фомин. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1984. – 288 с.

9. Тихонов В.И. Оптимальный прием сигналов / В.И. Тихонов. – М.: Радио и связь, 1983. – 320 с.

10. Орищенко В.И. Сжатие данных в системах сбора и передачи информации / В.И. Орищенко, В.Г. Санников, В.А. Свириденко. – М.: Радио и связь, 1985. – 184 с.

11. Браверман Э.М. Структурные методы обработки эмпирических данных / Э.М. Браверман, И.Б. Мучник. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1983. – 464 с.

12. Сейдж Э.П. Идентификация систем управления / Э.П. Сейдж, Дж.Л. Мелса. – М.: Наука, гл. ред. физ.-мат. лит., 1974. – 248 с.

13. Айзерман М.А. Метод потенциальных функций в теории обучения машин / М.А. Айзерман, Э.М. Браверман, Л.И. Розоноэр. – М.: Наука, 1973. – 450 с.

14. Eads D. Grammar-Guided Feature Extraction for Time Series Classification [Электронный ресурс] / D. Eads, K. Glocer, S. Perkins and J. Theiler // *Neural Information Processing Systems. Proc. of the 9th Annual Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS'05)*. – Vancouver, Dec. 2005. – Режим доступа <http://users.soe.ucsc.edu/~eads/papers/eads2005-2.pdf>.

15. Olszewski R.T. Generalized Feature Extraction for Structural Pattern Recognition in Time-Series Data / R.T. Olszewski // *PhD Thesis*. – Carnegie Mellon University, Pittsburgh, PA. – 2001. – 125 p.

16. Гориков А.П. Семейство эффективных признаков для диагностики состояния сложных технических систем на примере подшипников трансмиссии ГТД / А.П. Гориков, Т.П. Грызлова //

Труды 9-й международной конференции «Распознавание образов и анализ изображений: новые информационные технологии». – Нижний Новгород, 2008. – Т.2. – С. 47-51.

Поступила в редакцию: 9.11.2009

Рецензент: д-р техн. наук, проф., начальник отдела сертификации двигателей В.Т. Шепель, «ОАО «Сатурн», Рыбинская государственная авиационная технологическая академия, Рыбинск, Россия.

ПРОБЛЕМИ АНАЛІЗУ СИГНАЛІВ СКЛАДНИХ ДЖЕРЕЛ

Т.П. Гризлова

Розглядаються методи вирішення прикладних завдань автоматичного аналізу сигналів. Під час випробувань складних технічних об'єктів ставляться такі завдання, як діагностика технічного стану, виявлення значимих подій і розпізнавання послідовності станів складного джерела і / або оцінки моментів зміни стану джерел. Розглянуті моделі складеного і складного джерел. Модель складеного джерела є конструктивним наближенням моделі складного джерела, ближчою до фізики досліджуваного явища. Модель складеного джерела узгоджується з аналізом нестационарних процесів як кусочно-стационарних, а сигнал складного джерела вимагає структурного аналізу і виключення з оброблюваних даних фрагментів, непридатних для аналізу. Запропоновані формалізації керованого і розподіленого джерел. Запропоновані нестационарні функціонали для аналізу сигналів складних джерел в тимчасовій області, що дозволяють виконати декомпозицію сигналу, розпізнавання його елементів і вирішити завдання статистичного синтезу рекурентних і адаптивних алгоритмів прийому як елементів, так і сигналу в цілому. Істотно, що аналізуються блоки даних змінної довжини, погоджені по фазі (півхвилі). Приведені характеристики функціоналів від позитивних півхвиль вібросигналів підшипників трансмісії ГТД.

Ключові слова: складне джерело, цифрові сигнали, методи аналізу, часовий аналіз, діагностика, виявлення, оцінка моментів зміни стану, розпізнавання станів, кероване джерело, розподілене джерело, нестационарний функціонал, декомпозиція сигналів, структурний аналіз.

ANALYSIS TASKS OF THE COMPLEX SOURCES' SIGNALS

T.P. Gryzlova

The methods for solving the applied problems of automated signal analysis are discussed. While in complex technical systems tests such problems arise as condition diagnostics, significant events detection and recognition of the sequence of the complex source states and / or instants of time transitions of states estimation. Combined source model and complex source model were considered. Combined source model is a constructive simplifying of the complex source model that is more matched with physics of a phenomenon to analyze. The combined source model is in accord with the processing of nonstationary signals as piecewise-stationary ones. The complex source model requires of the structural analysis and of the excluding of inapplicable data. Controlled complex source and spaced source have been defined. Time-varying functionals are proposed which make possible the structural analysis based on the theory of optimum reception and recurrent estimation of signals' elements and a signal wholly. It is essential that data pieces are phase-matched half-waves of variable length. From the example of the problem of condition diagnostics of GTE transmission bearings the features of positive half-waves of vibrations and zero crossing located functionals are shown.

Key words: complex source, digital signals, methods of analysis, time-domain analysis, diagnostics, detection, instants of time transitions of states estimation, states recognition, controlled source, spaced source, nonstationary functional, signal's decomposition, structural analysis.

Грызлова Татьяна Павловна – канд. техн. наук, доцент, доцент кафедры математического и программного обеспечения электронных вычислительных систем Рыбинской государственной технологической академии им. П.А. Соловьева, Рыбинск, Россия, e-mail: ktntpgryzlova@mail.ru.