

УДК 548.55:544.2

## СТРУКТУРНО-ФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИГНАЛОВ СЕНСОРОВ РАЗНОЙ ПРИРОДЫ

Д. т. н. В. П. Мигаль, к. т. н. Г. В. Мигаль

Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «ХАИ»  
Украина, г. Харьков  
mygal@mail.ru

*Показано, что взаимосвязь дифференциально-геометрических параметров периодического сигнала сенсора можно представить в виде геометрической модели его структуры управления. Это позволяет реализовать структурно-функциональный анализ сигналов функционирования сенсоров разной природы.*

*Ключевые слова: геометризация сигнала, сигнатура сигнала, структура управления.*

Системный подход не позволил решить проблемы динамического поведения сенсоров, биосенсоров и других системных объектов (СО) в экстремальных условиях. Ключевой проблемой оказалась скрытая динамическая индивидуальность функционирования СО. В ее основе лежит свойственная природе взаимосвязь структуры и функций, которую в СО трудно выявить даже в результате комплексных исследований. Действительно, структурно-функциональный взгляд на сущность физических и физиологических процессов отражает детерминистский подход. Однако несмотря на многообразие методов, параметров, критериев и т. д., проблема учета динамической индивидуальности в его рамках не решена. В то же время системный подход, который стоит на вероятностных позициях, позволил сформулировать наиболее общие кибернетические закономерности, которым подчиняется все живое. Однако системное противоречие между методами обработки сигналов функционирования различной природы и средствами их анализа затрудняет анализ результатов комплексных исследований сенсоров и функциональных характеристик СО [1]. Так, из-за необходимости применения различных методов исследования, моделей, параметров и критериев их системный анализ противоречив. В экстремальных условиях характер изменения функциональных характеристик сенсоров указывает на перестройку структуры и проявляется в их динамической индивидуальности [2]. Унаследованные особенности функционирования скрыты в грубой (динамической) и в тонкой (информационной) структуре их управления [3]. Поэтому целью работы является поиск эффективных средств выявления структуры управления функционированием СО и универсальных средств анализа ее перестройки при воздействии внутренних и внешних стресс-факторов.

Н. Винер показал, что принципы управления и связи в технике и физиологии подобны. Следовательно, основные принципы управления СО можно естественным образом совместить с фундаментальными законами и принципами динамики. Так, следуя методологическому принципу единства и борьбы противоположностей, можно предположить, что индивидуальность формируют новые взаимосвязи подсистем. Они возникают в процессе перехода от динамического подобия к динамической индивидуальности. Эти процессы можно обобщить и рассматривать их как переход от динамического порядка к динамическому беспорядку, в процессе которого происходит изменение энергетического баланса противофазных процессов. Взаимосвязь этих процессов определяет динамику сигнала сенсора и СО, структура которой технологически или генетически унаследована. На эту динамику влияют два взаимодополняющих принципа. Первый из них – принцип механического детерминизма, определяющий причинно-следственные связи между различными фазами сигнала. Второй – принцип структурной детерминации, отображающий связь структуры управления с функцией. Эти принципы дополняют друг друга и позволяют рассматривать сигнал сенсора как последовательность динамических событий. В пространстве (состояние – скорость – ускорение) каждое событие можно отобразить точкой с координатами  $(X, dX/dt, d^2X(t)/dt^2)$ . Поэтому сигнал функционирования  $X(t)$  любого сенсора и СО (физического, технического и биологического) можно представить в виде сложной траектории динамических со-

бытий, которые причинно-следственно связаны между собой [4]. Траектории разных сигналов состоят из криволинейных участков, которые отличаются длиной и линейной плотностью динамических событий. При этом динамическая индивидуальность пространственно-временных корреляций динамических событий на этих участках наиболее проявляется в проекции этой траектории на плоскость (скорость–ускорение), которая является сигнатурой сигнала 2-го порядка  $dX/dt - d^2X(t)/dt^2$ . Площади, которые охватывает конфигурация этой сигнатуры в квадрантах, отображают мощности основных его фаз. Действительно, переход к новой динамической переменной  $Y=dX/dt$  превращает сигнатуру сигнала 2-го порядка в сигнатуру 1-го порядка  $Y - dY/dt$ , т. е. в фазовый портрет сигнала. Конфигурация сигнатуры  $dX/dt - d^2X(t)/dt^2$  расположена на 4 квадрантах и отображает функционирование сенсора в основных его фазах. Площади, охватываемые в квадрантах, пропорциональны мощностям фаз. Следовательно, сигнатура  $dX/dt - d^2X(t)/dt^2$  является естественной геометрической моделью структуры управления сенсора или СО [4]. Сравнение структур управления разных по природе сенсоров и СО (временной и спектральной фотоотклик полупроводникового сенсора на основе разных кристаллов  $A^2B^6$ , зубцы кардио-сигнала человека, динамические ВАХ кристаллов и биологически активных точек кожи и др.) выявило как многообразие конфигураций сигнатур, так и наличие динамического подобия их составляющих. При этом пространственно-временную согласованность разных фаз функционирования процессов управления характеризуют безразмерные показатели сбалансированности мощностей управления  $B_{ij}$  между основными фазами сигнала. Они равны отношению площадей квадрантов сигнатуры между собой. Сравнение геометрических моделей подсистем СО существенно упрощает исследование их совместимости. Применение этих моделей сенсоров эффективно для их идентификации и классификации.

Характер перестройки структуры управления проявляется в пакете сигнатур  $dX/dt - d^2X(t)/dt^2$  – динамически (изменяется конфигурация сигнатур) и статистически (изменяется площадь  $S$  сигнатур). Для количественного анализа перестройки предложены  $F$ -сигнатуры  $S(t) - dS(t)/dt$ , где  $S(t)$  зависимость площади сигнатур  $dX/dt - d^2X(t)/dt^2$  в пакете от времени. Они оказались эффективными для оптимизации режимов обработки сенсорных материалов. В характере перестройки геометрической модели биосенсоров наиболее проявляется связь структуры и функций, которая лежит в основе биологического порядка. Это подтверждают результаты сопоставительного анализа сигнатур ЭКГ семи членов одной семьи. Оказалось, что конфигурации сигнатур 1-го и 2-го порядков подобны только у отца, дочери и внука. Сигнатуры их ЭКГ характеризуются близкими интегративными показателями ( $B_{ij}$  и др.). При этом в пакетах этих сигнатур также выявлены одинаковые характеристические признаки характера перестройки конфигураций сигнатур.

Таким образом, информацию об унаследованных особенностях структуры управления и характера ее перестройки при функционировании СО содержат сигнатуры  $dX/dt - d^2X(t)/dt^2$  и их пакеты, а также построенные на их основе  $F$ -сигнатуры и их пакеты. Их можно анализировать кибернетически и физически, основываясь на фундаментальных физических законах и принципах.

#### ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. But A. V., Mygal V. P., Phomin A. S. Photoelectric signatures of CdZnTe crystals // Semiconductors.– 2009.– 43.– P. 1217–1220.
2. But A. V., Migal V. P., Fomin A. S. Structure of a time variable photoresponse from semiconductor sensors // Technical Physics.– 2012.– 57. P. 575–577.
3. Mygal V. P., But A. V., Smatko O. O., Bodnar I. V. Geometrization of the temporal photoresponse from the semiconductor sensor materials // Functional Materials.– 2012.– 19.– P. 555–559.
4. Mygal V. P., But A. V., Phomin A. S., Klimenko I. A. Geometrization of the dynamic structure of the transient photoresponse from zinc chalcogenides // Semiconductors.– 2015.– 49.– P. 634–637.

V. Mygal, G. Mygal

#### Structural and functional analysis of signal sensors of different nature

It is shown that the relationship between the differential-geometric parameters of the periodic sensor signal can be represented as a geometric model of its management structure. This makes it possible to implement the structural and functional analysis of functioning signals of sensors of different nature.

Keywords: *geometrization signal, the signature signal, the control structure.*