

УДК 331.101.1

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПОДХОД К АНАЛИЗУ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ, УПРАВЛЯЕМЫХ ЧЕЛОВЕКОМ

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

Геометризация циклических сигналов функционирования подсистемы (сенсора, биосенсора) позволила выявить их динамическую и энергетическую структуры. Показано, что взаимосвязь динамических параметров определяет индивидуальность цикла функционирования подсистемы. Для анализа характера перестройки цикла функционирования предложены универсальные показатели.

Ключевые слова: сигналы функционирования, параметрический цикл, сенсор.

Актуальными проблемами на сегодня являются обеспечение безопасности управляемых человеком технических систем, повышение их надежности и прогнозирование поведения в экстремальных условиях. Необходимую информацию о циклических процессах функционирования предоставляют сенсоры различной природы. Их индивидуальность обусловлена скрытыми связями между фазами цикла функционирования и между циклами, которые трудно выявить. Поэтому обработка сигналов функционирования сенсоров различной природы известными методами порождает ряд проблем (неоднозначности и противоречивости анализа и др.). В совокупности с индивидуальностью функционирования они затрудняют управление системой, математическое моделирование и прогнозирование ее функционирования [1]. Индивидуальность функционирования скрыта в динамике структуры управления подсистемами технических и биологических систем. Именно согласованность или несогласованность функционирования подсистем порождает системные эффекты или проблемы. Для решения проблем развивается универсальный подход, в основе которого — выявление динамической структуры цикла функционирования любой подсистемы (сенсора, биосенсора) и кибернетический анализ характера ее перестройки под действием внешних и внутренних факторов, что и явилось основной целью данной работы.

Показано, что совместный анализ сигналов функционирования естественного биосенсора, которым является миокард человека, и полупроводникового сенсора становится возможным после их геометризации в параметрическом пространстве (состояние–скорость–ускорение) [2, 3]. При этом относительно простой переходной фотоотклик (ФО) сенсора $I(t)$ и сложный кардиосигнал $V(t)$ человека превращаются в траектории динамических событий, которые причинно-следственно связаны между собой и описываются дифференциальным уравнением. Следовательно, траектория является геометрической моделью функционирования системы. Поэтому траектории всех сигналов подобны по форме представления. Так, индивидуальность функционирования сенсора проявляется в трех проекциях этой траектории на плоскость: а) «состояние — скорость», которая является фазовым портретом ФО $I(t) - dI/dt$ и его сигнатурой 1-го порядка [4]; б) «состояние — ускорение», которая является энергетической структурой и его сигнатурой ФО 2-го порядка $I(t) - d^2I/dt^2$; в) «скорость — ускорение», которая является структурой параметрического цикла функционирования (управления) $dI/dt - d^2I/dt^2$. Отметим, что площадь сигнатуры ФО $I(t) - dI/dt$ может быть представлена мощностью подмножества $|W_i|$ возможных фотоиндуцированных квантовых микросостояний. Натуральный логарифм от W , т.е. $H \propto \ln W$, статистически характеризует энтропию H ФО сенсора [4].

Параметрический цикл естественного управления сенсора $dI/dt - d^2I/dt^2$ расположен в четырех квадрантах плоскости «скорость — ускорение» и геометрически представляет собой бицикл. В нем пространственно разделены площади, которые отображают мощности основных фаз бицикла. Показателями динамической сбалансированности мощностей функционирования в основных фазах би-

цикла являются отношения площадей квадрантов сигнатуры $B_{12} = S_{pow}^{+-} / S_{pow}^{++}$ и т. д. Матрица показателей B_{12}, \dots, B_{14} позволяет анализировать естественную структуру параметрического управления ФО сенсора. Поэтому структуру цикла функционирования сенсора можно моделировать.

Конфигурации сигнатур $V(t)-dV/dt$ зубцов кардиоцикла асимметричны и имеют размытые границы между составляющими динамической структуры. Поэтому статистический анализ энтропии зубцов (H_1, H_2, H_3) кардиоцикла и их отношений ($H_1/H_2, H_1/H_3, H_2/H_3$) более информативен. Так, в конфигурации параметрического цикла QRS-комплекса $dV/dt-d^2V/dt^2$ проявляются скрытые взаимосвязи, которые определяют индивидуальность цикла функционирования миокарда.

Анализировать индуцированное внешними или внутренними факторами изменение структуры функционирования любой подсистемы позволяет представление последовательности циклов функционирования в виде пакетов сигнатур 1-го и 2-го порядков. Так, анализ более 50 пакетов сигнатур $V(t)-dV/dt$ QRS-комплекса показал, что особенности функционирования миокарда скрыты в характере перестройки конфигураций сигнатур и в изменении их площади. Перестройка сигнатур 1-го порядка в пакете качественно проявляется в характере зависимости энтропии от времени $H(t)$, которая отображает переходы «порядок — беспорядок» и в производстве энтропии $dH(t)/dt$. Преобразование их в пакет H -сигнатур $H(t)-dH(t)/dt$ приводит к типовой хаосграмме. Это подтверждает представление о функциональном (биологическом) порядке как двойственном порядке структур и процессов. Характер перестройки циклов функционирования проявляется в пакете сигнатур $dV/dt-d^2V/dt^2$ QRS-комплекса динамически (изменяется конфигурация сигнатур) и статистически (изменяется площадь квадрантов сигнатур). Для его количественного анализа предложены функциональные F -сигнатуры $S(t)-dS(t)/dt$, где $S(t)$ — зависимость площади сигнатур $dV/dt-d^2V/dt^2$ в пакете (или площади ее квадрантов) от времени. Естественно, что в характере перестройки конфигураций сигнатур $dV/dt-d^2V/dt^2$ трех зубцов кардиоцикла и в изменениях их площадей скрыты все взаимосвязи.

Таким образом, информацию об особенностях функционирования подсистемы (системы) содержат пакеты H -сигнатур и F -сигнатур, которые можно анализировать кибернетически и физически, а также математически моделировать, основываясь на фундаментальных физических уравнениях, законах и принципах. В целом, геометризация циклических сигналов функционирования разных подсистем биологических и технических систем в сигнатуры 1-го и 2-го порядка позволила определить динамическую структуру цикла функционирования и характер ее перестройки. Предложены физические средства для выявления скрытых взаимосвязей в системе, которые определяют характер перестройки циклов функционирования подсистем и сенсоров разной природы. Такой подход и универсальные средства позволяют согласовывать функционирование подсистем и повысить безопасность и надежность технических систем, управляемых человеком.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Mygal V. P., Phomin A. S. Effect of structural inhomogeneities on the dynamic stability of the photoelectric response of $Cd_{0.9}Zn_{0.1}Te$ Crystals // *Inorganic Materials*, —2007, Vol. 43, N 11.— P. 1179–1183.
2. But A.V., Mygal V.P., Fomin A.S. Photoelectric signatures of CdZnTe crystals // *Semiconductors*.— 2009.— Vol. 43, N 9.— P. 1217–1220.
3. Пат. №77203 UA. Спосіб оцінювання електрокардіографічних даних для діагностичних цілей. Мигаль В. П., Мигаль Г. В. 2006.— Бюл. № 11.
4. Мигаль В.П., Бут А.В., Фомин А.С., Клименко И.А. Геометризация динамической структуры переходного фотоотклика халькогенидов цинка // *ФТП*. 2015. Т 49, вып. 5. С. 648–652.

V. P. Mygal, G. V. Mygal

Universal approach to the analysis of technical systems controlled by man.

Geometrization of cyclic signals of subsystem (sensor, biosensor) operation allowed identifying their dynamic and energetic structures. It is shown that the correlation between dynamic parameters determines the individuality of subsystem cyclic operation. Universal indicators are proposed to be used for analysis of the nature of operation cycle restructuring.

Keywords: *signals of functioning, parametric cycle, sensor.*