

УДК 681.518.54;004.3.001.4

**В.А. ТВЕРДОХЛЕБОВ***Институт проблем точной механики и управления РАН, Россия***ДИАГНОСТИРОВАНИЕ БОЛЬШИХ НЕОДНОРОДНЫХ СИСТЕМ  
РАСШИРЕННЫМИ СРЕДСТВАМИ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ**

*На основе отказа от алгоритмического тестирования как единственного средства диагностирования больших систем с взаимодействующими в них разнородными процессами предлагаются новые основные положения, модели и методы диагностирования. Средствами получения диагностической информации полагаются алгоритмическое тестирование, измерение физических параметров, визуальный осмотр, наблюдение специальных сигналов и признаков и т.п. В связи с этим объект диагностирования представляется моделью формирования и изменения свойств, наблюдаемых расширенными средствами диагностирования. Разработана и приводится схема связей для построения изменений свойств.*

**Ключевые слова:** *большая система, диагностирование, алгоритмическое тестирование, измерение физических параметров, визуальный осмотр, свойства системы, взаимодействие разнородных процессов.*

**Введение**

На основе математических моделей в форме функций алгебры логики и конечных детерминированных автоматов разработаны модели и методы технического диагностирования, базирующиеся на использовании таблиц, графов, матриц, логических уравнений и других символьных математических структур. Одним из фундаментальных методов диагностирования является метод, предложенный А. Гиллом (см. [1]), и базирующийся на решении установочной задачи, разработанным Э. Муром (см. [2]). В этом методе моделями неисправностей являются автоматы, которые совмещаются в общий (по терминологии работы [1] "расщепляемый") автомат. Для расщепляемого автомата строится дерево, представляющее все возможные варианты его функционирования с разделением варианта функционирования по соответствующим им выходным последовательностям. На основе анализа связей входных и выходных последовательностей диагностическая информация определяется как подмножество таких состояний автоматов, при которых связи реализуются. Диагностическая задача полагается решённой, если к расщепляемому автомату приложена входная последовательность и получена выходная последовательность, реализация связей которых возможна только одним автоматом. Этот процесс технического диагностирования принципиально ограничен рассмотрением только алгоритмических свойств объекта диагностирования.

В настоящее время в область приложений технического диагностирования включаются большие

неоднородные системы, то есть, системы, функционирование которых построено на взаимосвязях и взаимодействиях разнородных процессов:

- командно-информационных и алгоритмических процессов,
- процессов подготовки и использования исполнителей,
- процессов подготовки и использования техники,
- процессов обеспечения энергией,
- процессов обеспечения комплектующими и т.д.

Техническое диагностирование таких систем неэффективно, если его организовывать только на выявлении и анализе реализованных свойств алгоритмов, то есть на алгоритмическом тестировании. Для диагностирования больших систем требуется расширение и совмещение разнородных средств диагностирования, включением в них

- алгоритмического тестирования,
- контроля измерения физических параметров,
- визуального осмотра и наблюдения специальных сигналов и признаков,
- использование логических выводов на основе статистических данных, опыта и т.п.

**1. Диагностическая модель  
большой системы**

В работе [4] показано, что разнородные диагностические процедуры могут быть представлены в единой и общей форме средств получения диагностической информации. Для этого средства сопоставляют

ся функции, с интерпретацией аргументов как выбор и использование процедуры получения диагностической информации и интерпретации значения функции как полученной диагностической информации. Подмножество множества состояний памяти расщепляемого автомата, являющиеся формой диагностической информации при алгоритмическом тестировании, не пригодны для диагностирования больших систем с реальными разнородными процессами в системе. Кроме этого, представленные в реальных больших системах объёмы памяти, например, величиной  $2^{40}$  бит не позволяют практически использовать метод Гилла-Мура, несмотря на эффективность метода для отдельных элементов, узлов и устройств технических систем. В связи этим в данной работе предполагается, что, во-первых, классические средства задания законов функционирования автоматов в форме таблиц, графов, матриц, логических уравнений и т.п. непригодны для задания законов функционирования больших систем, во-вторых, только алгоритмического тестирования недостаточно для получения диагностической информации о разнородных процессах и их взаимодействиях в больших системах. Основываясь на этих предположениях для технического диагностирования больших систем разработаны новые основные положения, модели и методы.

Для реальной системы  $H$  выбираются такие свойства  $R_1, R_2, \dots, R_k$  и множества их значений  $W_1, W_2, \dots, W_k$ , с использованием которых в рассматриваемый дискретный момент времени  $t$  (интервал стянутый в точку) состояние  $s(t)$  диагностируемой системы *достаточно полно и точно* определяется вектором  $w(t) = (w_1(t), w_2(t), \dots, w_k(t))$ , где  $w_i(t) \in W_i$ , а изменение состояния  $s(t) \rightarrow s(t+1)$  характеризует реальные процессы и их взаимодействия через связь векторов  $w(t)$  и  $w(t+1)$ . Вектора типа  $w(t)$  и связи векторов  $w(t)$  и  $w(t+1)$  полагаются формой диагностической информации для большой системы. Следовательно, в новой форме диагностической информации о большой системе, её законы функционирования представлены не явно и не полностью, что согласуется с невозможностью знать эти законы для реальных больших систем. Выбором свойств  $R_1, R_2, \dots, R_k$  и множеством их значений  $W_1, W_2, \dots, W_k$  независимо от фактических объёмов памяти системы, сложности происходящих в системе и взаимодействующих разнородных процессов, можно строить для больших систем регулируемые по размерности диагностические модели, согласуемые с использованием разнородных диагностических процедур. Исследования показали, что математический аппарат технического диагностирования больших систем не удаётся свести к уже

имеющимся моделям и методам, использующим таблицы, графы, матрицы, логические уравнения и т.д. и алгоритмическое тестирование. Для технического диагностирования больших систем алгоритмическое тестирование оказывается только частью средств получения диагностической информации.

## 2. Причинно-следственные связи свойств разнородных процессов

Для разработки основных положений, моделей и методов технического диагностирования больших систем, в которых функционирование является результатом взаимодействия разнородных процессов, будем использовать принципиально новый подход. В этом подходе диагностическая модель строится не на основе алгоритмической модели объекта диагностирования, а как математическое описание разнородных процессов и их взаимодействий в реализации алгоритмической модели [5]. Разнообразие рассматриваемых процессов и разнородных средств их диагностирования не позволяет ограничиться использованием какого-то одного математического аппарата: числовых математических структур, логических структур, лингвистических структур и т.п. Требуется более общие категории. В качестве таких категорий выбраны категории причинно-следственных связей и их расширение, сделанное в работе [3]. Базовая схема причинно-следственных связей, общая как для комплексов причинно-следственной связи, так и для элементарных звеньев причинно-следственных связей изображена на рис. 1. Категории «группа причины», «причина», «условие 1», «группа следствия», «следствие», «условие 2» и «ядро» введены как коллективизирующие (обобщающие, собирающие) во множестве причин изменения функционирования большой системы: ошибок в моделях, алгоритмах и программах; ошибок действий операторов; нарушениях во всех видах энергообеспечения и т.п.



Рис. 1. Структурная схема общей диагностической модели и её компонент для больших систем

Для композиции элементарных причинно-следственных звеньев в сложные причинно-следственные комплексы разработаны алгебра операций композиции и соответствующий язык формул. Диагностическая модель может быть построена на различных уровнях иерархии.

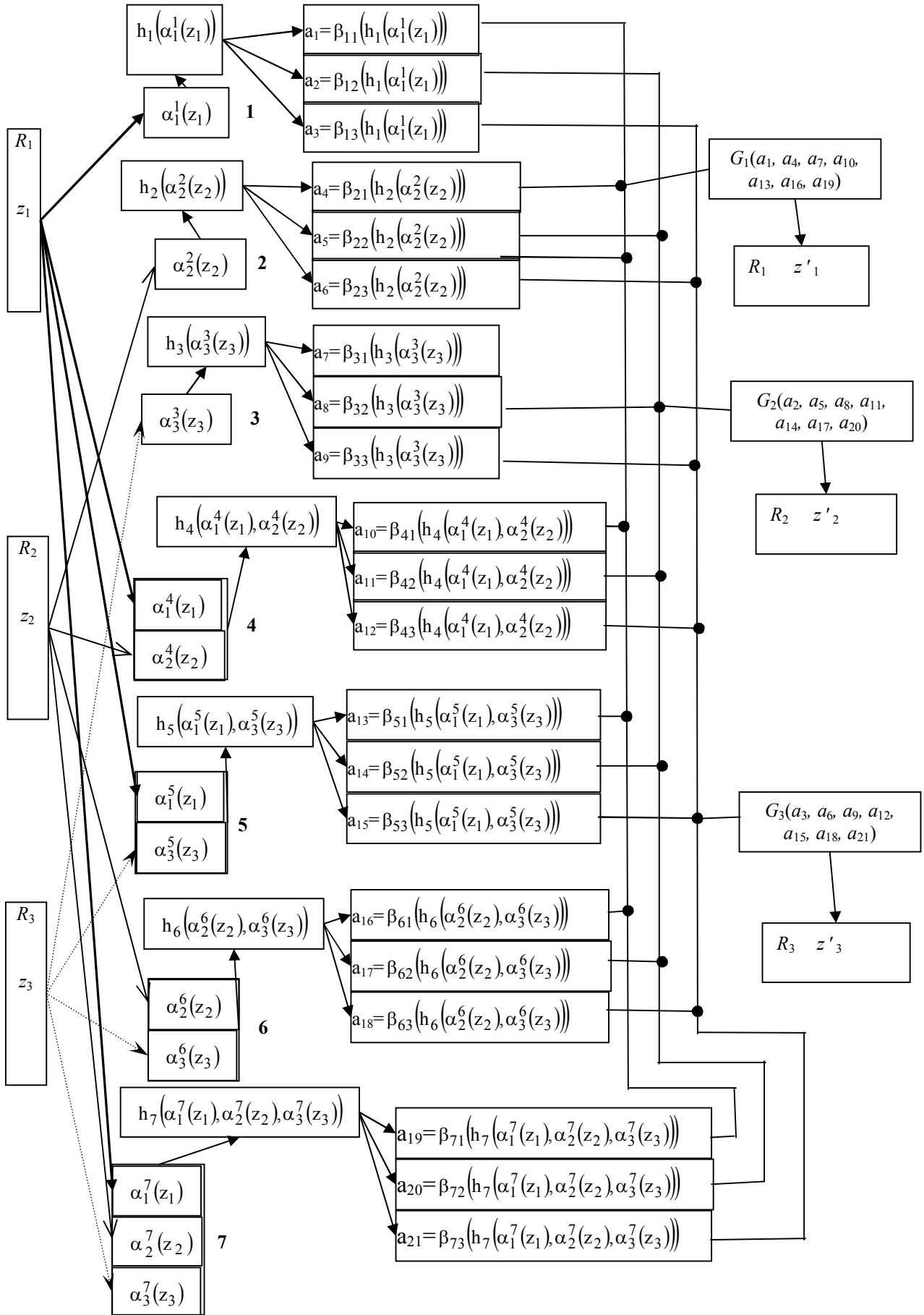


Рис. 2. Схема связей исходных значений свойств с результатами их преобразований.

На рис.2. приведена общая структура связей значений  $(z_1, z_2, z_3)$  и  $(z'_1, z'_2, z'_3)$  свойств  $R_1, R_2, R_3$ . Функции  $\alpha_i^j(z_i)$ ,  $1 \leq i \leq 3$ , определяют, какая часть величины  $z_i$  по законам и отношениям свойств  $R_1, R_2, R_3$ , имеющих интерпретацию в рассматриваемой области приложений, используется без взаимодействия с другими свойствами при определении значений  $(z'_1, z'_2, z'_3)$ . Функции вида  $\alpha_i^j(z_i)$ ,  $j \in \{4, 5, 6, 7\}$ , определяют, какая часть величины  $z_i$  используется для вычисления результата взаимодействия свойства  $R_i$  в сочетаниях свойств  $\{R_1, R_2\}_4$ ,  $\{R_1, R_3\}_5$ ,  $\{R_2, R_3\}_6$ ,  $\{R_1, R_2, R_3\}_7$ . Функции  $h^j$ ,  $1 \leq j \leq 7$ , определяют промежуточные числовые величины, которые используются для вычисления результатов совмещений свойств и последующего распределения с помощью функций  $\beta_{ji}$ , где  $1 \leq j \leq 7$ ,  $1 \leq i \leq 3$  значений свойств  $R_1, R_2, R_3$  по аргументам функций  $G_1, G_2, G_3$ .

Изображённая на рис.2 схема взаимодействий свойств  $R_1, R_2, R_3$  связывает значения свойств  $(z_1, z_2, z_3)$  и  $(z'_1, z'_2, z'_3)$  на основе определения функций вида  $\alpha_i^j$ ,  $h^j$ ,  $\beta_{ji}$  и  $G_i$  по законам и отношениям свойств  $R_1, R_2, R_3$ , действующим в рассматриваемой области приложений. Сложность схемы и большое число используемых в ней функций объясняется сложностью задачи построения такой математической модели большой системы, в которой представлены параметры и характеристики разнородных процессов.

### 3. Метод диагностирования

Предлагаемый метод диагностирования основан на выборе таких свойств, значениями которых характеризуются алгоритмические свойства и свойства материальной реализации объекта диагностирования. Для конечного набора свойств определяются эффективные для диагностирования множества значений свойств. Связи свойств представляют изменения значений свойств как в работоспособной системе, так и при изменениях системы, вызванных неисправностями, ошибками в алгоритмах и программах, ошибочными действиями операторов, нарушениями энергообеспечения и т.п. Точность, полнота и компактность новой диагностической модели для большой системы с разнородными взаимодействиями процессами регулируются выбором свойств и учитываемых значений свойств.

### Выводы

Анализ особенностей технического диагностирования больших систем с действующими в них неоднородными процессами (командно-информационными, процессами подготовки и использования исполнителей, процессов подготовки и использования техники, процессов энергообеспечения и др.) показал, что модели и методы, а также математические средства их задания (таблицы, графы, матрица, логические уравнения и др.), разработанные для малых объектов, не пригодны для больших систем. В связи с этим показано, что разнородные средства получения диагностической информации (алгоритмическое тестирование, измерение физических параметров, визуальный осмотр и т.п.) теоретически могут быть представлены как единая процедура [4]. Главным выводом является необходимость замены подмножеств множества состояний памяти объекта диагностирования новой формой представления диагностической информации: наборами значений свойств, характеризующих не только алгоритмические свойства, но и свойства материальной реализации целевого предназначения объекта. Разработана общая схема (см. пример на рис.2), представляющая использование законов и отношений, действующих в рассматриваемой области приложений, для построения диагностической математической модели большой системы. Выбор моментов времени наблюдения свойств объекта диагностирования не связан с потактовым функционированием объекта, что позволяет принципиально сокращать диагностическое дерево формирования и изменения значений свойств и практически строить такие деревья для больших систем.

### Литература

1. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов. / А. Гилл. – М.: "Наука", 1966.
2. Мур Э. Умозрительные эксперименты с последовательными машинами / Э. Мур // Автоматы. – М.: ИИЛ, 1956, – с. 179-213.
3. Резчиков А.Ф. Причинно-следственные модели производственных систем. / А.Ф. Резчиков, В.А. Твердохлебов – Саратов: Изд-во «Научная книга», – 2008 – 137 с.
4. Резчиков А.Ф. Техническое диагностирование мехатронных систем / А.Ф. Резчиков, В.А. Твердохлебов // Мехатроника, автоматизация, управление, – 2003 – № 2. – С. 2-6.
5. Твердохлебов В.А. Метод доопределения и синтеза законов функционирования дискретных динамических систем. / В.А. Твердохлебов // Компьютерные науки и информационные технологии: Материалы Международной науч. конф., посвященной

100-летию СГУ. - Саратов: Изд-во Саратов. ун-та, – 2009. – 256 с.: ил. С.189-193.  
6. Твердохлебов В.А. Построение фазовых кар-

тин с определением сил по свойствам области приложений. / В.А. Твердохлебов // Доклады Академии Военных Наук. – № 5 (40). – 2009. – С. 74-85.

Поступила в редакцию 17.02.2010

**Рецензент:** д-р техн. наук, профессор кафедры АПВТ Харьковского национального университета радиоэлектроники, декан факультета КИУ ХНУРЭ, В.И. Хаханов Харьков, Украина.

### ДІАГНОСТИКА ВЕЛИКИХ НЕОДНОРІДНИХ СИСТЕМ РОЗШИРЕНИМИ ЗАСОБАМИ ДІАГНОСТИКИ

*В.О. Твердохлебов*

На основі відмови від алгоритмічного тестування як єдиного засобу діагностики великих систем з взаємодіючими в них різномірними процесами пропонуються нові основні положення, моделі і методи діагностики. Засобами отримання діагностичної інформації вважаються алгоритмічне тестування, вимірювання фізичних параметрів, візуальний огляд, спостереження спеціальних сигналів і ознак тощо. У зв'язку з цим об'єкт діагностики представляється моделлю формування і зміни властивостей, що спостерігаються розширеними засобами діагностики. Розроблена схема зв'язків для побудови змін властивостей.

**Ключові слова:** велика система, діагностика, алгоритмічне тестування, вимірювання фізичних параметрів, візуальний огляд, властивості системи, взаємодія різномірних процесів.

### DIAGNOSING OF COMPLEX NONUNIFORM SYSTEMS BY EXPANDED DIAGNOSING TOOLS

*V.A. Tverdokhlebov*

On the basis of refusal of algorithmic testing as unique tools of diagnosing of complex systems with diverse processes cooperating in them new substantive provisions, models and methods of diagnosing are offered. Means of reception of the diagnostic information rely algorithmic testing, measurement of physical parameters, visual survey, supervision of special signals and attributes, etc. In this connection the object of diagnosing is represented model of formation and change of the properties observable by expanded means of diagnosing. The scheme of communications for construction of changes of properties is developed and represented.

**Key words:** complex system, diagnosing, algorithmic testing, measurement of physical parameters, visual survey, properties of system, interaction of diverse processes.

**Твердохлебов Владимир Александрович** – д-р техн. наук, профессор, главный научный сотрудник Института проблем точной механики и управления Российской Академии Наук, Саратов, Россия, e-mail: tverdokhlebovva@list.ru.