

## ИНФОРМАТИКА И СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

---

---

УДК 681.518.54

А.М. Ворон, Д.В. Ломакин

### ДИАГНОСТИРОВАНИЕ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ ОШИБОК КОНТРОЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ АППАРАТУРЫ

Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева

Разработан алгоритм условного поиска дефектов с учетом возможных ошибок контрольно-измерительной аппаратуры.

*Ключевые слова:* граф, диагностирование, дефект, точки контроля, ошибка контрольно-измерительной аппаратуры.

#### Постановка задачи

Обеспечение контролепригодности систем является одной из основных задач технологии проектирования и производства сложных систем [1]. Эта задача решается в первую очередь за счет разработки эффективных методов диагностирования систем с использованием соответствующей контрольно-измерительной аппаратуры (КИА). В работе [2] был предложен алгоритм условного поиска дефектов, когда выбор очередной точки контроля зависит от результатов тестирования системы в предыдущих точках контроля. Но при этом считалось, что результаты проверок являются достоверными. К сожалению, при измерении информационных параметров системы всегда имеют место ошибки, снижающие эффективность локализации дефектов в системе и, чаще всего, делают ее невозможной. Поэтому разработка методов и алгоритмов, которые снижают влияние ошибок КИА на результат диагностирования, является актуальной. В данной работе предложен алгоритм условного поиска дефектов, предусматривающий обнаружение и исправление ошибок КИА.

#### Алгоритм обнаружения ошибок КИА

Результатом измерения параметра в некоторой точке контроля является решение о принадлежности его значения области допустимых значений. Решение принимается равным 1, если значение параметра вышло за пределы области допустимых значений, и равным 0 – в противном случае. Ошибки КИА могут привести к ложным решениям. Если при измерении параметра принято ложное решение, то неисправные блоки, которые проверяются на основе данной точки контроля, будут исключены из подмножества блоков, подозреваемых на наличие дефекта. Если данная проверка определяет состояния не всех дефектных блоков, тогда начнется процесс поиска дефекта в блоках, состояния которых данная проверка не определяет, в противном случае результаты всех последующих проверок будут равны нулю.

Факт исключения неисправного блока из подмножества блоков, подозреваемых на наличие дефекта, с некоторой вероятностью можно контролировать по  $m$  последовательно идущим отрицательным результатам проверки (нулям - дефект не обнаружен). Величина  $m$  подбирается экспериментально. Для снятия неопределенности в установлении указанного факта в качестве очередной (тестовой) проверки выбирается одна или несколько предыдущих проверок, давших положительный результат (1 - дефект обнаружен).

Количество тестовых проверок подбирается экспериментально с учетом вероятности ошибок КИА и числа подходящих проверок. Если все результаты проверок снова оказались равными 1, то ошибка отсутствует, в противном случае произошла ошибка в одной из предыдущих проверок. Ошибка может быть найдена с помощью тех же тестовых проверок (одной или нескольких), устанавливая их сначала перед  $m$  последними проверками и выполняя их как очередную проверку в программе. Если результаты проверки оказались равны 1, то ошибка отсутствует в предыдущих проверках и тестовые проверки перемещаются вниз. Если при очередном выполнении тестовых проверок результаты оказались равны 0, то ошибка возникла при выполнении предыдущей проверки. Аналогичным образом тестовые проверки могут перемещаться вверх. После обнаружения ошибки она исправляется и тем самым неисправный блок включается в подмножество блоков, подозреваемых на наличие дефекта, и процедура поиска дефектов продолжается.

На рис. 1 представлена блок-схема алгоритма условного поиска дефектов с исправлением ошибок КИА.

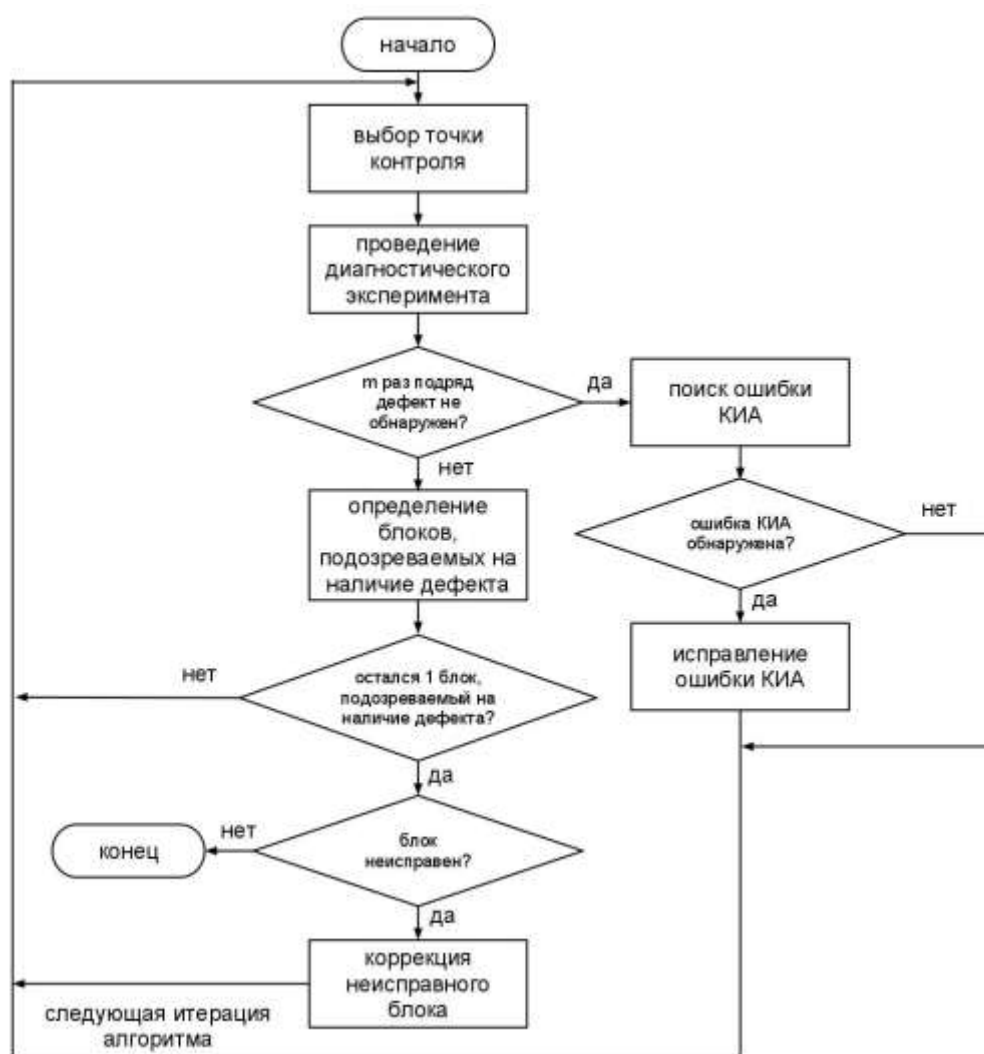


Рис. 1. Блок-схема алгоритма условного поиска дефектов с исправлением ошибок КИА

### Экспериментальная часть

В качестве примера рассмотрим определение ошибки КИА при диагностировании системы с однократным дефектом. Модель системы состоит из 15 блоков. В процессе эксплуатации в системе произошел дефект в блоке 10. Количество отрицательных результатов проверок  $m$ , указывающее на возможность наличия ошибки КИА, равно 3.

На итерациях 1 и 2 проверки дали положительный результат: проверки в точках контроля  $a$  и  $b$  обнаружили дефект. На итерации 3 произошла ошибка КИА: неисправный блок 10, который проверялся точкой контроля  $c$ , был исключен из подмножества блоков, подозреваемых на наличие ошибки (табл. 1).

Таблица 1

**Пример работы алгоритма условного поиска дефектов  
с исправлением ошибок КИА**

№ итерации	Выбранная точка контроля	Множество блоков, состояние которых проверяет выбранная точка контроля	Результат тестирования системы	Множество блоков, подозреваемых на наличие дефекта после тестирования
1	$a$	{1, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15}	1	{1, 3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15}
2	$b$	{1, 3, 4, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 15}	1	{1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15}
3	$c$	{7, 10}	0	{1, 3, 4, 5, 9, 11, 12, 13, 15}
4	$d$	{5, 13}	0	{1, 3, 4, 9, 11, 12, 15}
5	$e$	{3, 11}	0	{1, 4, 9, 12, 15}

В трех подряд идущих итерациях (3, 4, 5 итерации) проверки дали отрицательные результаты (дефект не обнаружен). Этот факт допускает возможность появления ошибки КИА при диагностировании системы. С целью опровержения или подтверждения факта наличия ошибки КИА выполняется процедура поиска ошибок КИА с помощью тестовых проверок (табл. 2).

Таблица 2

**Процедура поиска ошибок КИА**

№ итерации	Выбранная точка контроля	Множество блоков, проверяемых выбранной точкой контроля	Результат тестирования системы	Множество блоков, подозреваемых на наличие дефекта после тестирования
6	$a$	{1, 4, 9, 12, 15}	0	-
	$b$	{1, 4, 9, 12, 15}	0	-
7	$a$	{1, 3, 4, 9, 11, 12, 15}	0	-
	$b$	{1, 3, 4, 9, 11, 12, 15}	0	-
8	$a$	{1, 3, 4, 5, 9, 11, 12, 13, 15}	0	-
	$b$	{1, 3, 4, 5, 9, 11, 12, 13, 15}	0	-
9	$a$	{1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15}	1	{7, 10}
	$b$	{1, 3, 4, 5, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 15}	1	{7, 10}

Тестовые проверки на итерации 6 показали, что множество блоков {1, 4, 9, 12, 15} не содержит дефекта, что подтверждает факт наличия ошибки КИА. Для определения итерации, на которой произошла ошибка КИА, тестовые проверки выполняют поиск дефектов в предыдущих множествах блоков, подозреваемых на наличие ошибки. Ошибка КИА будет обнаружена тестовыми проверками в подмножестве блоков, полученном на итерации 2, следовательно, ошибка КИА произошла на итерации 3.

Коррекция осуществляется посредством замены множества {1, 4, 9, 12, 15} множеством

{7, 10}, которое было исключено ошибочной проверкой. После коррекции процедура поиска дефектов продолжается.

Для рассматриваемой в примере системы был проведен сравнительный анализ алгоритмов с исправлением и без исправления ошибок КИА по времени, затрачиваемого на локализацию дефекта, и по вероятности того, что дефект не будет обнаружен при диагностировании системы. В качестве исходных данных методом статистического моделирования было сгенерировано 1000 состояний системы с однократным дефектом и 1000 состояний системы с двукратным дефектом. Вероятность появления ошибки КИА равна 0.01.

### Сравнительный анализ алгоритмов условного поиска дефектов без исправления и с исправлением ошибок КИА

Алгоритм условного поиска дефектов с исправлением ошибок КИА затрачивает больше времени на локализацию дефектов в системе. Это объясняется тем, что алгоритму требуется дополнительное время для поиска ошибок КИА, если есть подозрение на их наличие (рис. 2).

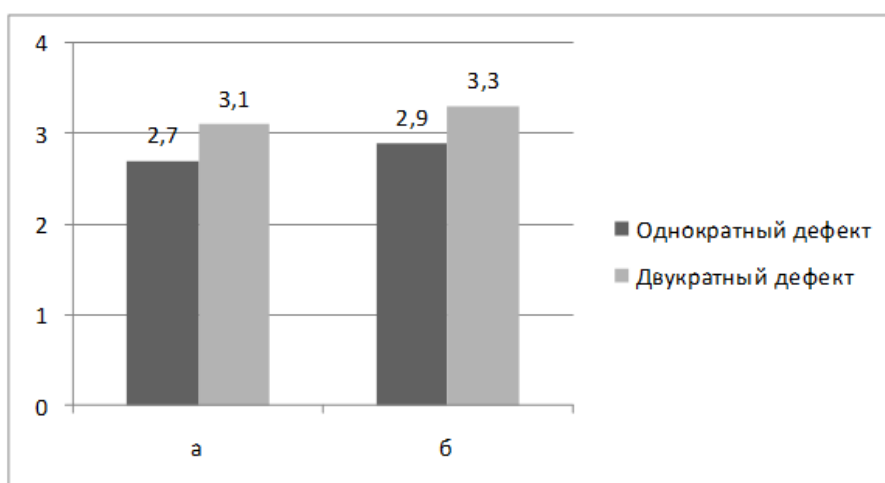


Рис. 2. Среднее время локализации дефекта (в микросекундах) при использовании алгоритма:  
а – алгоритм условного поиска дефектов без исправления ошибок КИА;  
б – с исправлением ошибок КИА

В случае диагностирования системы с однократным дефектом алгоритм без исправления ошибок КИА пропускает дефект с вероятностью появления ошибки КИА (рис. 3, а).

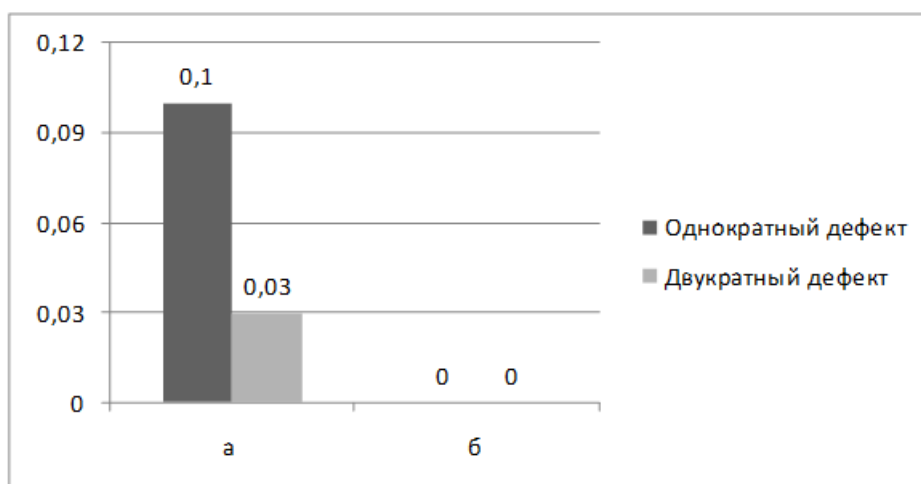


Рис. 3. Вероятность того, что дефект не будет обнаружен при использовании алгоритма:  
а – алгоритм условного поиска дефектов без исправления ошибок КИА;  
б – с исправлением ошибок КИА

Таким образом, ошибка КИА гарантированно приводит к получению неверного результата при диагностировании системы с однократным дефектом. При использовании алгоритма без исправления ошибок КИА для диагностирования системы с кратным дефектом, вероятность получения неверного результата меньше, чем при использовании данного алгоритма для поиска однократного дефекта. В случае многократного дефекта ошибка КИА приводит к получению неверного результата только тогда, когда ошибка произошла при измерении параметра в точке контроля, определяющей состояния всех неисправных блоков.

Алгоритм условного выбора точек контроля позволил определить ошибки КИА и локализовать все однократные и двухкратные дефекты в системе (рис. 3, б).

### Выводы

Разработан алгоритм обнаружения и исправления ошибок КИА в процессе локализации дефектов, что позволяет значительно снизить влияние ошибок на исход диагностирования системы. Процедура обнаружения и исправления ошибок КИА включает в себя:

- 1) текущий анализ результатов диагностирования системы, позволяющий выявить факт возможного появления ошибки КИА;
- 2) поиск ошибки КИА с помощью тестовых проверок;
- 3) коррекцию ошибки КИА.

Реализация алгоритма локализации дефекта с исправлением ошибок КИА дала возможность сократить среднее время поиска дефекта в системе, тем самым повысить эффективность обслуживания системы на всех этапах жизненного цикла.

### Библиографический список

1. Сагунов, В.И. Контролепригодность структурно связанных систем / В.И. Сагунов, Л.С. Ломакина. – М.: Энергоатомиздат, 1990. – 11 с.
2. Ломакин, Д.В. Диагностирование сложных технических и программных систем / Д.В. Ломакин, А.А. Иванова, А.М. Ворон // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Н. Новгород, 2011. № 3(90). С. 83–88.

*Дата поступления  
в редакцию 30.06.2012*

**A. Voron, D. Lomakin**

### DIAGNOSIS OF COMPLEX SYSTEMS CONSIDERING INSTRUMENTATION FAILURES

Nizhny Novgorod state technical university n.a. R.Y. Alexeev

**Purpose:** Techniques of diagnosis use instrumentation equipment to detect faults in systems. Actually there are faults in instrumentation which decrease diagnosis efficiency. Here it is described how to detect instrument faults during testing.

**Design/methodology/approach:** An algorithm for diagnosis of complex systems that handles probable instrumentation failures is developed. A method of failure confirmation by controlling test results is given.

**Findings:** The algorithm described can be applied to the fault diagnosis in systems can be represented by a directed graph.

**Research limitations/implications:** The present study is an expansion of research in the fault diagnosis sector.

**Originality/value:** Moreover, the method has proven to be useful in increasing diagnosis efficiency.

*Key words:* graph, diagnosis, defect, checkpoints, instrumentation.