



## СИСТЕМНЫЙ АНАЛИЗ

УДК 621.38

### ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕФЕКТОВ В ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ПРИ ТЕРМИНАЛЬНОМ ДИАГНОСТИРОВАНИИ

Г.С. Бритов

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

*Рассмотрена организация тестового диагностирования линейных динамических систем с целью локализовать дефекты. Предложена модель однократного дефекта, который нарушает движение системы в пространстве состояний за счет искажения коэффициентов системных матриц. Показано, что тестирование системы основано на использовании модели системы для расчета терминального управления. Для рассматриваемых линейных динамических систем с известным описанием в пространстве состояний может быть построена тестовая система с рассчитанным терминальным управлением. Предлагается процедура тестового диагностирования, обнаруживающая появление дефекта, благодаря проверке достижения заданных границ управляемого движения системы. Приведен сценарий технологического процесса диагностирования динамической системы.*

*Ключевые слова: тестовое диагностирование, локализация дефектов, динамическая система, терминальное управление, сценарий технологического процесса.*

**Для цитирования:**

*Бритов Г.С. «Локализация дефектов в динамических системах при терминальном диагностировании» // Системный анализ и логистика: журнал.: выпуск №1(16), ISSN 2007-5687. – СПб.: ГУАП., 2018 – с.3-9. РИНЦ.*

### LOCALIZATION OF DEFECTS IN DYNAMIC SYSTEMS WITH TERMINAL DIAGNOSIS

G.S. Britons

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

*The organization of the test diagnosing linear dynamic systems, in order to localize the defects. The proposed model is a single defect that disturbs the motion of the system in state space due to the distortion of the coefficients of the system matrices. It is shown that the testing of the system based on the use of the system model to calculate the terminal control. For the considered linear dynamical systems with known description in state space can be built the test system with the calculated terminal control. Propose a procedure for test diagnostics that detect the appearance of the defect, as a result of verification of achieving the defined boundaries of a controlled motion system. Given the scenario of the technological process of diagnosing a dynamic system.*

*Key words: testing, localization of defects, dynamic system, terminal management, scenario process.*

**For citation:**

*Britons G.S. «Localization of defects in dynamic systems with terminal diagnosis» // System analysis and logistics.: №1(16), ISSN 2007-5687. – Russia, Saint-Peterburg.: SUAI., 2018 – с.3-9.*

### Введение

Локализация дефектов, возникающих в динамических системах, может выполняться с помощью описанного терминального диагностирования [1,2]. Рассматривается линейная дискретная система, математическая модель которой представляет собой рекуррентные уравнения состояния. Терминальное диагностирование является одним из видов тестового диагностирования, при котором терминальное управление обеспечивает заданное движение системы в пространстве состояний. Диагностическим признаком служит достижение системой заданного конечного



состояния. Следовательно, терминальное диагностирование характеризуется сложным генератором тестового сигнала (терминального управления), но простой процедурой обнаружения дефектов. К аналогичным методам тестового диагностирования относится метод комплементарного сигнала [4], в котором амплитуды импульсов входной тестовой последовательности зависят от собственных чисел проверяемого объекта; контроль в нулевом режиме, когда входные сигналы подаются на частоте передаточных нулей систем [10]; контроль по ганкелевым сингулярным числам [8] и другие. Другая группа методов тестового диагностирования характеризуется простыми тестовыми сигналами, но сложной процедурой обнаружения дефектов. Например, контроль по параметрам весовой или переходной функций системы (входные сигналы – импульс или единичный скачок), а также контроль по частотным характеристикам (гармонические входные сигналы). Терминальное диагностирование после простой процедуры обнаружения дефекта позволяет осуществить его локализацию. В статье рассматривается технологический процесс локализации одиночных дефектов, возникающих в динамических системах. Для этого целесообразно обратиться к известному стандарту IDEF3, чтобы получить технический сценарий терминального диагностирования. Он должна состоять из PFDD-диаграмм для процесса диагностирования [3,4].

#### Диагностическая модель системы

Объектом терминального диагностирования является линейная дискретная динамическая система. Математическая модель ее имеет вид:

$$\begin{aligned} x(t+1) &= A \cdot x(t) + B \cdot u(t), x(0) = x_0, x(k) = x_k \\ x(t) &\in R^n, u(t) \in R^m \end{aligned} \quad (1)$$

Начальные и конечные состояния системы известны. Управляемое движение от  $x_0$  к  $x_k$  осуществляется с помощью рассчитанного терминального управления  $u(0, k-1)$ . Поэтому при подаче на вход системы терминального управления осуществляется тестовое движение в пространстве состояний. Результат тестового движения  $x(0, k)$  оценивается оператором, который принимает решение о наличии дефекта с помощью  $n$ -мерного вектора диагностических признаков:

$$\Delta = x(k) - x_k \quad (2)$$

Если они близки к нулю, то ОД работает без дефектов, иначе имеются дефекты. Тогда может включаться процедура локализации дефекта.

Модель дефектов в динамической системе строится из предположения, что происходит изменение коэффициентов системных матриц  $A$ ,  $B$ ,  $C$ . Рассмотрим сначала ошибки, возникающие при изменении коэффициентов матрицы  $A$ :

$$x^*(t+1) = (A + \Delta A) \cdot x^*(t) + B \cdot u(t), x^*(0) = x_0$$

$$e(t+1) = (A + \Delta A) \cdot e(t) + \Delta A \cdot x(t), e(0) = 0$$

$$e(t) = \sum_{i=0}^{t-1} \Delta A^{t-1-i} \cdot x(i)$$

Видно, что ошибки будут накапливаться со временем в зависимости от вида движения системы. Рассмотрим теперь ошибки, возникающие при изменении коэффициентов матрицы  $B$ :

$$x^*(t+1) = A \cdot x^*(t) + (B + \Delta B) \cdot u(t), x(0) = x_0$$



$$e(t+1) = A \cdot e(t) + \Delta B \cdot u(t), e(0) = 0$$

$$e(t) = \sum_{i=0}^{t-1} A^{t-1-i} \cdot u(i)$$

Ошибка накапливается в зависимости от вида входного сигнала. Наконец, полагаем, что дефект в измерительной системе приводит к обнулению матрицы  $C$ .

### Сценарий локализации дефектов

Получив диагностическую модель динамической системы можно построить наглядное описание процесса терминального диагностирования. Для этого целесообразно использовать методологию стандарта IDEF3. С ее помощью создается сценарий исследуемого процесса. Он состоит из диаграмм вида PFDD-диаграмм (Process Flow Description Diagrams), в которых показано взаимодействие операций процесса.

На рис.1 приведена контекстная PFDD-диаграмма локализации дефектов. В ней отмечены внешние сущности процесса:

- Динамическая система, которая подвергается тестовому диагностированию с помощью подачи на ее вход рассчитанного терминального управления.
- Модель системы в виде системных матриц  $A, B, C$ .
- Разработчик системы, готовый рассчитать требуемое терминальное управление.
- Оператор, принимающий решение по результатам тестового движения системы.

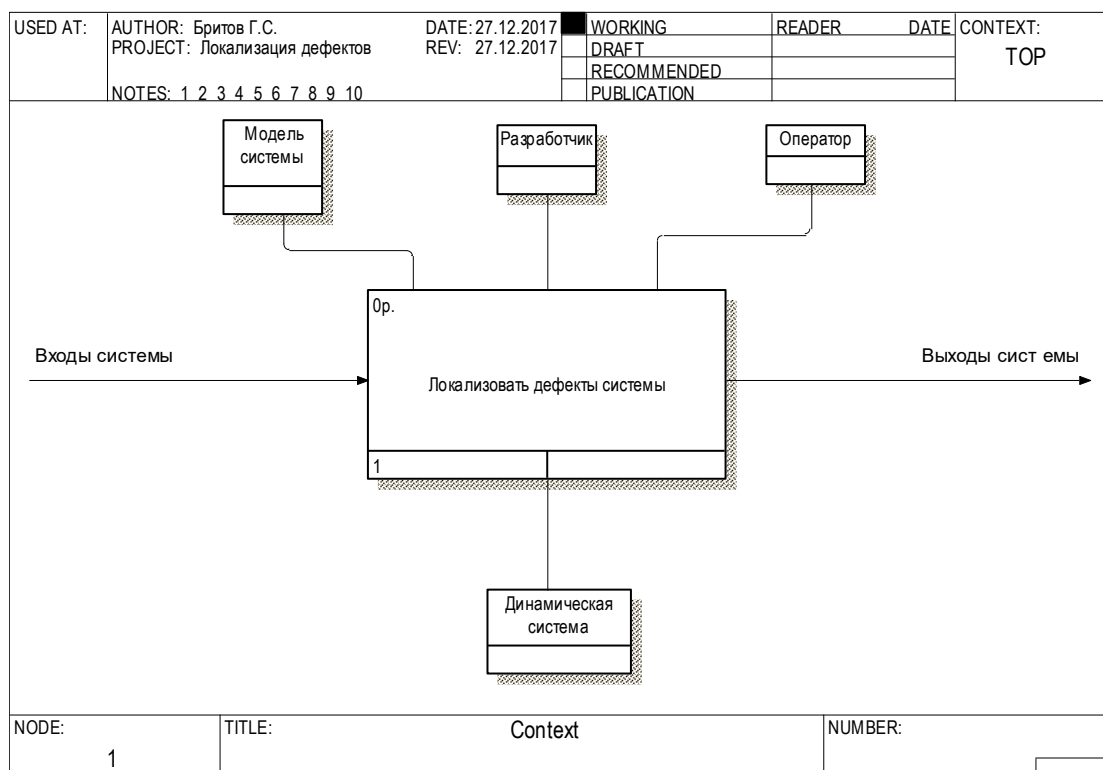


Рис.1. Контекстная PFDD-диаграмма локализации дефектов



Декомпозиция контекстной диаграммы приводит к PFDD-диаграмме, показанной на рис.2. Она включает четыре достаточно крупные операции:

- Подготовить разработчиком системные матрицы математической модели тестируемой динамической системы.
- Рассчитать разработчиком терминальное управление, используя разработанную программу расчета.
- Выполнить тестовое движение, выполняемое динамической системой под действием подаваемого на ее вход рассчитанного терминального управления.
- Принять оператором решения о наличии или отсутствия дефекта, анализируя по выходам системы результаты тестового движения.

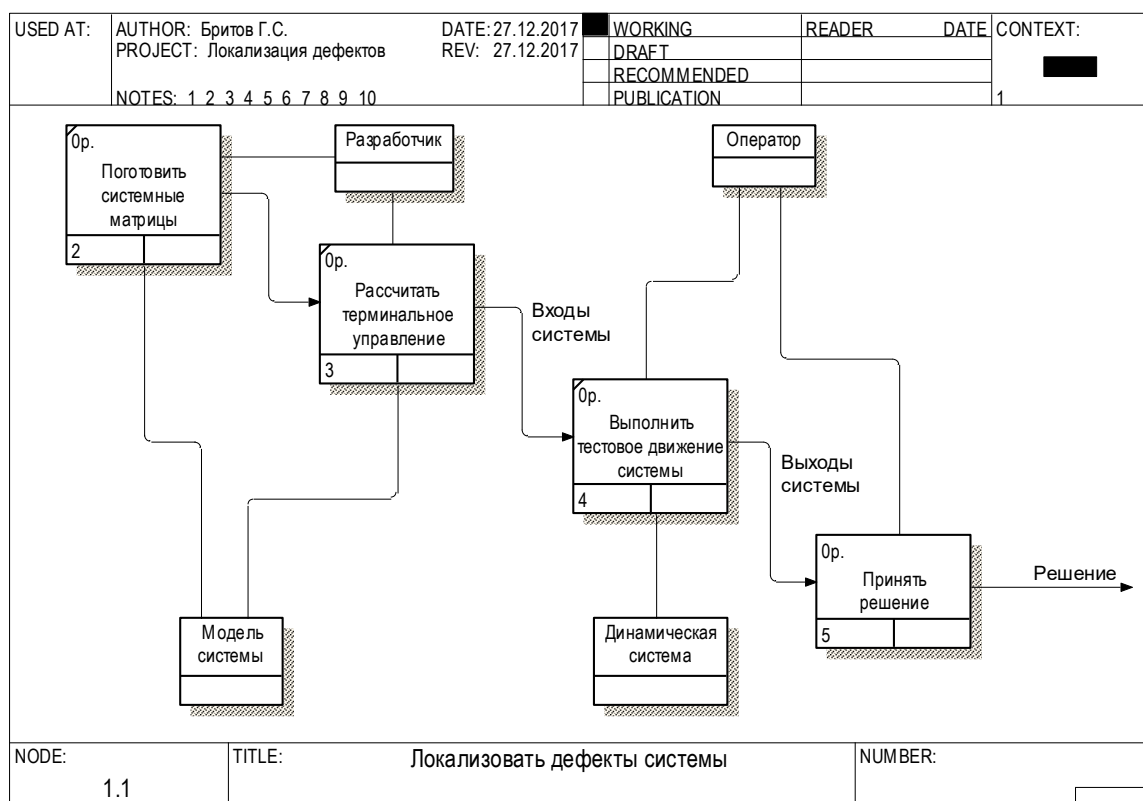


Рис.2. PFDD-диаграмма второго уровня локализации дефектов

Заметим, что в рассматриваемой диаграмме сохранились все четыре внешние сущности сценария. Операция «Принять решение» требует декомпозиции, так как данная диаграмма является диаграммой только второго уровня дерева узлов.

PFDD-диаграмма третьего уровня декомпозиции операции «Принять решение» показана на рис.3. В ней участвуют четыре операции:

- Проверить нулевой характер выходов системы и, если выходы нулевые принять решение о дефекте в матрице *C*.
- В противном случае проверить диагностический признак и, если он в допуске принять решение об отсутствии дефекта.
- В противном случае выполнить свободное движение системы под действием нулевых входов.
- Проверить правильность свободного движения системы и, если оно правильное, то принять решение о дефекте в матрице *B*.



- В противном случае принять решение о дефекте в матрице А.

Все указанные операции выполняет оператор, имея доступ к входам и выходам системы и возможность проанализировать результаты движения системы.

Декомпозицию остальных операций PFDD-диаграммы второго уровня можно было бы продолжать. Однако эта работа выходит за рамки одной статьи.

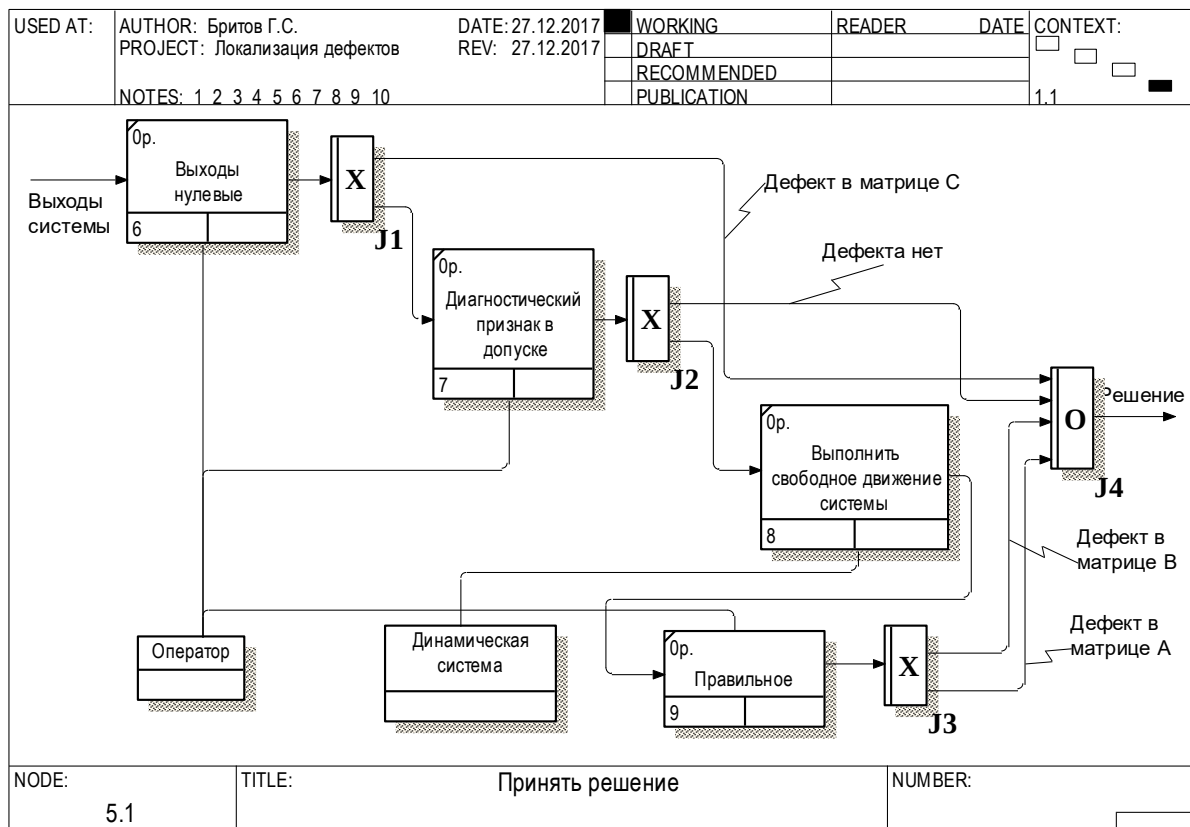


Рис.3. PFDD-диаграмма третьего уровня локализации дефектов

Построенное дерево узлов рассматриваемого сценария локализации дефектов в динамической системе показано на рис.4. Оно имеет всего три уровня. На каждом уровне, кроме корня дерева, расположены по четыре операции. Эти операции подробно описаны выше.

Даже выполненная не очень глубокая декомпозиция контекстной диаграммы локализации дефектов дает достаточно хорошее представление о том, как должна осуществляться работа по детальному диагностированию динамической системы на основе анализа ее движения в пространстве состояний как под действием рассчитываемого терминального управления, так и при отсутствии его (свободное движение).

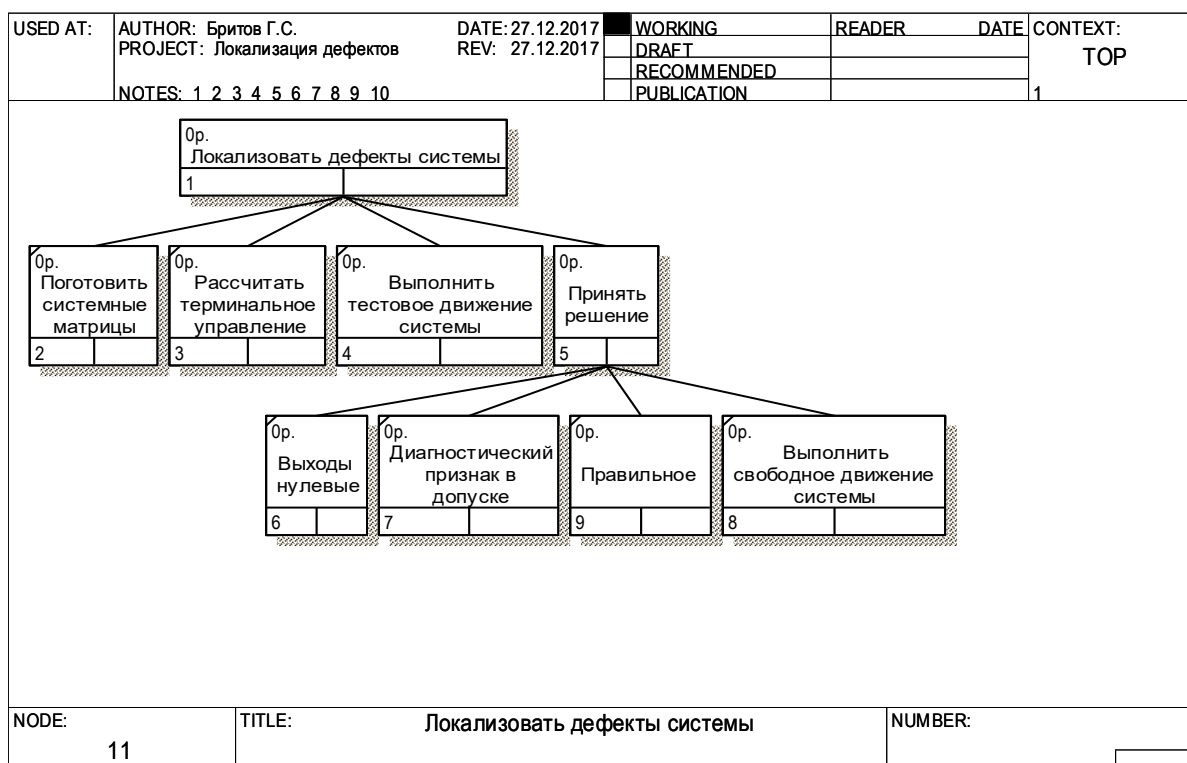


Рис.4. Дерево узлов локализации дефектов

### Заключение

Изложен подход к организации тестового диагностирования линейных динамических систем с целью локализовать дефекты. Предложена модель однократного дефекта, который нарушает движение системы в пространстве состояний за счет искажения коэффициентов системных матриц. Тестирование системы основано на использовании модели системы для расчета терминального управления. Показано, что для рассматриваемых линейных динамических систем с известным описанием в пространстве состояний может быть построена тестовая система с рассчитанным терминальным управлением. Тогда предлагаемая процедура тестового диагностирования обнаруживает появление дефекта, благодаря проверке достижения заданных границ управляемого движения системы. Приведен сценарий технологического процесса диагностирования динамической системы.

*Работа выполнена по гранту РФФИ № 17-08-00244*



## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бритов Г. С. Системный анализ терминального диагностирования динамических объектов / Г. С. Бритов // Системный анализ и логистика. 2017. Выпуск 2(15). С. 3-11.
2. Бритов Г. С. Терминальное диагностирование динамических систем / Г. С. Бритов // Информационно-управляющие системы. 2017. № 4. С. 18-24.
3. Мироновский Л.А. Диагностирование линейных систем методом комплементарного сигнала / Л.А. Мироновский // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002, №5, С.52-57.
4. Мироновский Л.А. Диагностирование систем управления методом аннулирующего сигнала. / Л.А. Мироновский // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте, №5, 2001, С.3-7.
5. Егоров А.Н. Использование нулей динамических систем в задачах технической диагностики / А.Н. Егоров, Л.А. Мироновский // Электронное моделирование, №6, 1996, С.34-42.
6. Мироновский Л.А. Функциональное диагностирование динамических систем / Л.А. Мироновский // М. МГУ, 1998. 340с.
7. Бритов, Г. С. Метод формального описания PFDD-диаграмм IDEF3-технологии / Г. С. Бритов // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2. С. 25–32.
8. Черемных С. В. Структурный анализ систем: IDEF-технология / С. В. Черемных, И. О. Семенов, С.М. Ручкин // М. Финансы и статистика. 2001. 208с.

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

**Бритов Георгий Семенович –**

канд. техн. наук, доцент

ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения»

190000, Россия, Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, д. 67, лит. А

E-mail: britovgs@gmail.com

## INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

**Britov George Semenovich –**

PhD. tech. Sciences, associate Professor

Saint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation

SUAI, 67, Bolshaya Morskaya str., Saint-Petersburg, 190000, RUSSIA

E-mail: britovgs@gmail.com