

АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПО OSTN-ДИАГРАММАМ IDEF3-ТЕХНОЛОГИИ

Г. С. Бритов^а, канд. техн. наук, доцент

^аСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: большинство известных работ по диагностированию динамических систем посвящены описанию методов диагностирования, таких как параметрическая идентификация, использование наблюдателей состояния, аналитической избыточности и др. Однако анализ технологического процесса диагностирования не проводится. **Цель:** проанализировать технологический процесс диагностирования динамических систем, получив вероятности состояний процесса на основе OSTN-диаграмм IDEF3-технологии; разработать подход, позволяющий формализовать анализ IDEF3-моделей по OSTN-диаграммам. В соответствии с ним должен осуществляться расчет вероятностей состояний процессов диагностирования. **Методы:** построены рекуррентные уравнения вероятностей состояний, возникающих при диагностировании динамических систем, на основе теории марковских процессов. **Результаты:** разработан метод построения стохастической матрицы рекуррентных уравнений, для которых известны начальные условия. Суть метода в том, что с помощью разработанных PFDD-диаграмм диагностирования динамических систем строятся OSTN-диаграммы IDEF3-технологии. Благодаря этим диаграммам осуществляется не только полное описание технологического процесса диагностирования, но и определение его состояний. **Выводы:** полученные результаты позволяют оценить качество технологического процесса диагностирования динамических систем. Проведена оценка систем тестового и функционального диагностирования.

Ключевые слова — диаграммы IDEF3-технологии, состояния системы, переходные интенсивности, стохастическая матрица, стационарные вероятности состояний.

Введение

Технологические процессы диагностирования реализуются в системах технического диагностирования. Они могут быть тестовыми и функциональными. Тестовые системы проверяют исправность объекта диагностирования в специальном режиме, а функциональные системы в рабочем режиме контролируют правильность функционирования объекта.

Методы диагностирования зависят от вида исследуемого объекта. В статье рассматриваются системы диагностирования динамических систем (ДС). Тестирование линейных ДС подробно описано в целом ряде работ [1–10]. Обычно применяемые методы основаны на формировании диагностических признаков, по которым принимается решение об исправности системы.

Диагностические признаки, основанные на таких важных характеристиках линейных ДС, как нули и операторные нормы, приведены в работах [8, 9], а использование математических моделей рассмотрено в работах [2–4]. Организация тестирования линейных ДС на основе их передаточных функций представлена в работах [1, 10].

Следует отметить методы тестирования на основе специальных входных сигналов системы. Так, в статье [6] рассчитывается комплементарный сигнал, обеспечивающий переход системы за заданное время из нулевых начальных усло-

вий опять в нулевые, конечные условия. А в статье [7] предлагается подавать на вход системы аннулирующий сигнал, на который отсутствует выходная реакция системы. Классическим примером такого сигнала является гармонический сигнал, частота которого равна передаточному нулю системы.

Системы функционального диагностирования ДС рассмотрены в работах [11–14]. Проверка правильности функционирования линейных систем основана на разработке устройства функционального диагностирования [11, 13]. С его помощью формируется диагностический признак, который должен оставаться в допуске, пока система работает без ошибок. Появление ошибок вызывает сбои и отказы в системе. На сбой диагностический признак реагирует как на импульсное входное воздействие. При отказах реакция диагностического признака соответствует постоянному входному воздействию.

Функциональное диагностирование нелинейных ДС описано в работах [12, 14]. Для формирования диагностических признаков используется предложенная авторами алгебра функций.

Организация диагностирования ДС требует разработки соответствующих технологических процессов. Для этого можно использовать стандартную IDEF3-технологии. Известно, что PFDD-диаграммы этой технологии позволяют строить модели технологических процессов [15], а OSTN-

диаграммы — выполнять их анализ [16]. Применение IDEF3-технологии к системам технического диагностирования выполнено в работе [17].

Целью статьи является представление PFDD-и OSTN-диаграмм для систем тестового и функционального диагностирования линейных ДС и вероятностный анализ состояний процессов, проходящих в этих системах.

IDEF3-модели систем диагностирования

Будем рассматривать систему технического диагностирования ДС с точки зрения задач и технологических процессов, в ней происходящих. Поэтому можно использовать стандартную IDEF3-технологю, PFDD-диаграммы которой позволяют построить модели технологических процессов, а OSTN-диаграммы — выполнить их анализ.

Контекстная PFDD-диаграмма процесса тестового диагностирования ДС показана на рис. 1.

Оператор должен выполнить диагностирование на основании результатов тестирования ДС с помощью диагностических признаков.

PFDD-диаграмма второго уровня декомпозиции процесса тестового диагностирования ДС представлена на рис. 2. Показано семь единиц

работы, или операций, которые обеспечивают тестирование. X-разветвление J2 позволяет получить результаты либо от исправной диагностической системы (ИДС), либо от неисправной диагностической системы (НИДС). Сформированный диагностический признак (ДП) дает возможность принять решение либо об исправности, либо неисправности ДС (X-разветвление J4). Неисправную систему следует восстановить и вновь протестировать.

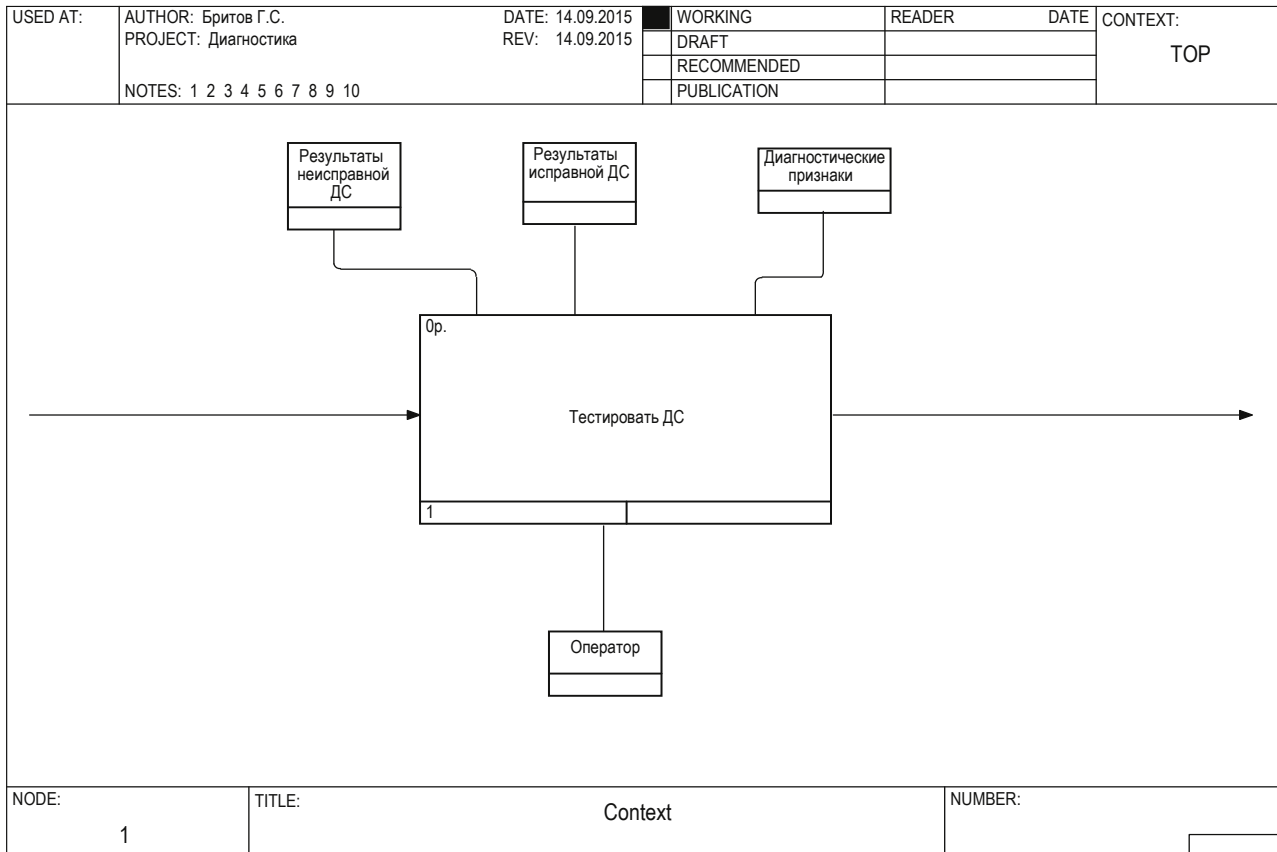
По PFDD-диаграмме, представленной на рис. 2, можно построить диаграммы состояний процесса диагностирования, отличающиеся числом состояний, а следовательно, глубиной анализа. На рис. 3 показаны соответствующие OSTN-диаграммы процесса тестового диагностирования ДС.

На схеме рис. 3, а три состояния:

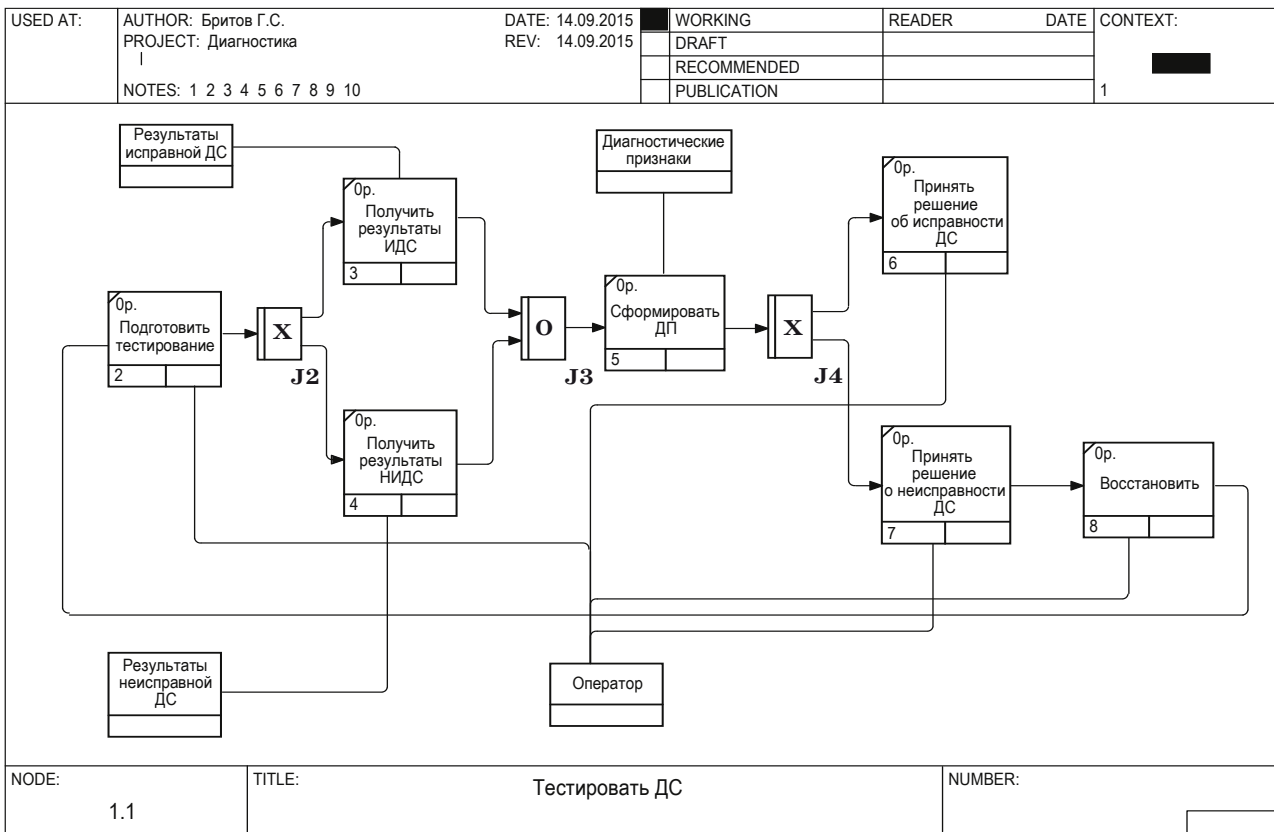
- 1) С₁ — тестовое диагностирование исправной ДС;
- 2) С₂ — тестовое диагностирование неисправной ДС;
- 3) С₃ — восстановление системы.

Коэффициенты передачи между состояниями определяют интенсивность:

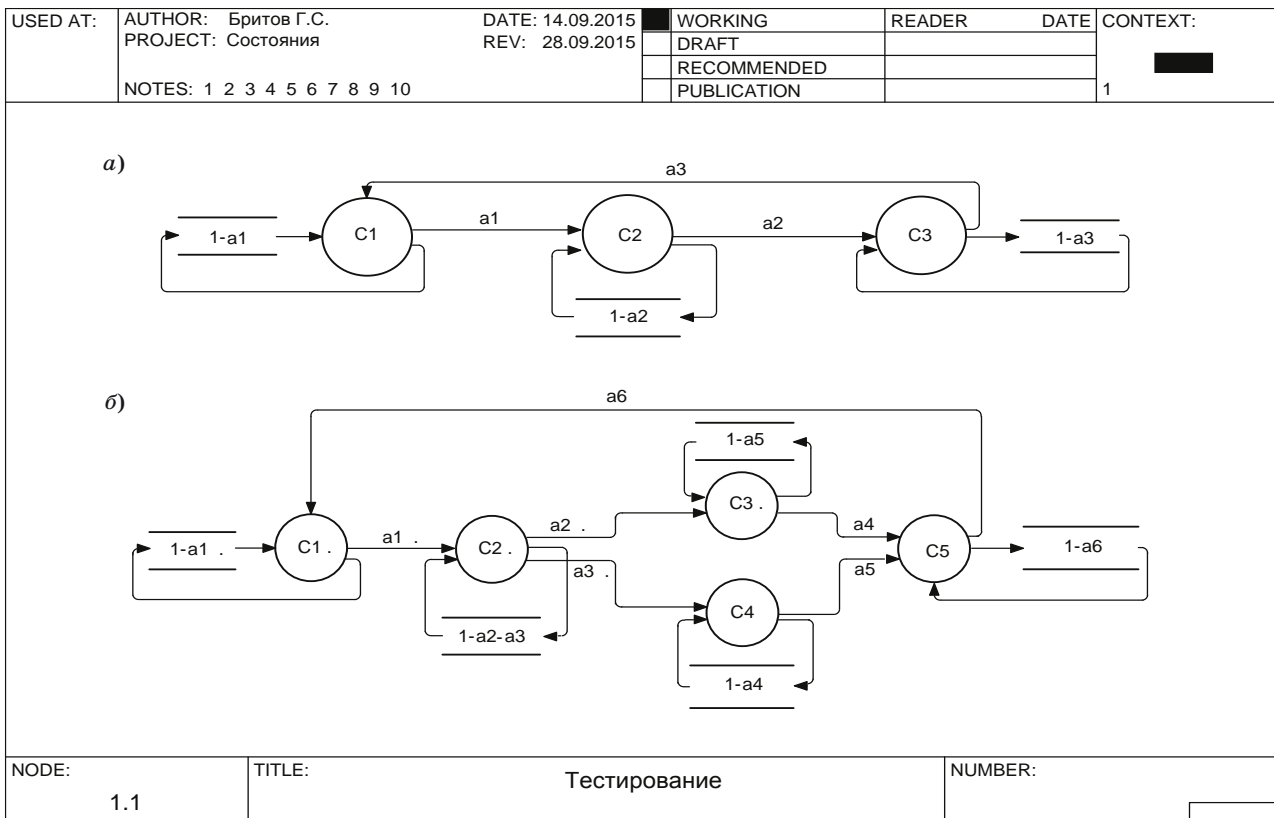
- a₁ — появления дефектов;
- a₂ — обнаружения дефектов;
- a₃ — исправления дефектов.



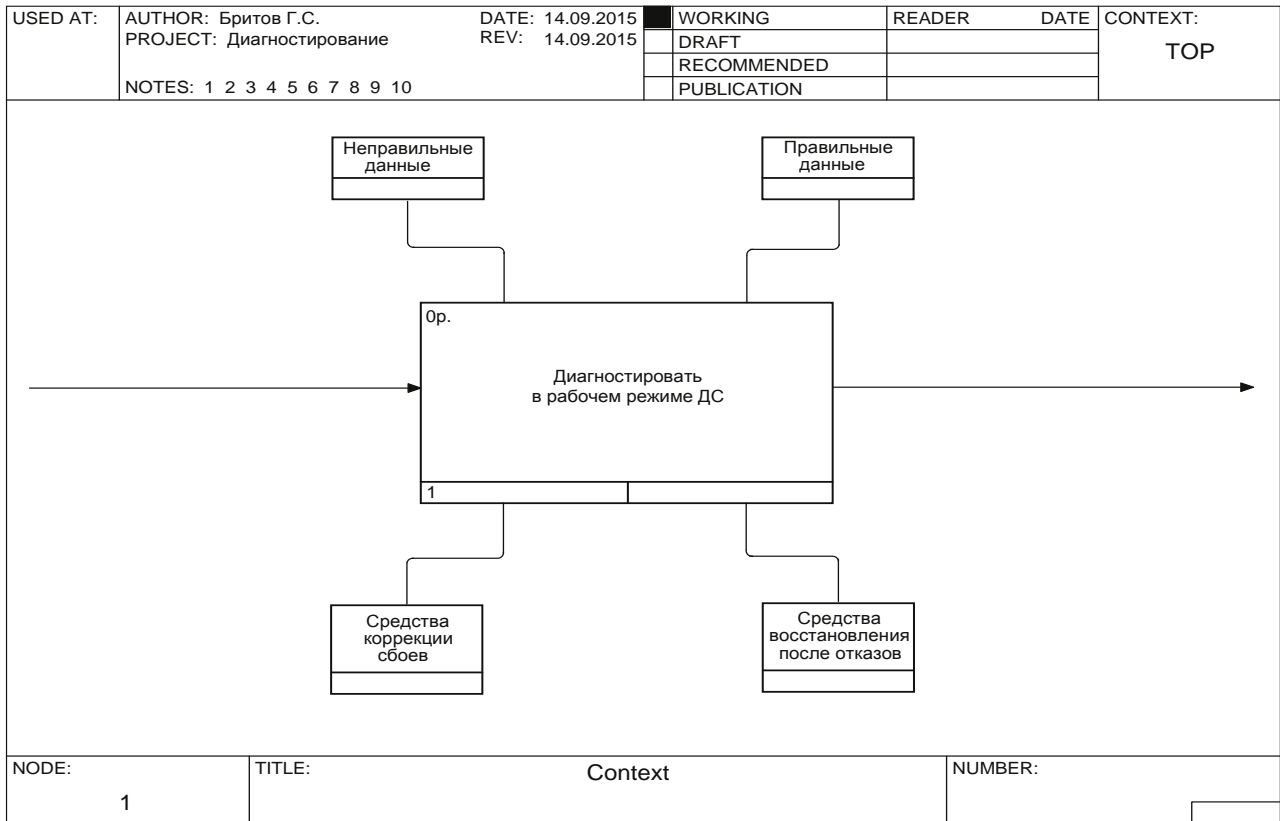
■ Рис. 1. Контекстная PFDD-диаграмма процесса тестового диагностирования ДС



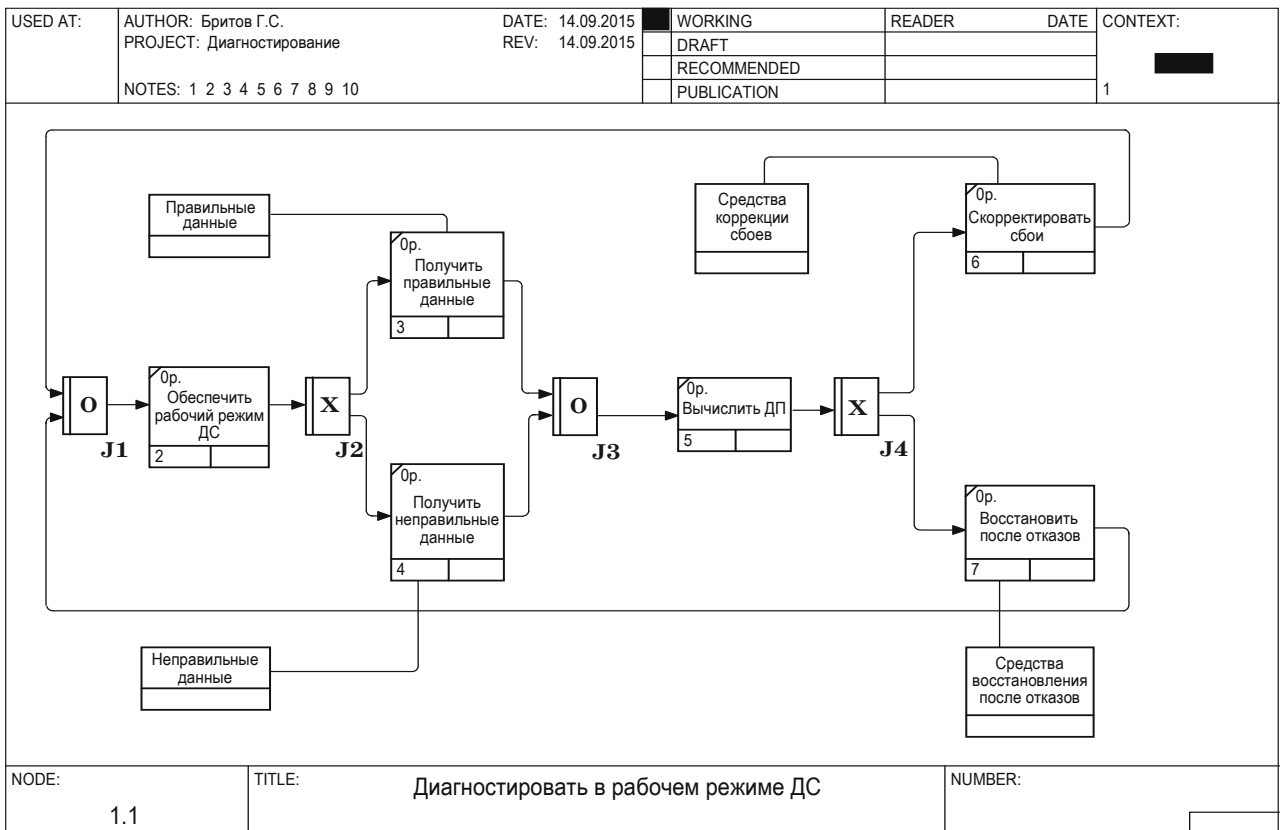
■ **Рис. 2.** PFDD-диаграмма второго уровня декомпозиции процесса тестового диагностирования ДС



■ **Рис. 3.** OSTN-диаграммы процесса тестового диагностирования ДС с тремя (а) и пятью (б) состояниями



■ **Рис. 4.** Контекстная PFDD-диаграмма процесса функционального диагностирования ДС



■ **Рис. 5.** PFDD-диаграмма второго уровня декомпозиции процесса функционального диагностирования ДС

Пять состояний на рис. 3, б:

- 1) C_1 — тестовое диагностирование исправной ДС;
- 2) C_2 — тестовое диагностирование неисправной ДС;
- 3) C_3 — обнаружение дефектов;
- 4) C_4 — локализация дефектов;
- 5) C_5 — восстановление системы.

Коэффициенты передачи между состояниями определяют интенсивность:

- a_1 — появления дефектов;
- a_2 — перехода к обнаружению дефектов;
- a_3 — перехода к исправлению дефектов;
- a_4 — решения об обнаружении дефектов;
- a_5 — решения об исправлении дефектов;
- a_6 — восстановления системы.

Процесс функционального диагностирования ДС, контекстная PFDD-диаграмма которого представлена на рис. 4, осуществляется в рабочем режиме ДС на основе получаемых данных о входных и выходных сигналах системы. После обнаружения отказов или сбоев в работе системы используются средства восстановления и коррекции.

На PFDD-диаграмме второго уровня декомпозиции процесса функционального диагностирования ДС (рис. 5) показано шесть единиц работы, или операций, которые обеспечивают непрерывный контроль за работой системы. X-разветвление J2

позволяет получить либо правильные данные от исправной системы, либо неправильные данные от неисправной системы. Вычисленный ДП дает возможность принять решение либо о появлении сбоев, либо о появлении отказов в ДС (X-разветвление J4). Неисправную систему следует откорректировать после сбоев или восстановить после отказов и вновь обратиться к диагностированию.

По PFDD-диаграмме, представленной на рис. 5, можно построить диаграмму состояний процесса диагностирования, содержащую четыре состояния. На рис. 6 показана OSTN-диаграмма процесса функционального диагностирования ДС.

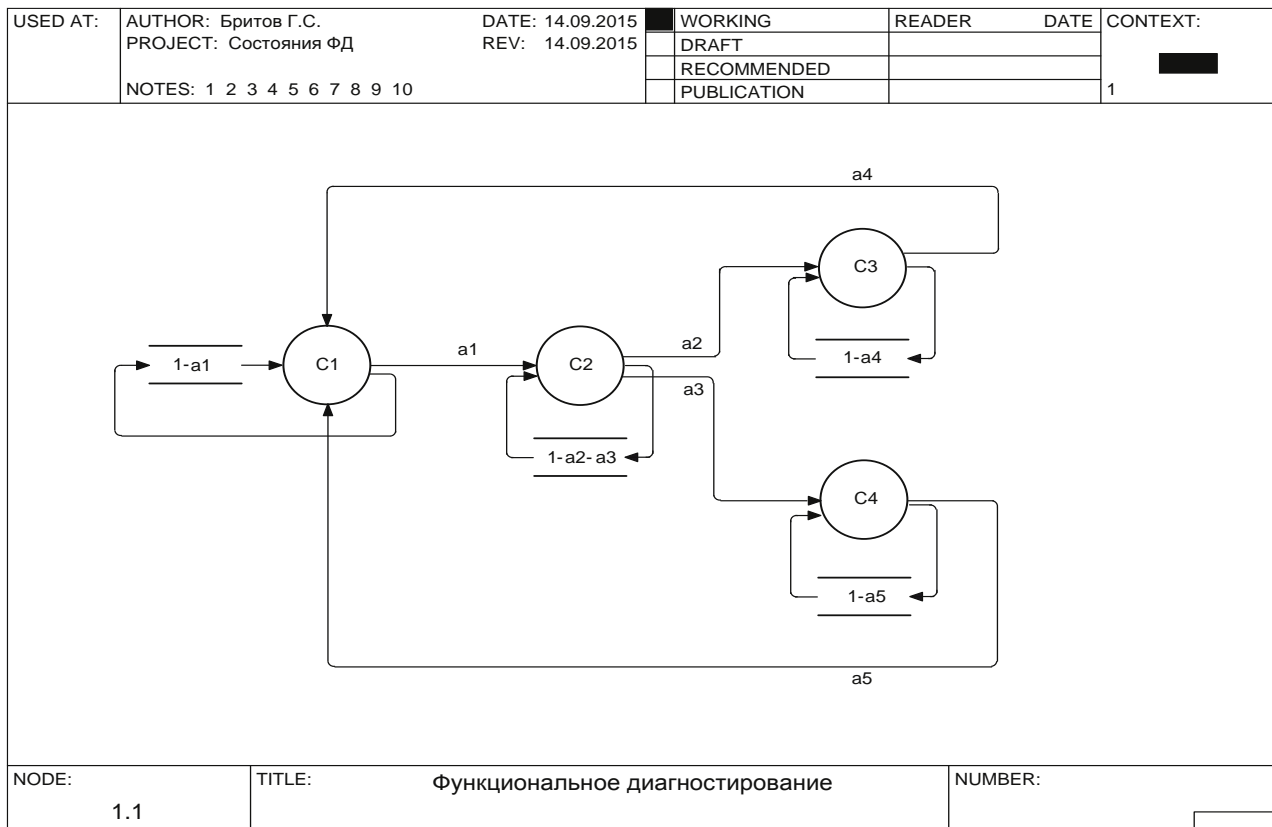
Имеется четыре состояния на рис. 6:

- 1) C_1 — поступление правильных данных;
- 2) C_2 — поступление неправильных данных;
- 3) C_3 — коррекция сбоев;
- 4) C_4 — восстановление после отказов.

Коэффициенты передачи между состояниями определяют интенсивность:

- a_1 — появления дефектов;
- a_2 — обнаружения сбоев;
- a_3 — обнаружения отказов;
- a_4 — коррекции сбоев;
- a_5 — восстановления после отказов.

Полученные диаграммы позволяют выполнить анализ процессов диагностирования, используя уравнения вероятностей построенных состояний.



■ Рис. 6. OSTN-диаграмма процесса функционального диагностирования ДС

Расчет вероятностей состояний процессов диагностирования

Для расчета вероятностей состояний процессов диагностирования, рассмотренных в предыдущем разделе, примем следующие допущения.

1. Переходы между состояниями в OSTN-диаграммах являются случайными событиями.

2. Вероятности этих событий являются переходными вероятностями и распределены по закону Пуассона.

3. Вероятность появления i -го события за время Δt есть $a_i \Delta t$.

4. Время $\Delta t = 1$.

5. Единица времени выбирается так, чтобы в течение времени исследования интенсивности можно было бы считать постоянными и меньшими 1.

Рекуррентные уравнения получающегося при принятых допущениях марковского процесса с тремя состояниями C_1, C_2, C_3 из OSTN-диаграммы, показанной на рис. 3, а, имеют вид

$$p_1(t+1) = (1 - a_1) \cdot p_1(t) + a_3 \cdot p_3(t), \quad p_1(0) = 1;$$

$$p_2(t+1) = (1 - a_2) \cdot p_2(t) + a_1 \cdot p_1(t), \quad p_2(0) = 0;$$

$$p_3(t+1) = (1 - a_3) \cdot p_3(t) + a_2 \cdot p_2(t), \quad p_3(0) = 0.$$

Матрица этих уравнений

$$A = \begin{bmatrix} 1 - a_1 & 0 & a_3 \\ a_1 & 1 - a_2 & 0 \\ 0 & a_2 & 1 - a_3 \end{bmatrix}$$

является стохастической матрицей, и ее спектральный радиус равен 1. Поэтому существует стационарный режим соответствующего марковского процесса. Расчет стационарных вероятностей состояний выполним, используя инструменты математического пакета MatLab:

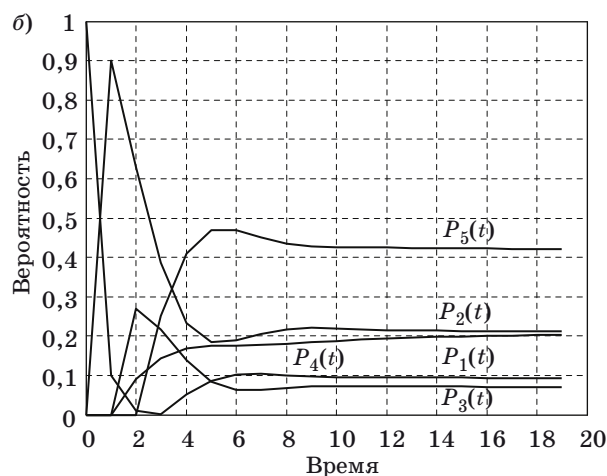
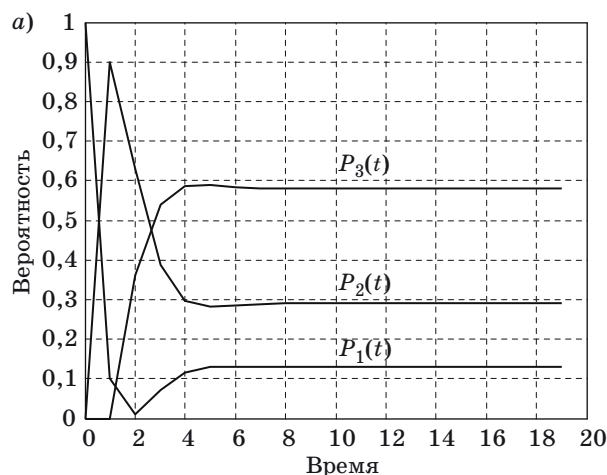
```
>> syms a1 a2 a3 A L V P
>> A=[1-a1 0 a3; a1 1-a2 0; 0 a2 1-a3]
A =
[ 1 - a1,      0,      a3]
[   a1, 1 - a2,      0]
[   0,   a2, 1 - a3]
>> [L,V]=eig(A);
>> V(1,1)=1
>> P=factor(L(:,1)/sum(L(:,1)))
P =
(a3*a2)/(a1*a2 + a1*a3 + a2*a3)
(a3*a1)/(a1*a2 + a1*a3 + a2*a3)
(a1*a2)/(a1*a2 + a1*a3 + a2*a3)
```

Полученные формулы позволяют достаточно быстро рассчитать стационарные вероятности P и принять решение о качестве процесса диагностирования. Желательно, чтобы состояние диагностирования исправной системы C_1 происходило чаще, а состояния неисправной системы

C_2 и ее восстановления C_3 — как можно реже. Следовательно, необходимо обеспечить такие интенсивности, чтобы стационарная вероятность P_1 была близка к 1, а стационарные вероятности P_2 и P_3 были, соответственно, малы. Тогда для оценки качества диагностирования можно использовать коэффициент готовности системы, который совпадает с вероятностью P_1 .

Если задать конкретные значения интенсивностей, то можно получить графики марковского процесса. Например, графики вероятностей трех состояний при $a_1 = 0,9, a_2 = 0,4, a_3 = 0,2$ показаны на рис. 7, а. Из него следует, что при такой большой интенсивности появления дефектов вероятность состояния диагностирования исправной ДС будет около 0,1, что говорит о том, что коэффициент готовности системы равен 0,1. Значит, получаем либо плохое качество процесса диагностирования, либо плохое качество ДС.

За плохое качество процесса диагностирования отвечает оператор. Он должен обеспечивать правильный процесс диагностирования. Плохое



■ Рис. 7. Вероятности трех (а) и пяти (б) состояний марковского процесса системы тестового диагностирования

качество диагностируемой ДС будет усложнять работу оператора.

Рекуррентные уравнения марковского процесса с пятью состояниями C_1, C_2, C_3, C_4, C_5 из OSTN-диаграммы, показанной на рис. 3, б, имеют следующий вид:

$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= (1-a_1) \cdot p_1(t) + a_6 \cdot p_5(t), \quad p_1(0) = 1; \\ p_2(t+1) &= (1-a_2-a_3) \cdot p_2(t) + a_1 \cdot p_1(t), \quad p_2(0) = 0; \\ p_3(t+1) &= (1-a_4) \cdot p_3(t) + a_2 \cdot p_2(t), \quad p_3(0) = 0; \\ p_4(t+1) &= (1-a_5) \cdot p_4(t) + a_3 \cdot p_2(t), \quad p_4(0) = 0; \\ p_5(t+1) &= (1-a_6) \cdot p_5(t) + a_4 \cdot p_3(t) + a_5 \cdot p_4(t), \quad p_5(0) = 0. \end{aligned}$$

Матрица этих уравнений

$$A = \begin{bmatrix} 1-a_1 & 0 & 0 & 0 & a_6 \\ a_1 & 1-a_2-a_3 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 1-a_4 & 0 & 0 \\ 0 & a_3 & 0 & 1-a_5 & 0 \\ 0 & 0 & a_4 & a_5 & 1-a_6 \end{bmatrix}$$

Вновь стохастическая, поэтому можно выполнить расчет стационарных вероятностей:

```
>> syms a6
>> A=[1-a1 0 0 0 a6; a1 1-a2-a3 0 0 0; 0 a2 1-a4 0 0; 0 a3 0 1-a5 0; 0 a4 a5 1-a6]
A =
[ 1 - a1,          0,          0,          0,          a6]
[    a1, 1 - a3 - a2,          0,          0,          0]
[    0,          a2, 1 - a4,          0,          0]
[    0,          a3,          0, 1 - a5,          0]
[    0,          0,          a4,          a5, 1 - a6]
>> [L,V]=eig(A);
>> V(1,1)
ans =
1
>> P=factor(L(:,1)/sum(L(:,1)))
P =
(a6*a4*a5*(a2 + a3))/(a1*a2*a4*a5 + a1*a3*a4*a5 +
a1*a2*a5*a6 + a1*a3*a4*a6 + a1*a4*a5*a6 +
a2*a4*a5*a6 + a3*a4*a5*a6)
(a6*a1*a4*a5)/(a1*a2*a4*a5 + a1*a3*a4*a5 +
a1*a2*a5*a6 + a1*a3*a4*a6 + a1*a4*a5*a6 +
a2*a4*a5*a6 + a3*a4*a5*a6)
(a2*a6*a1*a5)/(a1*a2*a4*a5 + a1*a3*a4*a5 +
a1*a2*a5*a6 + a1*a3*a4*a6 + a1*a4*a5*a6 +
a2*a4*a5*a6 + a3*a4*a5*a6)
(a3*a6*a1*a4)/(a1*a2*a4*a5 + a1*a3*a4*a5 +
a1*a2*a5*a6 + a1*a3*a4*a6 + a1*a4*a5*a6 +
a2*a4*a5*a6 + a3*a4*a5*a6)
(a1*a4*a5*(a2 + a3))/(a1*a2*a4*a5 + a1*a3*a4*a5 +
a1*a2*a5*a6 + a1*a3*a4*a6 + a1*a4*a5*a6 +
a2*a4*a5*a6 + a3*a4*a5*a6)
>>
```

Полученные формулы существенно сложнее предыдущих. Поэтому оценку стационарных вероятностей удобнее выполнять по графикам марковского процесса, построенным при конкретных значениях интенсивностей.

Графики вероятностей пяти состояний при значениях интенсивностей $a_1 = 0,9, a_2 = 0,3, a_3 = 0,1, a_4 = 0,9, a_5 = 0,1, a_6 = 0,2$ показаны на рис. 7, б. Вновь, как и раньше, большая интенсивность появления дефектов приводит к малой стационарной вероятности состояния C_1 . Значит, коэффициент готовности системы равен 0,1. Соответственно, получаем плохое качество системы.

Рекуррентные уравнения марковского процесса с четырьмя состояниями C_1, C_2, C_3, C_4 из OSTN-диаграммы, показанной на рис. 6, имеют вид

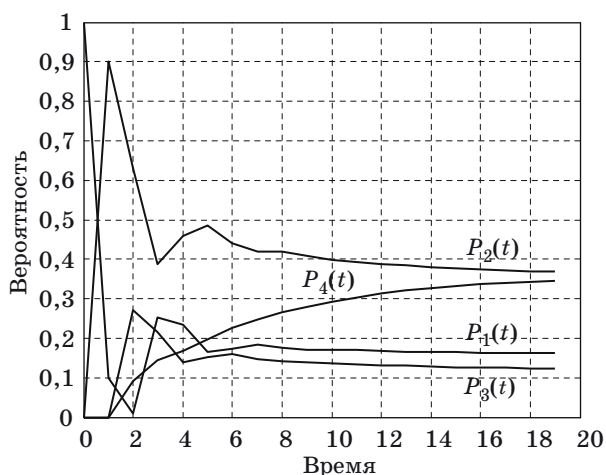
$$\begin{aligned} p_1(t+1) &= (1-a_1) \cdot p_1(t) + a_4 \cdot p_3(t) + a_5 \cdot p_4(t), \quad p_1(0) = 1; \\ p_2(t+1) &= (1-a_2-a_3) \cdot p_2(t) + a_1 \cdot p_1(t), \quad p_2(0) = 0; \\ p_3(t+1) &= (1-a_4) \cdot p_3(t) + a_2 \cdot p_2(t), \quad p_3(0) = 0; \\ p_4(t+1) &= (1-a_5) \cdot p_4(t) + a_3 \cdot p_2(t), \quad p_4(0) = 0. \end{aligned}$$

Матрица этих уравнений

$$A = \begin{bmatrix} 1-a_1 & 0 & a_4 & a_5 \\ a_1 & 1-a_2-a_3 & 0 & 0 \\ 0 & a_2 & 1-a_4 & 0 \\ 0 & a_3 & 0 & 1-a_5 \end{bmatrix}$$

Для стохастической матрицы выполним расчет стационарных вероятностей:

```
>> syms a4 a5
>> A=[1-a1 0 a4 a5; a1 1-a2-a3 0 0; 0 a2 1-a4 0; 0 a3 0 1-a5]
A =
[ 1 - a1,          0,          a4,          a5]
[    a1, 1 - a3 - a2,          0,          0]
[    0,          a2, 1 - a4,          0]
[    0,          a3,          0, 1 - a5]
>> [L,V]=eig(A);
>> V(1,1)=1
>> P=factor(L(:,1)/sum(L(:,1)))
P =
(a5*(a2 + a3)*a4)/(a1*a2*a5 + a1*a3*a4 + a1*a4*a5 +
a2*a4*a5 + a3*a4*a5)
(a5*a1*a4)/(a1*a2*a5 + a1*a3*a4 + a1*a4*a5 +
a2*a4*a5 + a3*a4*a5)
(a2*a5*a1)/(a1*a2*a5 + a1*a3*a4 + a1*a4*a5 +
a2*a4*a5 + a3*a4*a5)
(a1*a3*a4)/(a1*a2*a5 + a1*a3*a4 + a1*a4*a5 +
a2*a4*a5 + a3*a4*a5)
Графики вероятностей четырех состояний при интенсивностях  $a_1 = 0,9, a_2 = 0,3, a_3 = 0,1, a_4 = 0,9, a_5 = 0,1$  представлены на рис. 8.
```



■ Рис. 8. Вероятности четырех состояний марковского процесса системы функционального диагностирования

Относительно стационарной вероятности состояния C_1 можно сделать вывод, аналогичный предыдущим выводам для процессов с тремя и пятью состояниями.

Приведенные графики вероятностей состояний процессов диагностирования динамической системы и формулы стационарных режимов являются результатами анализа организации те-

стового и функционального диагностирования. Этот анализ позволяет оценить качество предлагаемой организации и определяет проектирование соответствующих систем технического диагностирования.

Заключение

Изложен подход к анализу организации тестового и функционального контроля ДС, основанный на использовании PFDD- и OSTN-диаграмм технологической модели системы. Показано, что для рассматриваемых диаграмм ДС могут быть построены рекуррентные уравнения марковских процессов с различным числом состояний. Предлагаемая процедура вероятностного анализа тестового и функционального диагностирования приводит к временным графикам марковских процессов и расчетным формулам, позволяющим получить стационарные вероятности состояний исследуемых процессов в организации диагностирования ДС. Результаты компьютерных расчетов показывают эффективность такого анализа и возможность использования его при проектировании систем технического диагностирования.

Работа поддержана грантами РФФИ 14-08-00327 и 14-08-00399.

Литература

1. Бритов Г. С. Метод тестового диагностирования линейных динамических систем // Информационно-управляющие системы. 2015. № 1. С. 77–85. doi:10.15217/issn1684-8853.2015.1.77
2. Бритов Г. С. Верификация, валидация и тестирование компьютерных моделей линейных динамических систем // Информационно-управляющие системы. 2013. № 2. С. 75–83.
3. Воронин В. В., Шалобанов С. С. Диагностирование непрерывных динамических систем методом пробных отклонений параметров модели // Информатика и системы управления. 2010. № 1(23). С. 121–127.
4. Бритов Г. С., Мироновский Л. А. Расчет тестового режима линейных систем управления // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2006. № 11. С. 44–49.
5. Мироновский Л. А. Тестовый контроль линейных систем управления // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2005. № 5. С. 3–8.
6. Мироновский Л. А. Диагностирование линейных систем методом комплементарного сигнала // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. 2002. № 5. С. 52–57.
7. Мироновский Л. А. Диагностирование систем управления методом аннулирующего сигнала // Информационно-управляющие системы на железнодорожном транспорте. 2001. № 5. С. 3–7.
8. Егоров А. Н., Мироновский Л. А. Использование нулей динамических систем в задачах технической диагностики // Электронное моделирование. 1996. № 6. С. 34–42.
9. Архангельский О. И., Мироновский Л. А. Диагностирование динамических систем с помощью операторных норм // Электронное моделирование. 1995. № 5. С. 40–49.
10. Мироновский Л. А. Тестовый контроль передаточных функций стационарных объектов // Изв. вузов. Приборостроение. 1984. № 10. С. 22–26.
11. Бритов Г. С., Мироновский Л. А. Автоматизированное проектирование устройств функционального диагностирования // Информационно-управляющие системы. 2010. № 2. С. 55–61.
12. Shumsky A. Y., Zhirabok A. N. Nonlinear Diagnostic Filter Design: Algebraic and Geometric Points of View // Int. J. Appl. Math. Comput. Sci. 2006. Vol. 16. N 1. P. 115–127.
13. Мироновский Л. А. Функциональное диагностирование динамических систем. — М.: Изд-во МГУ, 1998. — 340 с.
14. Жирабок А. Н. Функциональное диагностирование на основе соотношений паритета // Автоматика и Телемеханика. 1998. № 2. С. 133–143.

15. Бритов Г. С. Метод формального описания PFDD-диаграмм IDEF3-технологии // Информационно-управляющие системы. 2014. № 2. С. 25–32.

16. Бритов Г. С. Методы построения OSTN-диаграмм IDEF3-технологии // Системный анализ и логистика. 2014. Вып. 11. С. 3–12.

17. Бритов Г. С. IDEF3-модели систем технического диагностирования // Научная сессия ГУАП: сб. докл. в 3 ч. Ч. 1: Технические науки. СПб.: ГУАП, 2014. С. 8–16.

UDC 621.38

doi:10.15217/issn1684-8853.2016.1.93

Analyzing the Process of Dynamic System Diagnostics by OSTN Diagrams of IDEF3 Technology

Britov G. S.^a, PhD, Tech., Associate Professor, britovgs@gmail.com

^aSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaja St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Introduction: Most available works on dynamic system diagnostics simply discuss the diagnostic methods like parametric identification, use of state observers, analytical redundancy, etc. However, they do not analyze the technological process of the diagnostics. **Purpose:** The goal is to analyze the process of dynamic system diagnostics, obtaining the probabilities of the process states on the base of OSTN diagrams of IDEF3 technology. We also should find a way to formalize the analysis of IDEF3 models by OSTN diagrams. According to this analysis, the probabilities of the states of the diagnostics process should be calculated. **Methods:** Using the theory of Markov processes, we have built recurrence equations for probabilities of states encountered during the diagnostics of dynamic systems. **Results:** A method is developed to build a stochastic matrix of recurrence equations with known initial conditions. Using PFDD diagrams developed for dynamic systems of diagnostics, OSTN diagrams of IDEF3 technology are built. These diagrams allow you to fully describe the technological process of the diagnostics and to define its states. **Conclusion:** The obtained results help to evaluate the quality of the technological process of diagnosing dynamic systems. In the article, test and functional diagnostic systems have been evaluated.

Keywords — IDEF3 Technology Diagrams, System States, Transition Intensities, Stochastic Matrix, Stationary Probabilities of States.

References

1. Britov G. S. A Method for Testing Linear Dynamic Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2015, no. 1, pp. 77–85 (In Russian). doi:10.15217/issn1684-8853.2015.1.77
2. Britov G. S. Verification, Validation and Testing of Computer Models of Linear Dynamic Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2013, no. 2, pp. 75–83 (In Russian).
3. Voronin V. V., Shalobanov S. S. Diagnosing Continuous Dynamic Systems by the Method of Test Deviations of Parameters of the Model. *Informatika i sistemy upravleniia*, 2010, no. 1(23), pp. 121–127 (In Russian).
4. Britov G. S., Mironovskii L. A. Estimation Testing Procedure of Linear Control Systems. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 2006, no. 11, pp. 44–49 (In Russian).
5. Mironovskii L. A. Test Checking of Linear Control Systems. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy na zheleznodorozhnom transporte*, 2005, no. 5, pp. 3–8 (In Russian).
6. Mironovskii L. A. Diagnosis of Linear Systems by Complementary Signal Method. *Pribory i sistemy. Upravlenie, kontrol', diagnostika*, 2002, no. 5, pp. 52–57 (In Russian).
7. Mironovskii L. A. Diagnosis Control Systems by Invalidating Signal Method. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy na zheleznodorozhnom transporte*, 2001, no. 5, pp. 3–7 (In Russian).
8. Egorov A. N., Mironovskii L. A. Using Nulls of Dynamic Systems in Technical Diagnostic Tasks. *Elektronnoe modelirovanie*, 1996, no. 6, pp. 34–42 (In Russian).
9. Arkhangel'skii O. I., Mironovskii L. A. Diagnosis Dynamic Systems by Operator Norms. *Elektronnoe modelirovanie*, 1995, no. 5, pp. 40–49 (In Russian).
10. Mironovskii L. A. Test Checking of Transfer Functions of Stationary Objects. *Izvestiia vuzov. Priborostroenie*, 1989, no. 10, pp. 22–26 (In Russian).
11. Britov G. S., Mironovsky L. A. Automated Design of Functional Diagnosing Devices. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2010, no. 2, pp. 55–61 (In Russian).
12. Shumsky A. Y., Zhirabok A. N. Nonlinear Diagnostic Filter Design: Algebraic and Geometric Points of View. *Int. J. Appl. Math. Comput. Sci.*, 2006, vol. 16, no. 1, pp. 115–127.
13. Mironovskii L. A. *Funkcional'noe diagnostirovanie dinamicheskikh sistem* [Functional Diagnostics of Linear Dynamic Systems]. Moscow, MGU Publ., 1998. 256 p. (In Russian).
14. Zhirabok A. N. Functional Diagnosis on the Basis of the Ratios of Parity. *Avtomatika i Telemekhanika*, 1998, no. 2, pp. 133–143 (In Russian).
15. Britov G. S. A Method for Formal Definition of PFDD-Diagrams of IDEF3-Technology. *Informatsionno-upravliaiushchie sistemy* [Information and Control Systems], 2014, no. 2, pp. 25–32 (In Russian).
16. Britov G. S. Methods of Construction of OSTN-diagrams of IDEF3-technology. *Sistemnyi analiz i logistika*, 2014, no. 11, pp. 3–12 (In Russian).
17. Britov G. S. IDEF3-model of the Systems of Technical Diagnostics. *Nauchnaia sessiia GUAP. Chast' 1. Tekhnicheskie nauki* [Scientific Session SVAE. Vol. 1. Technical Science], 2014, pp. 8–16 (In Russian).