



11. ГОСТ 51901.14-2007 Менеджмент риска. Структурная схема надежности и булевы методы. Введ. 2008-09-01. – М.: Стандартинформ, 2008.
12. Давыдов О.А. Анализ множества возможных дефектов локальной вычислительной сети // Актуальные вопросы современной науки. Сб. науч. трудов – Новосибирск: Изд-во НГТУ. – 2012. – 24. – С.170-181.
13. Воронин В.В., Давыдов О.А. Система мониторинга технического состояния локальной вычислительной сети // Ученые заметки ТОГУ. – 2013. – 4(4). – С. 805-810.
14. Воронин В.В., Давыдов О.А. Встроенные средства систем диагностирования локальных вычислительных сетей // Вестник ТОГУ. – 2015. – № 2(37). – С. 89-101.
15. ГОСТ Р 51901.12-2007. Менеджмент риска. Метод анализа видов и последствий отказов. Введ. 2008-09-01. – М.: Стандартинформ, 2008.
16. ГОСТ 27.002-89. Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. Введ. 1990-07-01. – М.: Изд-во стандартов, 2002.
17. <https://www.backblaze.com/blog/hard-drive-reliability-q3-2015/> (дата обращения 10.03.2016).

*Статья представлена к публикации членом редколлегии Чье Ен Уном.*

*E-mail:*

*Воронин Владимир Викторович – voronin@ais.khstu.ru;*

*Давыдов Олег Андреевич – olegmen2005@yandex.ru.*

УДК 681.518.5

© 2016 г. **С.В. Шалобанов**, д-р техн. наук,  
**С.С. Шалобанов**, канд. техн. наук  
(Тихоокеанский государственный университет, Хабаровск)

## ДИАГНОСТИРОВАНИЕ НЕПРЕРЫВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СМЕНЫ ПОЗИЦИИ ВХОДНОГО СИГНАЛА

Рассматривается алгоритм поиска дефектов в непрерывной динамической системе, с глубиной до динамического блока, на основе смены позиции входного сигнала, с использованием интегральных оценок отклонений выходных сигналов модели и объекта.

**Ключевые слова:** смена позиции входного сигнала, диагностическая модель, интегральные оценки отклонений выходных сигналов, параметр интегрирования, нормированный диагностический признак, различимость дефектов.

### Введение

В работе рассмотрен алгоритм поиска дефектов с глубиной до динамического блока, позволяющий снизить размерность решаемой задачи и полнее учесть специфику проявления реального дефекта: изменение значений параметров или вида передаточной функции одного блока. Такой подход упрощает реализацию

алгоритма, связанную с уменьшением числа контрольных точек, что позволяет сократить аппаратные затраты при диагностировании сложных объектов. Применение известных алгоритмов подобного рода осложняется необходимостью определения полной модели структурной чувствительности [1, 2], либо использованием моделей с пробными отклонениями параметров [3, 4], либо необходимостью анализа знаков передач сигналов [5, 6]. Ниже рассматривается метод поиска дефектов блоков передаточной функции, позволяющий применять упрощенную модель структурной чувствительности на основе смены позиции входного сигнала [7 – 9].

### Постановка задачи

В качестве объекта диагностирования рассматривается непрерывный динамический объект, состоящий из  $m$  динамических блоков.

Примем гипотезу о возможности появления в объекте только одиночных дефектов блоков. Под одиночными дефектами блоков будем понимать такое изменение технического состояния объекта, которое приводит к изменению передаточной функции одного блока. Синтезируем алгоритм поиска одиночных дефектов блоков с использованием интегральных оценок сигналов объекта диагностирования, номинальной модели объекта и модели объекта при наличии смены позиции входного сигнала.

### Алгоритм поиска дефектов

Алгоритм поиска дефектов с глубиной до динамического блока основан на определении интегральных оценок отклонений сигналов номинальной модели от сигналов объекта диагностирования. Для получения интегральных оценок отклонений сигналов динамических элементов будем использовать интегральные преобразования временных функций в области вещественных значений для параметра интегрирования, который лежит в интервале  $0 \leq \alpha \leq \infty$ . Если использовать интегральные оценки отклонений сигналов [3 – 6], то формула позволяет перейти от обработки временных функций  $\Delta F_j(t) = F_{mj}(t) - F_{oj}(t)$ , где  $j$  – номер контрольной точки;  $F_{mj}(t)$  и  $F_{oj}(t)$  – сигналы модели и объекта соответственно в  $j$ -й контрольной точке, к анализу численных значений функционалов:

$$\Delta F_j(\alpha) = L\{\Delta F_j(t)\} = \int_0^{T_k} \Delta F_j(t) e^{-\alpha t} dt, \quad j = \overline{1, k}, \quad (1)$$

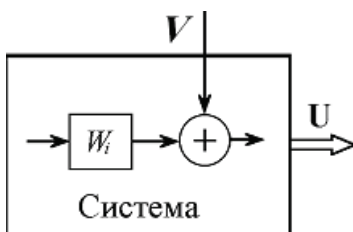


Рис. 1. Модель со сменой позиции входного сигнала.

где  $T_k$  – время контроля объекта диагностирования;  $k$  – число контрольных точек;  $\alpha$  – параметр интегрального преобразования.

Чувствительность объекта для  $i$ -го блока может быть получена путем перемещения входного сигнала на выход передаточной функции  $i$ -го блока модели (рис. 1). Такую модель назовем моделью со сменой позиции входного сигнала объекта диагностирования.

В процессе диагностирования вычисляются интегральные оценки сигналов моделей со сменой позиции входного сигнала для различных блоков [7 – 9]:

$$Y_{ji}(\alpha) = L\{Y_{ji}(t)\} = \int_0^{T_k} Y_{ji}(t)e^{-\alpha t} dt, j = \overline{1, k}, i = \overline{1, m}, \quad (2)$$

где  $i$  – номер рассматриваемого блока;  $Y_{ji}(t)$  – сигнал модели со сменой позиции входного сигнала  $i$ -го блока для  $j$ -й контрольной точки;  $m$  – число блоков.

Выражения (1) и (2) позволяют вычислить элементы векторов  $\Delta F$  и  $Y$ , размерность которых определяется количеством контрольных точек. Диагностический признак наличия структурного дефекта определяется формулой:

$$J_i = 1 - \frac{\left[ \sum_{j=1}^k Y_{ji}(\alpha) \cdot \Delta F_j(\alpha) \right]^2}{\sum_{j=1}^k Y_{ji}^2(\alpha) \cdot \sum_{j=1}^k \Delta F_j^2(\alpha)}, i = \overline{1, m}. \quad (3)$$

Для нормированных векторов  $\Delta \hat{F}$  и  $\hat{Y}$  формула (3) запишется в виде:

$$J_i = 1 - \left[ \sum_{j=1}^k \hat{Y}_{ji}(\alpha) \cdot \Delta \hat{F}_j(\alpha) \right]^2, i = \overline{1, m}, \quad (4)$$

$$\Delta \hat{F}_j(\alpha) = \frac{\Delta F_j(\alpha)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k \Delta F_r^2(\alpha)}}, j = \overline{1, k}, \quad (5)$$

$$Y_{ji}(\alpha) = \frac{Y_{ji}(\alpha)}{\sqrt{\sum_{r=1}^k Y_{ri}^2(\alpha)}}, j = \overline{1, k}, i = \overline{1, m}. \quad (6)$$

Диагностические признаки (3) или (4) могут принимать значения от 0 до 1. Минимальное значение признака указывает на наличие дефекта в блоке.

Поиск неисправного блока согласно предлагаемому алгоритму сводится к выполнению следующих операций.

В качестве динамической системы рассматривают систему, состоящую из произвольно соединенных динамических блоков, с количеством рассматриваемых блоков  $m$ .

Предварительно определяют время контроля  $T_k \geq T_{пп}$ , где  $T_{пп}$  – время переходного процесса системы, который оценивают для номинальных значений параметров динамической системы.

Определяют параметр интегрального преобразования сигналов из соотношения  $\alpha = 5/T_k$ .

Фиксируют число контрольных точек на выходах блоков  $k$ .

Предварительно находят интегральные оценки выходных сигналов модели с измененной позицией входного сигнала  $Y_{ji}(\alpha)$  для каждой из  $k$  контрольных точек, полученные в результате перемещения позиции входного сигнала на позицию после каждого из  $m$  блоков.

Находят нормированные значения интегральных оценок выходных сигналов модели с измененной позицией входного сигнала  $\hat{Y}_{ji}(\alpha)$ , полученные в результате перемещения позиции входного сигнала на позицию после соответствующих блоков  $m$ .

Определяют отклонения интегральных оценок выходных сигналов контролируемой системы для  $k$  контрольных точек от номинальных значений  $\Delta F_j(\alpha)$ .

Вычисляют нормированные значения отклонений интегральных оценок выходных сигналов контролируемой системы от номинальных  $\Delta \hat{F}_j(\alpha)$ .

Вычисляют диагностические признаки наличия неисправного блока по формуле (3). По минимуму значения диагностического признака определяют дефектный блок.

Функциональная схема устройства реализующего вычисление диагностического признака наличия дефекта с использованием смены позиции входного сигнала приведена на рис. 2.

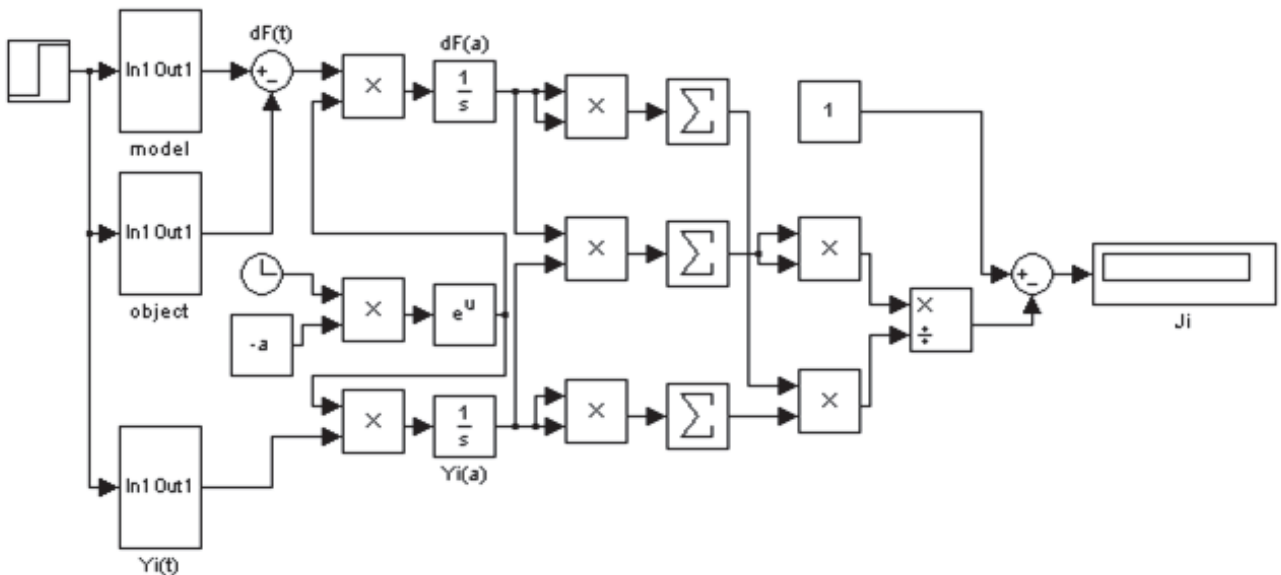


Рис. 2. Функциональная схема устройства поиска дефектов методом смены позиции входного сигнала.

### Пример применения метода

Рассмотрим реализацию предлагаемого алгоритма для диагностирования объекта, структурная схема которого представлена на рис. 3.

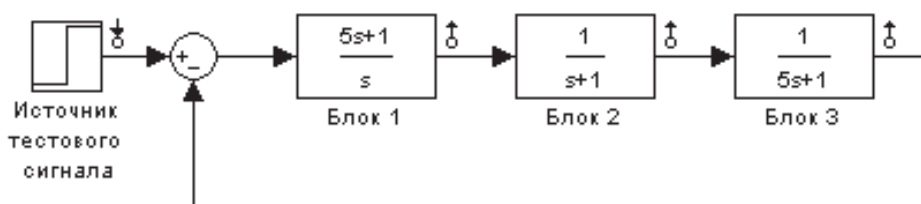


Рис. 3. Структурная схема объекта диагностирования.

Передаточные функции блоков:

$$W_1 = \frac{k_1(T_1 p + 1)}{p},$$

$$W_2 = \frac{k_2}{T_2 p + 1},$$

$$W_3 = \frac{k_3}{T_3 p + 1},$$

где номинальные значения параметров:  $T_1 = 5$  с;  $K_1 = 1$ ;  $K_2 = 1$ ;  $T_2 = 1$  с;  $K_3 = 1$ ;  $T_3 = 5$  с.

При поиске одиночного дефекта блока в виде отклонения постоянной времени  $T_1 = 4$  с (дефект №1) путем подачи ступенчатого тестового входного сигнала единичной амплитуды и интегрального преобразования сигналов для параметра  $\alpha = 0.5$  и  $T_k = 10$  с получены значения диагностических признаков при использовании трех контрольных точек, расположенных на выходах блоков:  $J_1 = 0$ ;  $J_2 = 0.78$ ;  $J_3 = 0.074$ . Различимость дефекта:  $\Delta J = J_3 - J_1 = 0.074$ . Минимальное значение признака  $J_1$  однозначно указывает на дефект в первом блоке.

Моделирование процессов поиска дефектов во втором и третьем блоках для данного объекта диагностирования при тех же условиях диагностирования приводит к следующим результатам.

При наличии дефекта в блоке №2 (в виде уменьшения параметра  $T_2$  на 20%, дефект №2):  $J_1 = 0.78$ ;  $J_2 = 0$ ;  $J_3 = 0.74$ . Различимость дефекта:  $\Delta J = J_3 - J_2 = 0.74$ .

При наличии дефекта в блоке №3 (в виде уменьшения параметра  $T_3$  на 20%, дефект №3)  $J_1 = 0.074$ ;  $J_2 = 0.74$ ;  $J_3 = 0$ . Различимость дефекта:  $\Delta J = J_1 - J_3 = 0.074$ .

Приведем диагностические признаки наличия одиночного дефекта блока в виде отклонения постоянной времени  $T_1 = 4$  с (дефект №1) при тех же диагностических параметрах, полученные с использованием алгоритма на основе пробных отклонений параметров модели [3, 4]:  $J_1 = 0$ ;  $J_2 = 0.78$ ;  $J_3 = 0.074$ . Различимость дефекта:  $\Delta J = J_3 - J_1 = 0.074$ .

Для сравнения, приведем диагностические признаки, полученные с использованием алгоритма на основе анализа знаков передач сигналов [5, 6]:  $J_1 = 0.2237$ ;  $J_2 = 0.9954$ ;  $J_3 = 0.5093$ . Различимость дефекта:  $\Delta J = J_3 - J_1 = 0.2856$ .

При наличии дефекта в блоке №2 (в виде уменьшения параметра  $T_2$  на 20%, дефект №2):  $J_1 = 0.9666$ ;  $J_2 = 0.2918$ ;  $J_3 = 0.8916$ . Различимость дефекта:  $\Delta J = J_3 - J_2 = 0.5998$ .

При наличии дефекта в блоке №3 (в виде уменьшения параметра  $T_3$  на 20%, дефект №3):  $J_1 = 0.4718$ ;  $J_2 = 0.9483$ ;  $J_3 = 0.2549$ . Различимость дефекта:  $\Delta J = J_1 - J_3 = 0.2169$ .

Минимальное значение диагностического признака во всех случаях правильно указывает на дефектный блок.

Моделирование процессов поиска дефектов производилось в среде Matlab. Приведенные результаты показывают, что фактическая различимость нахождения дефектов алгоритма на основе смены позиции входного сигнала не хуже, чем

другими методами, – следовательно, не хуже будет и помехоустойчивость данного алгоритма.

### Заключение

Предлагаемый алгоритм позволяет избежать применения полной модели чувствительности, которая предполагает использование двух моделей, соединенных последовательно для каждого дефекта. Рассмотренный алгоритм позволяет осуществлять диагностирование с использованием только одной модели и избежать недостатков метода пробных отклонений параметров модели, заключающихся в задании величин относительных отклонений параметров передаточных функций.

Преимуществом рассмотренного подхода является переход от анализа временных функций к анализу их интегральных оценок, а также уменьшение вычислительных затрат без снижения различимости дефектов, а значит, и без падения помехоустойчивости диагностирования.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Розенвассер Е.Н., Юсупов Р.М. Чувствительность систем управления. – М.: Наука, 1981.
2. Yusupov R., Rozenwasser E. Sensitivity of Automatic Control Systems, CRS Press, Roca Raton. – London, New York, Washington, DC, 1999.
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. Пат. 2435189 РФ. Способ поиска неисправного блока в динамической системе / С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2011. – №33.
5. Шалобанов С.В., Шалобанов С.С. Диагностирование непрерывных динамических систем методом топологических связей // Вестник Тихоокеанского гос. ун-та. – 2011. – № 4(23). – С.75-82.
6. Пат. 2439647 РФ. Способ поиска неисправного блока в непрерывной динамической системе / С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2012. – №1.
7. Пат. 2528135 РФ. Способ поиска неисправного блока в непрерывной динамической системе на основе смены позиции входного сигнала / С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2014. – №25.
8. Пат. 2562428 РФ. Способ поиска неисправного блока в непрерывной динамической системе на основе смены позиции входного сигнала / С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2015. – №25.
9. Пат. 2562429 РФ. Способ поиска неисправного блока в непрерывной динамической системе на основе смены позиции входного сигнала С.В. Шалобанов, С.С. Шалобанов // Официальный бюл. «Изобретения. Полезные модели». – 2015. – №25.

*E-mail:*

*Шалобанов Сергей Викторович – shalobanov@mail.ru;*

*Шалобанов Сергей Сергеевич – shalobanov\_ne@mail.ru.*