

УДК 528.06

DOI: 10.30987/article_5b71326ccc4726.41056382

А.А. Моисеев, к.т.н.,
(ГосНИИ химмотологии, 121467, Россия, г. Москва, ул. Молодогвардейская, 10)
E-mail: slow.coach@yandex.ru

Статистическая диагностика измерений

Рассмотрен алгоритм статистической диагностики, используемый для детектирования дефектов измерений, критических для САУ технологического оборудования и энергоустановок. К их числу относятся шумовая и импульсная помеха, а также сдвиг, дрейф и потеря чувствительности измерительного канала. Предварительный синтез алгоритма осуществлялся в составе автономного комплекса, включающего симулятор измерительных дефектов, а их окончательная настройка осуществляется по результатам полунатурных испытаний. Последние предусматривают применение диагностических алгоритмов к обработке записей натурной информации.

Ключевые слова: технологическое оборудование; измерительный канал; дефекты измерений; статистическая диагностика; шумовая помеха; импульсная помеха; каналный сдвиг; каналный дрейф; каналная нечувствительность.

A.A. Moiseev, Can. Eng.
(State RI of Chemistry, 10, Molodogvardeiskaya Str., Russia, 121467)

Statistical diagnostics of measurements

The algorithm of statistical diagnostics used for the detection of measurement faults critical for ACS of manufacturing equipment and power units has been considered. Noise interference and pulse jamming and also a shift, drift and sensitivity loss of a measuring channel belong to them. A preliminary synthesis of an algorithm was carried out in the structure of a self-contained complex having a simulator of measurement faults, and their final adjustment is carried out according to the results of semi-natural tests. The latter provides for the application of diagnostic algorithms to processing records of natural information.

Keywords: manufacturing equipment; measuring channel; measurement faults; statistical diagnostics; noise interference; pulse jamming; channel shift; channel insensitivity.

В практике управления технологическими процессами распространенным является прием, когда важные для управления параметры измеряются дублированными или троированными датчиками – каналами измерений. В этой ситуации статистическая диагностика измерений решает задачи диагностирования внутриканальных и межканальных дефектов измерений и входит в состав комплекса обработки измерений в качестве его нижнего звена. Указанное диагностирование является модельно-ориентированным и базируется на симуляции ошибок измерений в рамках соответствующего имитатора [1].

Схема диагностического комплекса отобра-

жена на рис. 1. Наряду с модулем диагностики измерений (Diagnostics) он включает модуль адаптивной настройки (training), детектор переходного процесса (transient detector) и модуль коррекции измерений (accommodation) на входе системы автоматического управления (САУ) энергоустановки.

В дальнейшем сосредоточимся на рассмотрении алгоритмов статистической диагностики, входящих в состав модуля Diagnostics. К ним относятся:

- алгоритм детектирования зашкаливания (Range detector);
- алгоритм детектирования импульсной помехи (Spike detector);

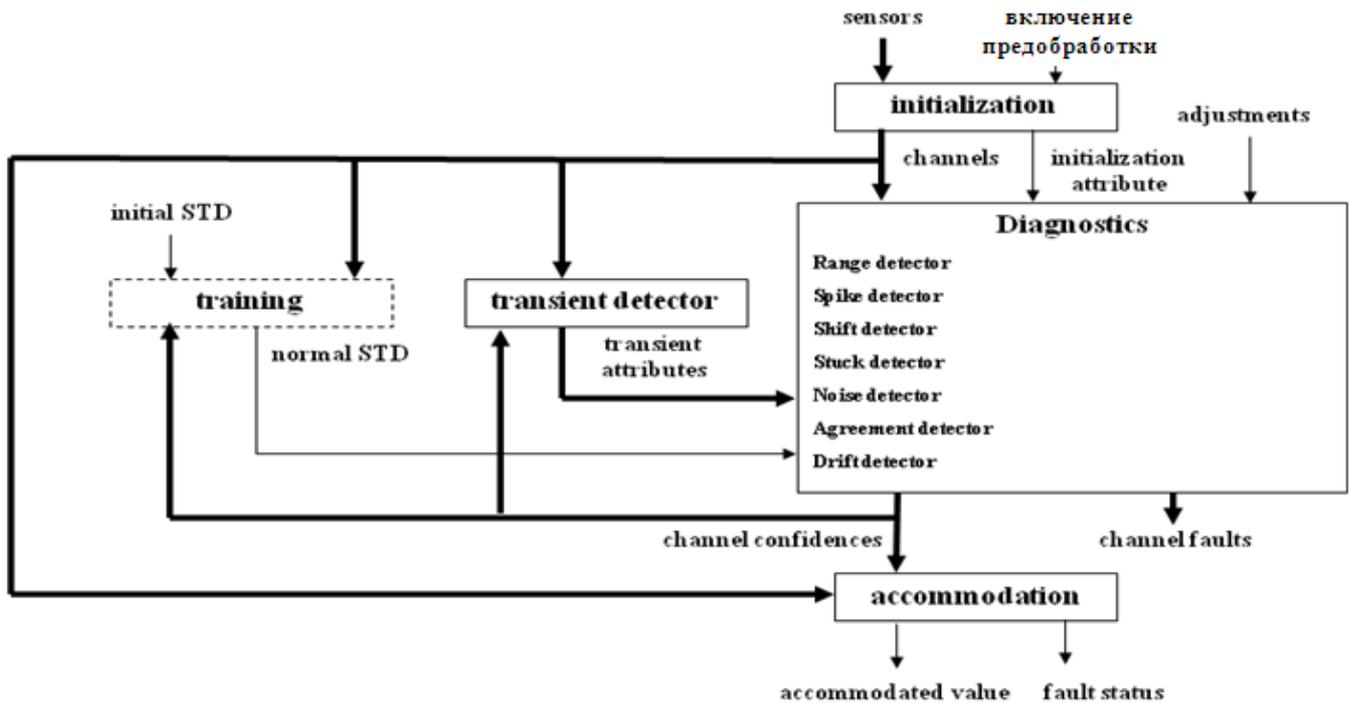


Рис. 1. Структура комплекса преобработки измерений

- алгоритм детектирования внутриканального сдвига (Shift detector);
- алгоритм детектирования канальной нечувствительности (Stuck detector);
- алгоритм детектирования шумовой помехи (Noise detector);
- алгоритм детектирования межканального рассогласования (Agreement detector);
- алгоритм детектирования канального дрейфа (Drift detector).

Входом модуля диагностики являются показания канальных датчиков (sensors), а выходом – признаки дефектов измерительных каналов (channel faults).

Схема детектора зашкаливания отображена на рис. 2. Признак отсутствия зашкаливания соответствует условию попадания измерения в диапазон измерительного канала (min/max) при условии, что этот канал активирован [2]. Ложная диагностика, связанная с высокоамплитудной импульсной помехой, подавляется низкочастотным фильтром в виде задержки по сбросу, настроенной на предельную длительность spk_T помехового импульса. Признак зашкаливания, соответствующий номеру дефекта $d = 1$, формируется на выходе переключателя, управляемого инвертированным признаком отсутствия зашкаливания. Результаты диагностики зашкаливания отображены на временной диаграмме.

В соответствии с рис. 3 детектирование импульсной помехи осуществляется по скачку

измерения относительно его предыдущего значения. При превышении модулем их разности порога spk_A , соответствующего минимальной амплитуде помехового импульса, формируется признак предварительного детектирования. Использование линии задержки по сбросу, настроенной на предельную длительность помехового импульса spk_T , позволяет стабилизировать формируемый признак в течение времени существования помехи в виде номера $d = 2$ соответствующего дефекта.

Результаты тестирования детектора отображены на временной диаграмме. Как показано на рис. 4, признак импульсной помехи инициирует формирование признака канального сдвига [3]. Этот признак формируется на выходе триггера с приоритетом по сбросу и в соответствующем переключателе пересчитывается в целочисленный, соответствующий номеру дефекта $d = 3$. Результаты тестирования отображены на временной диаграмме.

На рис. 5 приведена схема детектирования шумовой помехи и нечувствительности. Решающей статистикой при этом является отношение текущей оценки СКО шума к его адаптивной настройке, осуществляемой на основе модели аддитивной помехи [4]. В обоих случаях при оценке СКО используется аппроксимация математического ожидания измерения скользящей линейной регрессией [5].

Адаптивная перенастройка СКО осуществляется в случае существенного изменения

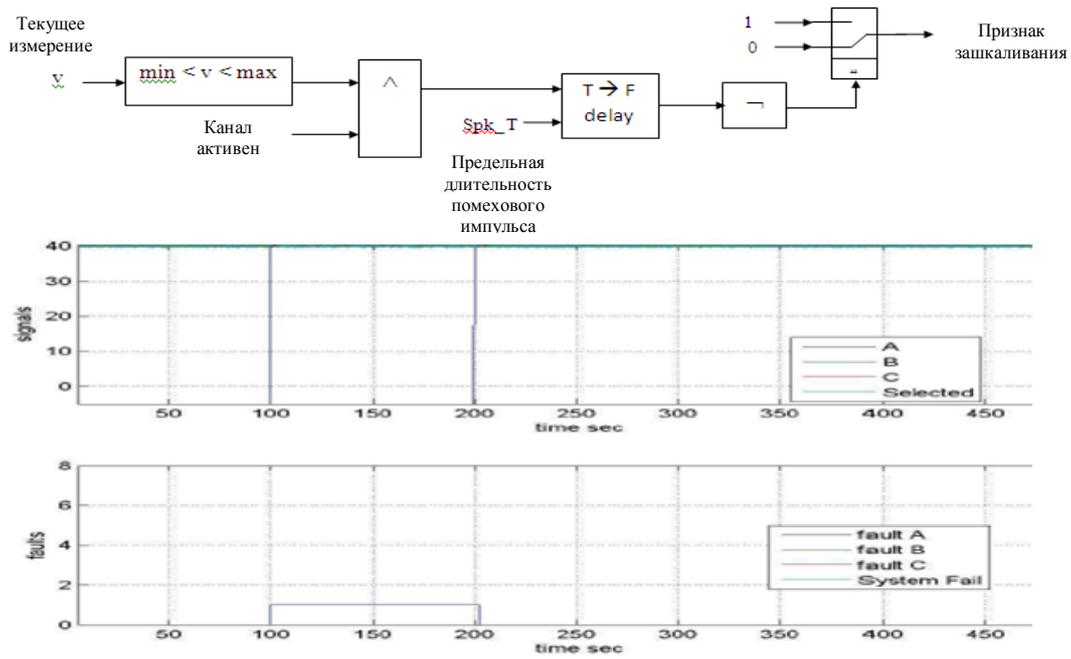


Рис. 2. Детектор зашкаливания

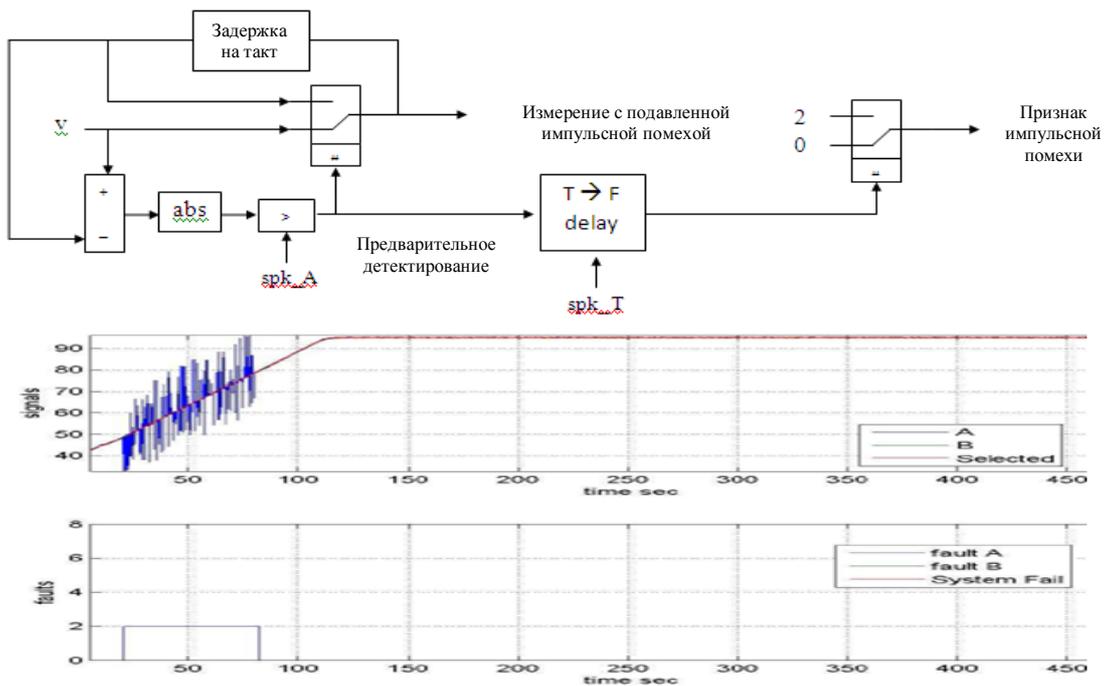


Рис. 3. Детектор импульсной помехи

текущего СКО, наблюдаемого в течение длительного времени. Отношение текущей оценки и адаптивной настройки СКО сравнивается с порогом, соответствующими шумовой помехе и потере чувствительности.

При превышении отношением порога по шуму формируется признак шумовой помехи, а в случае снижения отношения ниже порога по нечувствительности – признак потери чув-

ствительности. Сформированные таким образом бинарные признаки пересчитываются в целочисленные, соответствующие признакам дефектов: $d = 4$ для признака нечувствительности и $d = 5$ для признака шумовой помехи. Результаты тестирования построенных детекторов отображены на временных диаграммах.

Схема детектора дрейфа отображена на рис. 6.

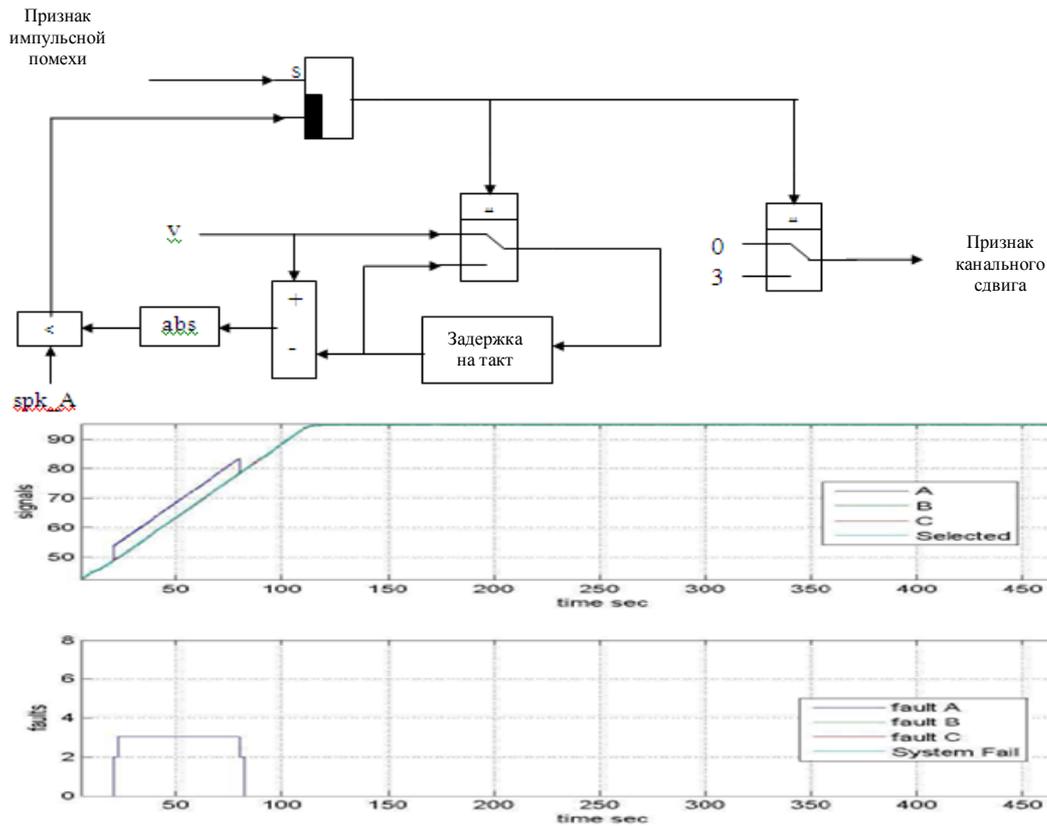


Рис. 4. Детектор канального сдвига

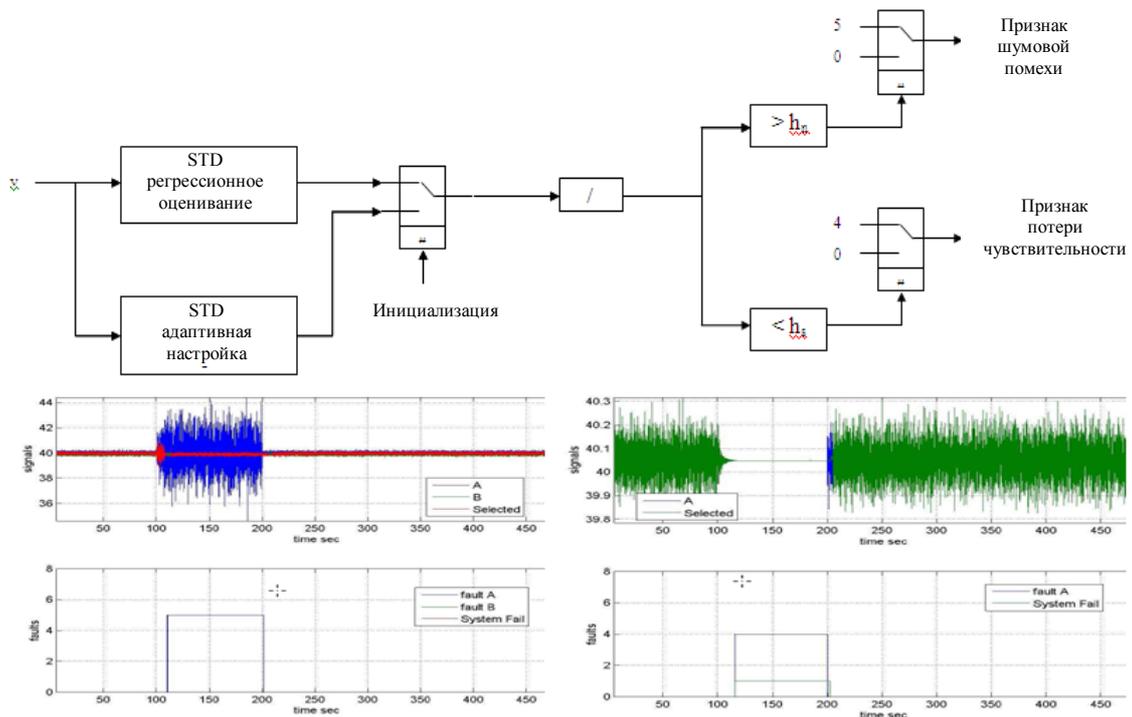


Рис. 5. Детекторы шумовой помехи и нечувствительности

Измерение v в ходе детектирования преобразовывается в трехполосовых фильтрах, образуемых инерционными звеньями и настроенных на различный темп дрейфа. На выходе фильтра, наиболее близкого к согласованному, наблюдается максимальный модуль вы-

ходного значения и, как следствие – минимальный уровень его дополнения до 1. Выбранное минимальное дополнение сравнивается с порогом по дрейфу h_d . Если оно оказывается ниже порога, формируется бинарный признак дрейфа, который с использованием

переключателя пересчитывается в целочисленный, соответствующий номеру дефекта

$d = 7$. Результат тестирования детектора приведен на временной диаграмме.

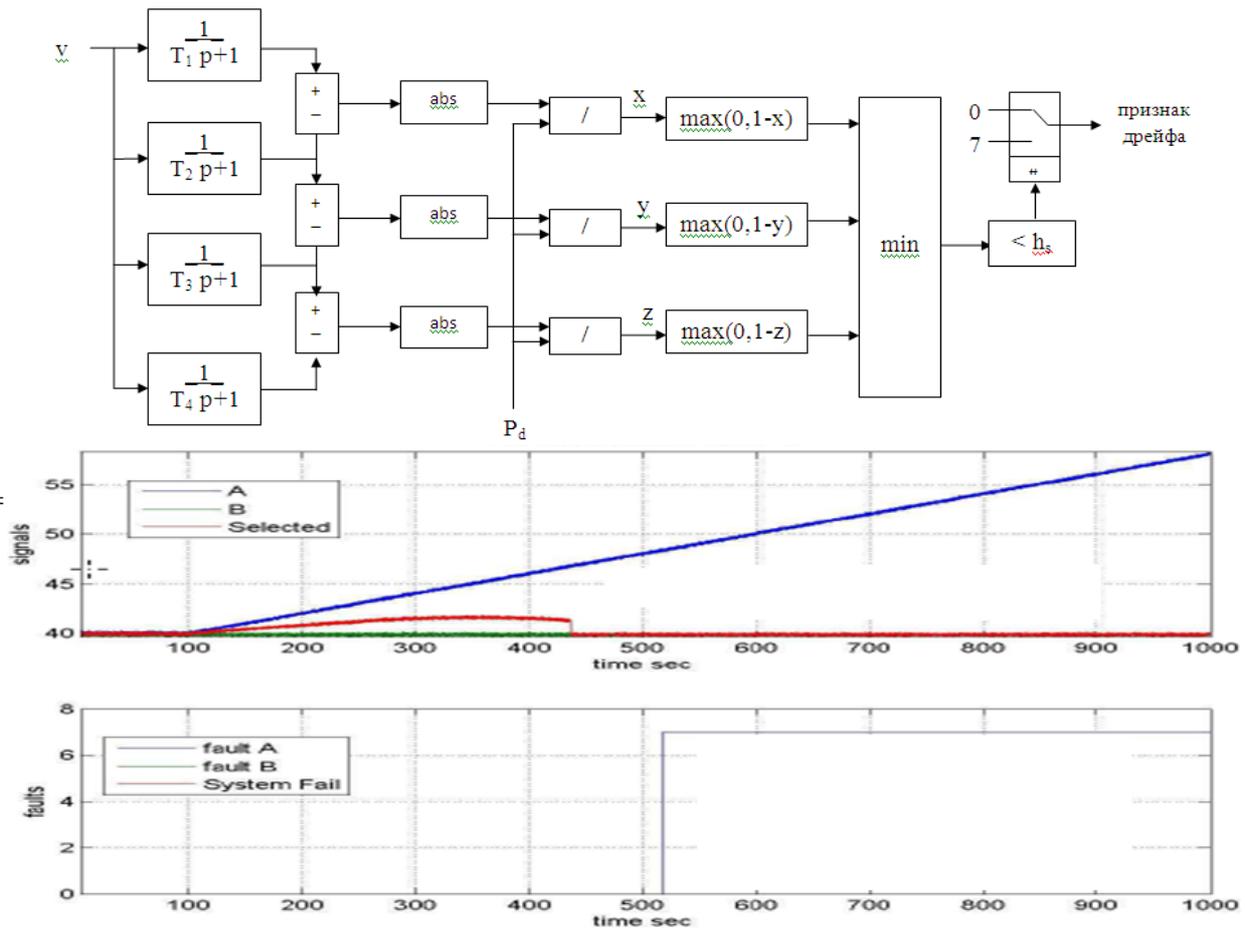


Рис. 6. Детектор дрейфа

Таким образом, в ходе проведенной разработки построен алгоритм статистической диагностики, используемый для распознавания некоторых дефектов измерения. Предварительный синтез алгоритма проводился совместно с его тестированием с использованием статистического имитатора дефектов измерений. Окончательная настройка алгоритма осуществлялась по результатам полунатурных испытаний, включающих применение и коррекцию синтезированных алгоритмов по записям натурных данных.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Моисеев, А.А. Имитатор дефектов измерений в САУ энергоустановки // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2016. – №4. – С. 28–30.
2. Моисеев, А.А. Процедура обработки неравноточных измерений// ВАНТ, серия: Ядерное приборостроение. – 2003. – Вып. 1(20). – С. 98–100.

3. United States Patent 9,151,786, Moiseev A. et al. Systems, methods, and apparatus for detecting shifts in redundant sensor signals, October. 2015.

4. Моисеев, А.А. Имитация аддитивных помех // Промышленные АСУ и контроллеры. – 2007. – №2. – С. 23.

5. Пугачев, В.С. Теория вероятности и математическая статистика. – М.: «Наука», 1979. – 496 с.

REFERENCES

1. Moiseev, A.A. Imitator of measurement faults in ACS of power plant // *Industrial ACS and Controllers*. – 2016. – No.4. – pp. 28-30.
2. Moiseev, A.A. Procedure of different measurements processing // *VANT, series: Nuclear Instrument Making*. – 2003. – Issue 1(20). – pp. 98-100.
3. United States Patent 9,151,786, Moiseev A. et al. Systems, methods, and apparatus for detecting shifts in redundant sensor signals, October. 2015.
4. Moiseev, A.A. Additive interferences imitation // *Industrial ACS and Controllers*. 2007. – No.2. – pp. 23.
5. Pugachyov, V.S. *Theory of Probability and Mathematical Statistics*. – М.: “Science”, 1979. – pp. 496.

Рецензент д.т.н. Д.И. Петрешин