

Рис. 2. Зависимости порогового напряжения от ширины запрещенной зоны материала: 1 – $\Lambda = 5$ нм; 2 – $\Lambda = 10$ нм; 3 – $\Lambda = 15$ нм

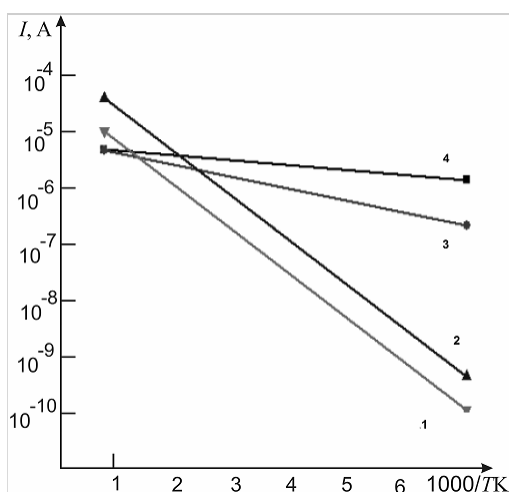


Рис. 3. Зависимости тока через образец от температуры, измеренные при различных значениях напряжения V : 1 – 0,1 В; 2 – 0,7 В; 3 – 1,4 В; 4 – 1,6 В

Получено 30.01.15

Как видно из приведенных зависимостей, с увеличением приложенного к образцу напряжения меняется наклон прямых.

Выводы

При условии, что распределение электрического поля в образце равномерное, с ростом поля проводимость образца возрастает, при этом энергия температурной активации проводимости тем меньше, чем выше электрическое поле.

Указанное свойство может быть использовано при построении высокостабильных ячеек фазовой памяти. Однако необходимо исследовать процессы фазового перехода при более высоких степенях неоднородности ХСП, используя инструменты молекулярного и квантово-механического моделирования.

Библиографические ссылки

1. Privitera S., Rimini E., Zonca R. // Appl. Phys. Lett., 85 (15), 3044 (2004).
2. C. Rivera-Rodriguez, E. Prokhorov, Yu. Kovalenko, E. Morales-Sanchez, J. Gonzalez-Hernandez // Appl. Surf. Sci., 247, 545 (2005).
3. S. M. Kim, M. J. Shin, D. J. Choi, K. N. Lee, S. K. Hong, Y. J. Park // Thin Sol. Films, 469–470, 322 (2004).
4. Моделирование ячеек энергонезависимой фазовой памяти на основе халькогенидных стеклообразных полупроводников состава GST-225 / А. Я. Клочков, А. А. Скунецев, А. М. Левин, Е. Ю. Батуркина // Наноинженерия. – 2014. – № 2(32). – С. 36–38.
5. Ушаков П. А., Батуркина Е. Ю. Моделирование неупорядоченного полупроводника структуры GST225 // Интеллектуальные системы в производстве. – 2013. – № 2(22). – С. 34–40.
6. Полимерные композиты на основе углеродных нанотрубок в микроволновых приложениях / О. Г. Поддубская, Н. И. Вольнец, И. А. Бочков, П. П. Кужир, С. А. Максименко, Е. Ю. Батуркина, О. А. Горлин // Вестник Рязанского гос. радиотех. ун-та. – 2013. – № 4-3(46). – С. 100–102.

УДК 519.254:658.562.3: 504.064.36

Х. Ш. Хуссейн, аспирант, Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, Барнаул
А. Г. Якунин, доктор технических наук, профессор, Алтайский государственный технический университет имени И. И. Ползунова, Барнаул

МЕТОДЫ ВЫЯВЛЕНИЯ АНОМАЛИЙ ПРИ КОНТРОЛЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ПРИРОДНЫХ И ТЕХНОГЕННЫХ ОБЪЕКТОВ

Вопросы выявления закономерностей в контролируемых процессах и явлениях занимают большое место в современных методах научных исследований. Не меньшее значение, как для науки, так и для повседневной жизни, имеет и решение обратных задач, связанных с выявлением

ситуаций, обусловленных нарушением таких закономерностей, так называемых аномалий [1, 2]. Аномалия, в соответствии с определениями, приведенными в толковых словарях Ожегова и Даля, – это отклонение от нормы, от общей закономерности, некоторая неправильность поведения. С точки зре-

ния математической статистики к аномалии можно отнести любые нарушения стационарности и эргодичности анализируемых процессов или временных рядов. Применительно к системам мониторинга природной среды и техногенных объектов под аномалиями будем в дальнейшем понимать любые события, нарушающие нормальный ход протекания контролируемого процесса, которые в информационно-измерительных и SCADA-системах часто называют также нештатными ситуациями. Тем не менее понятие «аномалия» несколько отличается от понятия «нештатная ситуация». Последний термин применяют обычно при контроле состояния техногенных объектов, где появление нештатной ситуации – исключительное событие, в основном всегда сопровождающееся принятием комплекса мер по его ликвидации. Термин же «аномалия» чаще применяют к природной среде, в которой аномалия – весьма распространенное явление, обычно не требующее принятия каких-либо специальных мер. Кроме того, природные аномалии в большей степени являются проявлением нарушений некоторых статистических закономерностей, тогда как нештатные ситуации зачастую являются следствием нарушений некоторых. А вот термин «чрезвычайная ситуация», применяемый к крайней степени проявления аномалии, одинаково применим как к природным, так и техногенным объектам.

Поскольку с позиции математики и данного в начале статьи определения приведенные термины неразличимы, для выявления соответствующих им явлений могут быть применены одни и те же алгоритмы. В связи с тем, что разные виды аномалий могут потребовать применения разного способа их идентификации, рассмотрим сначала их возможные разновидности и одну из возможных систем их классификации.

Классификация типов аномального поведения контролируемых процессов

Классическим видом аномального поведения является выход информативного параметра сигнала, описывающего контролируемый процесс, за диапазон его допустимых значений, как по величине, так и по скорости изменения во времени. К другим видам проявления аномального поведения можно отнести:

- появление на сигнале нерегулярных выбросов в результате воздействия на объект контроля случайных внешних факторов неизвестной природы;

- нарушение регулярности в поведении сигнала, описывающего некоторый циклический процесс, проявляющееся в нарушении периода, формы, отдельных характерных точек и иных параметров сигнала;

- появление на сигнале отклонений, обусловленных воздействием на объект контроля возмущений известной природы, которые могут описываться конечным набором модельных функций, имеющих небольшое число параметров сопровождения, значение которых в конкретной реализации неизвестно. В зависимости от значений параметров такие отклонения

могут соответствовать как штатному, так и нештатному состоянию контролируемого объекта;

- нарушение корреляционных связей между несколькими сигналами, описывающими различные параметры одного и того же контролируемого объекта;

- нарушение порядка следования некоторых фрагментов сигнала, форма которых сама по себе не является необычной или нехарактерной.

Несмотря на большое число публикаций, посвященных идентификации аномалий (за исключением классического случая превышения сигналом или его производной заданного диапазона допустимых изменений, выявляемого пороговым методом), в SCADA-системах почти нет решений, способных идентифицировать вышеперечисленные виды аномалий. Это обусловлено высокой вычислительной сложностью предлагаемых решений и их низкой эффективностью. Далее на примере информационных сигналов, формируемых системой температурного мониторинга производственных помещений и окружающей среды [3–8], показано, как путем простых преобразований, реализуемых микроконтроллерами среднего уровня, можно идентифицировать появление аномалий большинства из выше рассмотренных типов.

Методы на основе анализа отклонений отсчетов от текущего тренда

В основу данной группы методов положено сравнение мгновенного или усредненного значения текущей скорости изменения контролируемой величины с «плавающим» пороговым значением, зависящим от интенсивности флуктуаций сигнала. Для реализации метода исходные отсчеты F_i разбивают на интервалы $f_i \dots f_{i+m}$ (m удобно выбирать нечетным числом), для которых находят их среднее на интервале значение F_k , например, методом скользящего среднего. Для нахождения F_k можно также применить медианный фильтр шириной в m точек, веса которого зависят от характера контролируемого процесса. Далее по полученным значениям F_k численным методом по двух- или трехточечной схеме находится производная исходного сигнала Y_k . Далее полагается, что на интервале из n усредненных отсчетов (n также удобно брать нечетным) тренд анализируемого информативного сигнала сохраняет свое значение, равное

$$d = \sum_{j=k-n/2}^{k+n/2} (|Y_j|) / n. \quad (1)$$

Относительно этого значения находятся текущие отклонения тренда:

$$E_k = Y_k - \text{sign}(Y_k) / d. \quad (2)$$

В качестве меры оценки степени отклонения тренда δ можно взять либо модифицированное среднеквадратическое значение отклонения величины

$$E_k \text{ на интервале } \left[k - \frac{n}{2}, k + \frac{n}{2} \right]$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{j=k-n/2}^{k+n/2} (|Y_j| - d)^2}, \quad (3)$$

либо медиану отклонений Y_k от d на том же интервале.

Тогда для принятия решения о наличии аномалии можно воспользоваться следующим соотношением:

$$\text{Когда } \begin{cases} |E_k| \leq A\delta & : \text{нет аномалии,} \\ A\delta < |E_k| < B\delta & : \text{аномалия возможна,} \\ |E_k| \geq B\delta & : \text{аномалия есть.} \end{cases} \quad (4)$$

Здесь A и B – некоторые коэффициенты, зависящие от вероятности допущения ошибок идентификации первого и второго рода. Обычно полагают $A = B = 1$.

Предложенный алгоритм эффективно справляется с выявлением аномалий в виде выбросов и резких

изменений тренда, что наглядно иллюстрирует рис. 1, причем в отличие от известных решений, например [9, 10], он позволяет идентифицировать на сигнале и положительные, и отрицательные выбросы.

Методы на основе сравнения с паттернами форм

Поскольку как в природе, так и в технике многие процессы протекают циклически, особый интерес представляет разработка алгоритмов, способных эффективно идентифицировать ситуации, когда происходит искажение формы сигнала на каком-либо цикле. Среди них особый интерес в силу простоты реализации представляют алгоритмы, основанные на применении интервального подхода [11, 12] и паттернов формы и поведения [13, 14]. Рассмотрим, например, возможности, предоставляемые алгоритмами на основе паттернов формы.

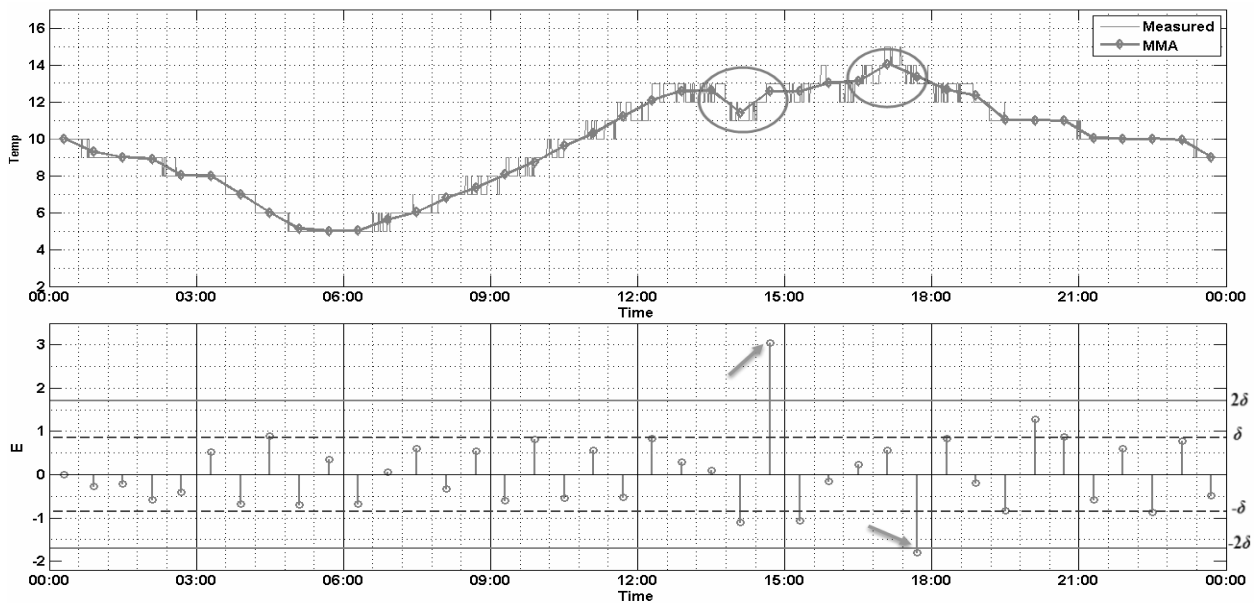


Рис. 1. Результаты применения метода сравнения с трендом для суточных колебаний температуры

В их основе лежит сравнение текущей формы информационного сигнала в пределах цикла с паттерном формы, полученным путем усреднения исторических данных. Обычно период контролируемого процесса известен, но даже если он вариабелен, его легко можно найти либо с помощью спектрального анализа, либо через интервальный анализ периода следования экстремумов сигнала, определяемых, например, вышерассмотренным методом. Основную сложность при реализации такого метода представляет выбор способа сравнения, обеспечивающего инвариантность к изменениям отдельных параметров сигнала, которые не должны восприниматься как нарушение нормы. Например, можно формирование паттерна и сравнение выполнять после нормировки сигнала, а перед сравнением вводить компенсацию на плавное изменение тренда.

Так, например, нормировку можно выполнять следующим образом:

$$Y_k = (F_k - F_o) / \delta, \quad (5)$$

где Y_k – нормированные отсчеты; F_k – исходные отсчеты либо отсчеты, полученные путем сглаживания исходного сигнала или его усреднения на интервале из m исходных точек; F_o – среднее значение F_k на N периодах наблюдений; δ – мера рассеяния F_k на том же интервале из N исторических периодов.

Тогда по N периодам паттерн формы P можно найти из выражения

$$P_i = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N Y_{jn+1}, \quad (6)$$

где n – число отсчетов Y_k в периоде; $i = k_0 \dots k_0 + n$, k_0 – начало отсчета периода.

Для реконструкции опорного сигнала R_i , $i = 1 \dots n$, для введения поправки на текущий тренд воспользуемся выражением

$$R_i = P_i + C_i, \quad (7)$$

где при использовании линейной интерполяции $C_i = S_{j+1}(1/2 + i/n) + S_{j-1}(1/2 - i/n)$, S_j – среднее значение сигнала Y_k на j -м периоде.

Результаты применения предложенного подхода к выявлению аномалий в суточных колебаниях тем-

пературы воздуха воздушной среды приведены на рис. 2 и 3, из которых видно, что данный метод позволяет однозначно идентифицировать возникающие аномалии, связанные, по всей вероятности, с прохождением фронтов воздушных масс.

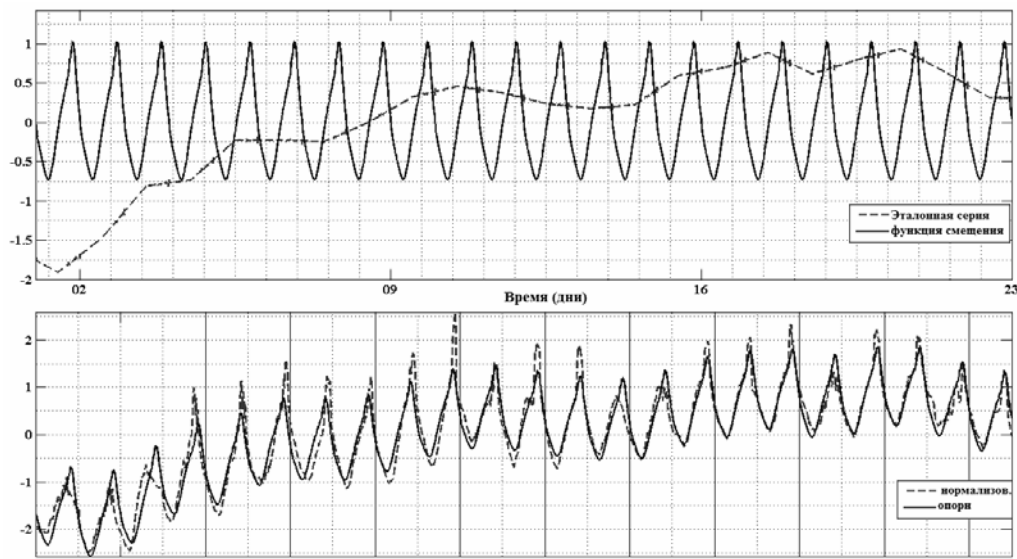


Рис. 2. Процесс формирования опорного сигнала (вверху) и его сравнение после суперпозиции с линией тренда с информационным сигналом

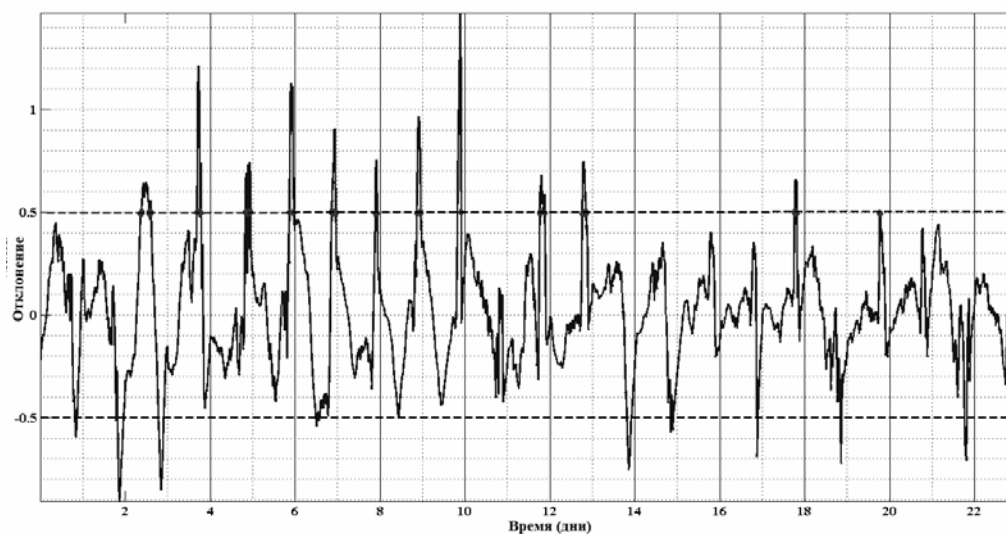


Рис. 3. Разность между информационным и опорным сигналами. Пики, выходящие за пунктирные границы, соответствуют выявленным аномалиям

Библиографические ссылки

1. Conditional Anomaly Detection / X. Song, M. Wu, C. Jermaine and S. Ranka // IEEE transact.on knowledge and data engin-g. – No. 0325459. – Pp. 1–14.
2. A survey of outlier detection methods in network anomaly identification / P. Gogoi, D. K. Bhattacharyya, B. Borah and J. K. Kalita // Comput. J. – 2011. – Vol. 54. – Pp. 570–588.
3. Сучкова Л. И., Якунин А. Г. Система оперативного автоматизированного контроля потребления энергоресурсов и инструментальные средства ее реализации // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2008. – № 2. – С. 52–56.

4. Сучкова Л. И., Куниц Р. В., Якунин А. Г. Реализация прототипа системы контроля процессов жизнеобеспечения университетского кампуса // Вестник Кузбасского ГТУ. – 2012. – № 5. – С. 153–158.
5. Сучкова Л. И., Якунин А. Г., Юрченко А. В. Особенности аппаратной реализации систем оперативного контроля энергоресурсов // Контроль, диагностика. – 2012. – № 13. – С. 153–157.
6. Сучкова Л. И. Подход к прогнозированию нештатных ситуаций в системах мониторинга с использованием паттернов поведения группы временных рядов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 88–92.

7. Проектирование и внедрение систем для климатического и технологического мониторинга / Л. И. Сучкова, Х. М. Хуссейн, Р. В. Кунц, А. Г. Якунин // Известия АГУ. – 2013. – № 1(1). – С. 210–214.

8. Многоточечная система дистанционного мониторинга пространственно-распределенных динамических процессов / Л. И. Сучкова, Х. М. Хуссейн, Р. В. Кунц, М. А. Якунин, А. Г. Якунин, А. В. Юрченко // Контроль, диагностика. – 2013. – № 13. – С. 95–101.

9. Hubert M., Vandervieren E. An adjusted boxplot for skewed distributions // Comput. Stat. Data Anal. – 2008. – Vol. 52. – Pp. 5186–5201.

10. Shiffler R. E. Maximum Z Scores and Outliers // Am. Stat. – 1988. – Vol. 42. – Pp. 79–80.

11. Сучкова Л. И., Якунин А. Г. Интервальный метод идентификации нештатных ситуаций в системах оперативного контроля // Глобальный научный потенциал. – 2012. – № 2(11). – С. 72–74.

12. Сучкова Л. И., Якунин А. Г. Развитие метода Е-слоя для нахождения интервальных оценок параметров квазидетерминированных процессов // Вестник Самарского ГУ (Естественно-научная серия). – 2013. – № 9/2(110). – С. 25–30.

13. Сучкова Л. И. Подход к прогнозированию нештатных ситуаций в системах мониторинга с использованием паттернов поведения группы временных рядов // Ползуновский вестник. – 2013. – № 2. – С. 88–92.

14. Сучкова Л. И. Алгоритмическое обеспечение мониторинга нештатных состояний объекта контроля на основе многомерных паттернов // Известия АГУ. – 2013. – № 1(2). – С. 118–122.

Получено 08.02.2015

УДК 528.8.04:528.88

М. А. Якунин, аспирант, Алтайский государственный университет, Барнаул

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ КОНТРОЛЯ РАДИАЦИОННОГО БАЛАНСА ПОДСТИЛАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ НА ОСНОВЕ СПЕКТРАЛЬНОГО ПОДХОДА *

Контроль радиационного баланса ПП и, в частности, поглощенной солнечной энергии ПП в диапазоне 0,3...2,4 мкм, уходящего излучения на ВГА, альbedo ПП являются важными задачами современной физики атмосферы [1, 2]. Для их решения целесообразно использовать данные дистанционного зондирования Земли, имеющие высокое пространственное разрешение и позволяющие вести оперативный мониторинг на обширных территориях.

В работе использовались данные спектро радиометра MODIS/Terra-Aqua [3] и моделирующий комплекс MODTRAN5.2.1 [4] для решения следующих задач: восстановление альbedo ПП и расчет уходящего излучения на ВГА.

Альbedo ПП, определяющее долю отраженного излучения, зависит от свойств поверхности и имеет высокую временную и пространственную изменчивость. В силу этого готовый продукт MODIS, содержащий альbedo и обновляемый раз в 16 дней, не является информативным для расчета поглощенной энергии ПП, и задача определения альbedo ПП остается актуальной.

Предложенная методика нахождения альbedo при безоблачных условиях наблюдения заключается в следующем. При помощи MODTRAN для каждого из каналов 1-7 спектро радиометра, являющихся наиболее информативными и покрывающими необходимый спектральный диапазон, моделировались показания интенсивности на ВГА [5]. В качестве необходимых входных данных использовались данные о состоянии атмосферы из продуктов MODIS

(полное содержание водяного пара в столбе атмосферы, аэрозольная оптическая толщина, геометрия наблюдаемой сцены), а в качестве начальных приближений альbedo ПП использовались значения, близкие к реальным для большинства типов поверхностей. В качестве второй точки a_1 , необходимой для применения метода секущих, выбиралось значение $a_1 = a_0(1 + 1,5k)$, где k – относительная разность между расчетным и измеренным откликом спутникового канала. Если значение a_1 после первой итерации выходило за диапазон возможных значений альbedo [0,1], то оно выбиралось равным соответствующей границе данного интервала. Таким образом, за несколько итераций-запусков MODTRAN (обычно 5-8) восстанавливалось значение альbedo, при котором расчетное значение интенсивности на ВГА совпадало с реально измеренным с заданной точностью.

Для восстановления спектра альbedo ПП полученные значения в диапазонах каналов интерполировались сплайном. Сопоставление с базой данных альbedo ASTER [6] показало, что интерполяция дает погрешность порядка 3-5 % для большинства естественных типов ПП (трава, лес, почвы и т. д.).

Методика восстановления спектра уходящего излучения на ВГА заключается в следующем. Зарегистрированные значения интенсивности уходящего излучения в каналах спектро радиометра 1-7 при определенном состоянии атмосферы и условиях наблюдения интерполируются сплайном с учетом двух