

*Список літератури*

1. Светомузыка Processing + Arduino + RGB: [Електрон. ресурс]. - Режим доступа: <http://habrahabr.ru/hub/arduino/>
2. Проекты для Arduino: [Електрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://arduino-projects.ru/>
3. MAPLE - Arduino-совместимая платформа для разработки проектов на быстродействующих 32-битных микроконтроллерах с ядром Cortex M3: [Електрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://hobbylab.ru/robototechnics/1293/>
4. Умный Дом своими руками на Cubieboard: [Електрон. ресурс]. - Режим доступа: <http://www.ablog.ru/forum/viewtopic.php?f=1&t=619>
5. Arduino vs. Raspberry Pi vs. CubieBoard vs. Gooseberry vs. APC Rock vs. OLinuXino vs. Hackberry A10: [Електрон. ресурс]. - Режим доступа: <http://techwatch.keeward.com/geeks-and-nerds/arduino-vs-raspberry-pi-vs-cubieboard-vs-gooseberry-vs-apc-rock-vs-olinuxino-vs-hackberry-a10/>
6. Вступ до світу робототехніки: [Електрон. ресурс]. - Режим доступа: [http://wiki.kspu.kr.ua/index.php/Стаття\\_вступ\\_до\\_світу\\_робототехніки](http://wiki.kspu.kr.ua/index.php/Стаття_вступ_до_світу_робототехніки).
7. Arduino: [Електрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://uk.wikipedia.org/wiki/Arduino>.
8. Що таке Arduino?: [Електрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://arduino-school.blogspot.com/2012/07/arduino.html>.
9. Офіційний сайт продукту Cubieboard: [Електрон. ресурс]. — Режим доступа: <http://cubieboard.org/>

Рукопис поступив до редакції 17.03.14

УДК 004.942

Л. А. ШУМОВА, аспірант, И. С. СКАРГА-БАНДУРОВА, канд. техн. наук,  
Технологический институт ВУНУ им. В. Даля, г. Северодонецк

## **МЕТОД РАННЕГО ОБНАРУЖЕНИЯ ОПАСНОЙ ТЕНДЕНЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Рассмотрена задача разработки формальных методов для раннего обнаружения предаварийных ситуаций в химической промышленности. Представлен метод прогнозирования аварийной ситуации в технологическом процессе на основе анализа временных рядов значений технологических параметров. Сформулирован критерий для раннего обнаружения опасной тенденции.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** Одной из основных задач управления химико-технологическими процессами является обеспечение их безопасности. Для достижения целей безопасности на отечественных предприятиях используются различные подходы, наибольшее распространение среди которых получили системы противоаварийной защиты и автоматической блокировки при достижении критических значений контролируемых параметров, причем, в некоторых случаях регламентом производства предусматривается возможность «ручного» регулирования процесса оператором до момента блокировки. С наличием человеческого фактора, в автоматизированных системах управления технологическими процессами помимо обязательных систем регулирования, сигнализации и блокировок целесообразно использовать дополнительные средства оценки и прогнозирования контролируемых параметров, позволяющие автоматизировать процесс обнаружения опасной динамики и обеспечить поддержку принятия решений в предаварийных ситуациях.

В качестве такого инструмента предлагается реализовать систему прогнозирования на основе анализа временных рядов значений контролируемых технологических параметров, иницирующую аварийную ситуацию.

**Анализ исследований и публикаций.** Обнаружение и диагностика аномальных состояний неизменно является активной областью исследований [1-6]. Известен вероятностный подход к выявлению и анализу показателей, позволяющих осуществлять раннее предупреждение опасных ситуаций (аварийных прекурсоров) [7], использование диаграмм [8], матриц решений [9], нечетких методов [10] для оценки состояний процессов на грани инцидента. Методы для обнаружения и идентификации аварийной динамики были разработаны в различных критических отраслях от авиации до атомной энергетики [11-14].

Основные трудности в разработке формальных методов для раннего обнаружения предаварийных ситуаций в химической промышленности связаны с динамикой параметров, аппаратной избыточностью измерений, контролем сигналов обратной связи, контролем отношений

между значениями переменных, контролем согласованности изменения сигнала направления, и т.д. [15]. Поскольку подавляющее большинство контролируемых технологических переменных отображаются в виде временных рядов, необходимо дать ответы на вопросы: Как найти модели аномальной динамики и выделить опасную тенденцию из временных рядов? Какой метод является наиболее подходящим для раннего предупреждения об опасных ситуациях? Для их решения на предварительном этапе исследования были проанализированы классические методы обнаружения трендов: метод средних, критерий серий и критерий инверсий. По результатам анализа сделан вывод о том, что применение классических критериев для задачи обнаружения опасной динамики технологических параметров дает высокий уровень ложных тревог [16].

**Постановка задачи.** Пусть рассматривается временной ряд  $X$ , отражающий динамику некоторого технологического параметра в нормальном и предаварийном режимах

$$X: x_i, i=1, 2, \dots, n, \quad (1)$$

где  $x_i$  -  $i$ -е по порядку наблюдение,  $x_i=x(t_i)$ ,  $t_i$  -  $i$ -й момент времени (секунды),  $t_1=0$ .

Считаем, что до момента появления опасной тенденции  $T_{\Pi}$  (рис.1) ряд  $X$  стационарный (закон распределения вероятностей случайной величины  $x(t)$  не зависит от  $t$ , отсутствует тренд). С момента появления опасной тенденции  $T_{\Pi}$  процесс входит в предаварийный режим, во временном ряду  $X$  присутствует тренд.

Необходимо разработать метод раннего обнаружения тренда во временном ряде  $X$  при условии достижения минимальной частоты ложных тревог

$$T_{\text{обн}} - T_{\Pi} \rightarrow \min, \quad (2)$$

где  $T_{\text{обн}}$  - момент обнаружения тренда.

**Изложение материала и результаты.** Опасная тенденция характеризуется монотонным смещением текущего значения контролируемого параметра  $x(t_i)$  к критическому значению  $x_{\text{кр}}$ .

Поэтому, для обнаружения трендовой компоненты, в качестве тестируемого рассматривается ряд  $X^*$ , уровни которого отражают близость наблюдаемого значения технологического параметра к его критическому значению

$$X^*: x^*(t_i), i=1, 2, \dots, n; \quad (3)$$

$$x^*(t_i) = |x(t_i) - x_{\text{кр}}|.$$

Суть метода заключается в оценивании длины  $L$  последовательности подряд идущих монотонно убывающих значений (серии). Серии отражают сокращение дистанции между наблюдаемым и критическим значениями технологического параметра, следующих с интервалом  $k$ .

Длина серии  $L$  сравнивается с максимальной длиной  $L_{\text{max}}$  серии, которая формируется по значениям, наблюдаемым в нормальном режиме. Если  $L > L_{\text{max}}$ , то принимается решение о появлении опасной тенденции (присутствует тренд).

Серией считается последовательность  $\{X_{\tau}\}_{\tau=1}^L$  подряд идущих значений ряда  $X^*$ , для которых выполняется условие (4)

$$x^*(t_i) < x^*(t_{i+k}), x^*(t_{i+1}) < x^*(t_{i+1+k}), \dots, x^*(t_{i+L}) < x^*(t_{i+L+k}), \quad (4)$$

где  $k$  - интервал анализа вдоль последовательности моментов времени.

Интервал  $k$  подбирается по ретроспективным данным, собранным в предаварийных режимах, так, что  $\forall x^*(t_i), t_i > T_{\Pi}$  выполняется условие

$$x^*(t_{i+k}) < x^*(t_i). \quad (5)$$

Пусть известна максимальная длина серии, наблюдаемой в нормальном режиме  $L_{\text{max}}$ . Пусть так же выбран интервал  $k$  такой, что выполняется условие (5).

Известны критическое значение  $x_{\text{кр}}$  технологического параметра при котором срабатывает сигнализация (определено регламентом технологического процесса); его среднее значение в нормальном режиме  $x_{\text{ср}}$ .

Тогда критерием раннего обнаружения опасной тенденции является серия  $\{X_{\tau}^*\}_{\tau=1}^L$ , длина которой  $L > L_{\text{max}}$ .

Метод раннего обнаружения опасной тенденции представлен в виде последовательного выполнения двухэтапной процедуры (рис. 1).

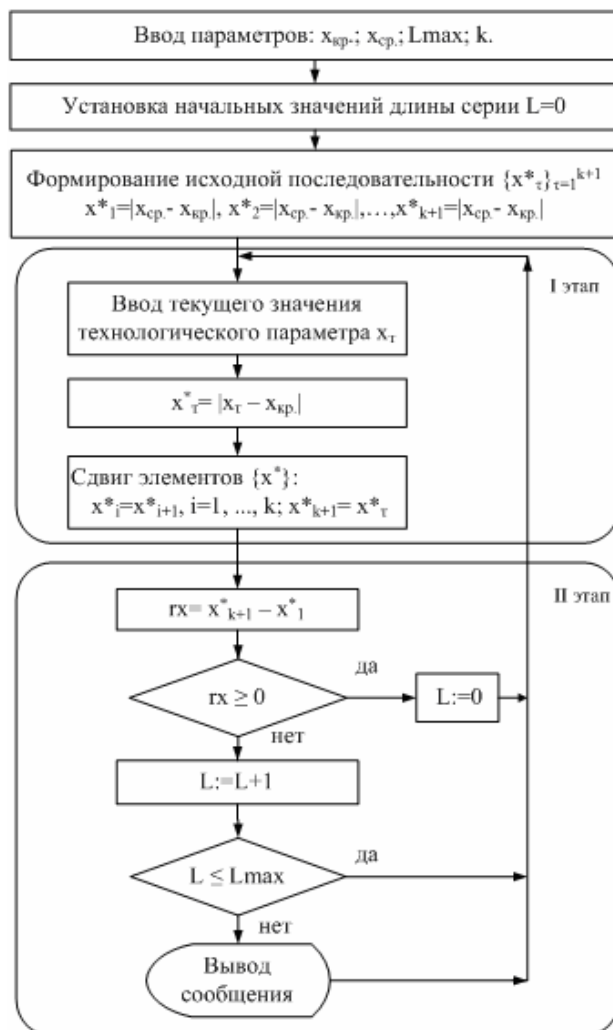


Рис. 1. Процедура реализации метода обнаружения опасной тенденции

На первом этапе осуществляется ввод текущего значения технологического параметра  $x_\tau$ , определяется его близость к критическому значению  $x^*_\tau = |x_\tau - x_{кр}|$ , формируется новая последовательность для сравнения направления изменения расстояния до критического значения наблюдений, следующих с интервалом  $k$  (производится сдвиг элементов последовательности  $\{x^*_i\}_{i=1}^{k+1}$ ,  $x^*_1 := x^*_{i+1}$ ,  $i=1, 2, \dots, k$ ,  $x^*_{k+1} := x^*_\tau$ ).

На втором этапе определяется и оценивается изменение расстояния ( $rx$ ) до критического значения наблюдаемых значений технологического параметра, следующих с интервалом  $k$

$$rx = x^*_{k+1} - x^*_1.$$

Если  $rx \geq 0$ , то серия не наблюдается  $L=0$ , осуществляется переход к началу первого этапа.

Если  $rx < 0$ , то серия увеличивается на один элемент ( $L=L+1$ ) и проверяется длина серии.

При  $L \leq L_{max}$  считается, что опасная тенденция отсутствует, вводится очередное значение технологического параметра, выполняются операции первого этапа.

При  $L > L_{max}$ , принимается решение о появлении опасной тенденции, выводится соответствующее сообщение, выполняются операции первого этапа.

Проверка правильности предлагаемого

метода проводилась на основании сравнения с классическими тестами. Тестирование по критерию серий (Runs above and below median), критерию восходящих и нисходящих серий (Runs up and down), тест Бокса-Пирса (Box-Pierce Test), автокорреляционный анализ проведены средствами Statgraphics Plus; расчеты по методу средних, фазочастотному критерию знаков первой разности, критерию Кокса и Стюарта и R/S-анализ реализованы в Excel; для реализации процедур тестирования по критерию инверсий, разработана программа на C#.

В качестве показателей эффективности рассматривались быстрдействие и точность.

В качестве метода исследования использовалось имитационное моделирование: генерация значений параметров, имитирующих отклонения; обработка данных с помощью алгоритмов, реализующих описанные критерии; анализ полученных результатов.

По результатам моделирования проведена оценка работоспособности и эффективности предлагаемого метода.

**Выводы и направление дальнейших исследований.** Предложен метод для раннего обнаружения опасной тенденции технологических параметров.

Сформулирован критерий раннего обнаружения опасной тенденции в динамике контролируемых технологических параметров, инициирующих аварийную ситуацию.

С учетом полученных результатов для выявления тренда можно рекомендовать описанный метод как наиболее чувствительный и обладающий большей мощностью по сравнению с рассмотренными критериями.

Предлагаемый подход реализован в автоматизированной системе раннего предупреждения опасных ситуаций производства аммиака [17].

Для подтверждения эффективности предлагаемого метода и получения окончательного заключения в настоящий момент проводятся промышленные испытания.

В будущем должны быть рассмотрены вопросы, касающиеся использования знаков разницы первого порядка и новых методов извлечения показателей, позволяющих осуществлять раннее предупреждение опасных ситуаций из рядов данных в производственных базах данных.

Дополнительного исследования требуют также вопросы динамики оценок.

Необходимо определить, как быстро развиваются критические состояния, каков горизонт прогноза в зависимости от текущего значения наблюдаемого параметра.

#### Список литературы

1. Букреев В.Г. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов: монография / В. Г. Букреев, С. И. Колесникова, А. Е. Янковская. – 2-е изд. – Томск: Изд-во Томского политехн. ун-та, 2011. – 254 с.
2. Панарин В.М. Использование экспертной системы для исследования закономерностей развития чрезвычайных ситуаций на химически опасных объектах / В. М. Панарин, В. Г. Павпертов, А. А. Зуйкова, Т. А. Короткова // Вестник БГТУ. – 2004. – №8. – С. 53-55.
3. Bier V.M. The performance of precursors-based estimators for rare event frequencies / V. M. Bier and W. Yi // Reliability Engineering and System Safety. – 1995. – vol. 50. – pp. 241-251.
4. Kirchsteiger C. Impact of accident precursors on risk estimates from accident databases / C. Kirchsteiger // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. – 1996. – vol. 10. – pp. 159-167.
5. Venkatasubramanian V. A review of process fault detection and diagnosis. Part III: process history-based methods / V. Venkatasubramanian, R. Rengasamy, K. Yin, S. N. Kavuri // Int. J. Comput. Chem. Eng. – 2003. – No.27. – pp. 327–346.
6. Vinnem J.E. Analysis of root causes of major hazard precursors (hydrocarbon leaks) in the Norwegian offshore petroleum industry / J. E. Vinnem, J. A. Hestad, J. T. Kvaløy // Reliability Engineering and System Safety. - 2010. - vol. 95. - pp. 1142–1153.
7. Paté-Cornell M.E. Finding and fixing systems weaknesses: probabilistic methods and applications of engineering risk analysis / M. E. Paté-Cornell // Risk Analysis. – 2002. – Vol. 22(2). – pp. 319–334.
8. Borgonovo E. Insights from using influence diagrams to analyze precursor events / E. Borgonovo, C. Smith, G. Apostolakis, et al. // Frontiers science series. - 2000. - vol. 3. - pp. 1801-1808.
9. Chen Q. The differentiation and decision matrix risk assessment of accident precursors and near-misses on construction sites / Q. Chen, W. Wu, X. Zhang // International Journal of Engineering & Technology IJET-IJENS. - 2012. - Vol: 12 No: 03. – pp. 38-53.
10. Espinosa J. Fuzzy logic, identification and predictive control / J. Espinosa, J. Vandewalle, V. Wertz. – Springer, 2005. – 265 p.
11. Phimister J.R. Near-Miss Incident Management in the Chemical Process Industry / J. R. Phimister, U. Oktem, P.R. Kleindorfer et al. // Risk Analysis. – 2003. – vol. 23. – pp. 445–459.
12. Reniers G.L.L. Developing an external domino accident prevention framework: Hazwim / G. L. L. Reniers, W. Dullaert, B. J. M. Ale, K. Soudan // Journal of Loss Prevention in the Process Industries. - 2005. - vol. 18. - pp. 127–138.
13. Smith C.L. Decision Making During Nuclear Power Plant Incidents—A New Approach to the Evaluation of Precursors Events / C. L. Smith, E. Borgonovo // Risk Analysis. - 2007. - vol. 27. - pp. 1027–1042.
14. Wu W. Towards an autonomous real-time tracking system of near misses accidents on construction sites / W. Wu, H. Yang, D. A. S. Chew, S. Yang, Q. M. Li // Automation in Construction. - 2010. - vol. 19. - pp. 134–141.
15. Korbicz J. Fault diagnosis. Models, artificial intelligence, applications / J. Korbicz, J. M. Kościelny, Z. Kowalczyk, W. Cholewa, (Eds.) ; Springer, Heidelberg, 2004. – 920 p.
16. Шумова Л. А. Критерии тренда в задачах раннего обнаружения опасных тенденций технологических параметров / Л. А. Шумова, А. И. Рязанцев, А. А. Хорбенко // Інтелектуальні системи прийняття рішень та проблеми обчислювального інтелекту (ISDMCI'2013) : міжнар. наук. конф., збірка наук. праць, 20–24 травня 2013 р. - Свпаторія, 2013. – С. 332-334. – Парал. загл. англ., рус.
17. Рязанцев А.И. Система поддержки принятия решений при управлении технологическим процессом в аварийных ситуациях / А. И. Рязанцев, И. С. Скарга-Бандурова, Л. А. Шумова // Вісник Східноукраїнського національного університету ім. В. Даля. – 2010. – № 9 (151), ч.1. – С.189-193.

Рукопись поступила в редакцию 21.03.14