

УДК 681.51

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ В УПРАВЛЕНИИ
ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫМ ОБЪЕКТОМ**

Чепелева Марина Станиславовна
аспирант
*Воронежский государственный архитектурно-
строительный университет, Воронеж, Россия*

Ткалич Сергей Андреевич
к.т.н., доцент
*Воронежский государственный технический
университет, Воронеж, Россия*

Чепелев Станислав Аркадьевич
д.т.н., доцент
*Воронежская государственная лесотехническая
академия, Воронеж, Россия*

В статье используется метод нормированного размаха для прогнозирования изменения ключевых технологических параметров потенциально опасного объекта, которые могут привести к развитию нештатной ситуации. Даны рекомендации по выбору шага между значениями исходного временного ряда и его длины

Ключевые слова: СИСТЕМА
ПРОГНОЗИРОВАНИЯ, R/S-АНАЛИЗ,
ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНЫЙ ОБЪЕКТ

UDK 681.51

**PREDICTION IN MANAGING OF
POTENTIALLY DANGEROUS OBJECTS**

Chepeleva Marina Stanislavovna
postgraduate student
*Voronezh State Architecture and Building University,
Voronezh, Russia*

Tkalich Sergey Andreevich
Cand.Sci.Tech., associate professor
*Voronezh State Technical University, Voronezh,
Russia*

Chepelev Stanislav Arkadyevich
Dr.Sci.Tech, associate professor
*Voronezh State Academy of Forestry and
Technologies, Voronezh, Russia*

In this article, the method of normalized amplitude for predicting changes in key technological parameters of potentially dangerous object, which can lead to abnormal situations is used. The article provides guidelines for choosing the step between the values of the original time series and its length

Keywords: FORECASTING SYSTEM, R/S-
ANALYSIS, POTENTIALLY DANGEROUS
OBJECTS

Введение

Особое место в управлении техническими системами занимают объекты, относящиеся к потенциально опасным. Для каждого технологического процесса из данного класса определяется совокупность критических значений параметров в соответствии с требованиями нормативных документов [1]. Регламентом технологического процесса каждому контролируемому параметру назначается зона допустимых значений, выход из которой означает переход объекта в нештатную ситуацию.

В таких объектах помимо классических систем регулирования, сигнализации и блокировок необходимо использовать дополнительные средства, позволяющие понизить вероятность развития нештатной ситуации. В качестве такого инструмента предлагается реализовать систему прогнозирования на базе R/S-анализа. Необходимым условием для

реализации данного алгоритма является наличие на объекте управляющего вычислительного комплекса достаточной мощности. Современный уровень автоматизации технологических процессов производства синтетических каучуков соответствует необходимым и достаточным условиям. В качестве предприятия для опытного внедрения было выбрано ООО «Тольяттикаучук»; технологический процесс, для которого разработана система прогнозирования – синтез бутилкаучука.

Модель изменения технологического параметра в системе прогнозирования

Изменение во времени технологических параметров под действием возмущений, носящих стохастический характер, можно сопоставить с движением броуновской частицы, которое представляет собой набор шагов в случайно выбираемых направлениях. Заметим, что в броуновском движении независимы не положения частицы в разные моменты времени, а смещение частицы в течение одного промежутка времени не зависит от ее же смещения в течение другого интервала времени.

Как доказал в своих исследованиях Херст, многие природные явления обладают долговременной памятью и не являются абсолютно случайными. Тогда технологический процесс следует рассматривать как обобщенное броуновское движение, введенное Мандельбротом, которое описывается следующим выражением (1):

$$B_H(t) - B_H(t-1) = \frac{n^{-H}}{\Gamma(H+0,5)} \times \left\{ \sum_{i=1}^{nt} (i)^{H-0,5} x_{(1+n(M+t)-i)} + \sum_{i=1}^{n(M-1)} ((n+i)^{H-0,5} - i^{H-0,5}) x_{(1+n(M-1+t)-i)} \right\} \quad (1)$$

где $B_H(t)$ – обобщенная броуновская функция,

$\Gamma(x)$ – гамма-функция,

$\{x_{(i)}\}$ с $i=1, 2, \dots, M, \dots$ – набор Гауссовых случайных чисел с единичной дисперсией и нулевым средним,

n – количество шагов численного интегрирования на интервале $\Delta t = [t-1; t]$, причём t здесь принимает целочисленные значения,

M – количество интервалов Δt , анализируемых в процессе прогнозирования,

H – показатель персистентности (или показатель Херста).

При этом H может принимать различные значения в интервале $(0;1)$ [2, 3, 4]:

$0,50 < H \leq 1,00$ – анализируемый временной ряд персистентен и характеризуется эффектом долговременной памяти, т.е. если ряд возрастает (убывает) в предыдущий период, то вероятно, что он будет сохранять эту тенденцию какое-то время в будущем. Тренды очевидны, и сила персистентности возрастает при приближении H к единице.

$H = 0,5$ – имеет место случайный процесс с независимыми приращениями.

$0 \leq H < 0,5$ – анализируемый временной ряд антиперсистентен. В этом случае рост в прошлом означает вероятное уменьшение в будущем и наоборот.

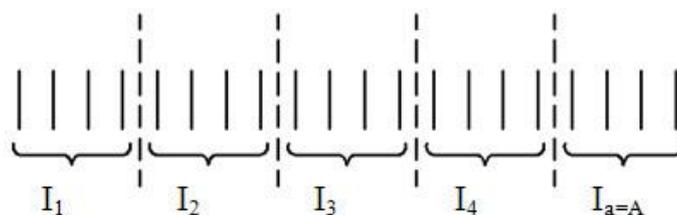
Представив изменение технологического параметра как обобщенное броуновское движение и определив показатель Херста, можно судить о приближении данной величины к границе нормального функционирования. Т.е. при получении $H > 0,50$ можно говорить, что система стремится перейти в нештатное состояние по данному технологическому параметру, а при получении $H < 0,50$ – что данный параметр не переведет систему в нештатное состояние.

Алгоритм определения показателя Херста

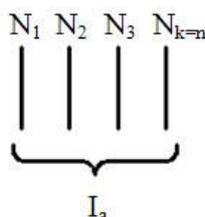
1. В ходе технологического процесса через определенные промежутки времени Δt снимаются данные о прогнозируемом параметре. Таким образом формируется временной ряд M длины m , который необходимо преобразовать в ряд приращений N длиной $m-1$ по формуле:

$$N_i = M_{i+1} - M_i, i = 1, 2, 3, \dots, (m-1) \quad (2)$$

2. Полученный ряд N делится на A смежных подпериодов длины n , так что $A * n = N$. Каждый подпериод помечается как I_a , где $a = 1, 2, 3, \dots, A$.



Каждый элемент I_a помечен N_k , при этом $k = 1, 2, 3, \dots, n$



3. Для каждого I_a длины n определяется среднее значение e_a по формуле:

$$e_a = (1/n) \sum_k^n N_{k,a} \tag{3}$$

4. Определяется временной ряд накопленных отклонений $X_{k,a}$ от среднего значения для каждого подпериода I_a по формуле:

$$X_{k,a} = \sum_{i=1}^k (N_{i,a} - e_a), k = 1, 2, 3, \dots, n \tag{4}$$

Обратим внимание, что $X_{k,a}$ для любого a при $k = n$ всегда равно нулю.

5. Размах определяется как максимальное значение за вычетом минимального значения $X_{k,a}$ в пределах каждого подпериода I_a :

$$R_{I_a} = \max(X_{k,a}) - \min(X_{k,a}), \text{ где } 1 \leq k \leq n \tag{5}$$

Поскольку X_a скорректирован к среднему нулю, максимальное значение X_a всегда будет больше или равно нулю, а минимальное значение всегда будет меньше или равно нулю. Следовательно, размах всегда является неотрицательной величиной.

6. Для каждого периода I_a рассчитывается стандартное отклонение по формуле:

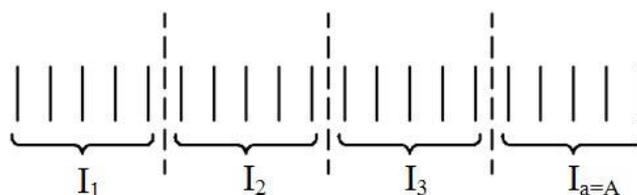
$$S_{I_a} = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (N_{k,a} - e_a)^2} \tag{6}$$

7. Каждый размах R_{I_a} нормируется путем деления на соответствующее значение стандартного отклонения S_{I_a} , при этом для каждого подпериода I_a получаем определенное соотношение R_{I_a} / S_{I_a} .

8. Определяется среднее значение R/S для данного n :

$$(R/S)_n = (1/A) \sum_{a=1}^A (R_{I_a} / S_{I_a}) \quad (7)$$

9. Ряд N делится на следующее меньшее целое значение A , такое, что n – целочисленное значение.



Шаги с 3-го по 8-й повторяются. Деление ряда продолжается до $n = (m - 1) / 2$.

10. Показатель Херста определяется исходя из формулы:

$$(R/S)_n = (c \cdot n)^H \quad (8)$$

где c – константа,

H – показатель Херста,

R/S – нормированный размах,

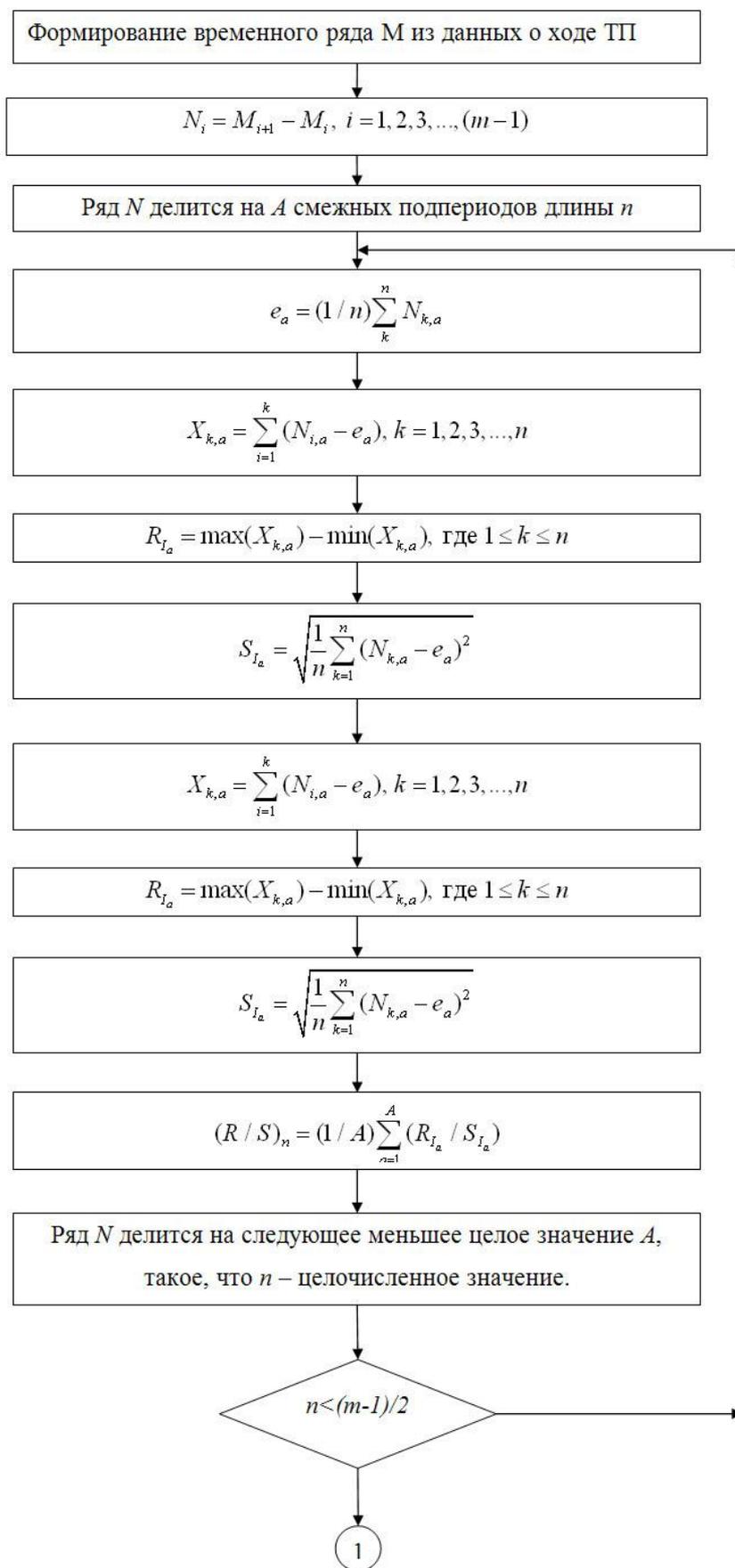
n – число наблюдений.

Логарифмируя данное выражение, получим:

$$\log((R/S)_n) = H(\log(n) + \log(c)) \quad (9)$$

Методом наименьших квадратов определяется прямая, аппроксимирующая зависимость $\log((R/S)_n)$ от $\log(c)$. Наклон данной прямой и характеризует показатель Херста.

Представленный алгоритм иллюстрируется блок-схемой (рис. 1).



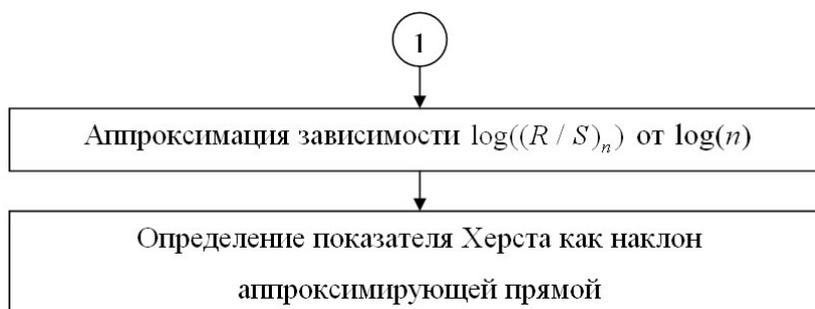


Рис. 1. Алгоритм R/S-анализа

Полученное по данному алгоритму значение показателя H сравнивается с 0,5, после чего делается вывод о стремлении процесса к нештатному состоянию.

Предлагаемая методика предусматривает следующие допущения:

1. Суждение по показателю Херста о стремлении системы перейти в нештатное состояние или остаться в рамках нормального функционирования носит вероятностный характер. При этом вероятность перехода в предаварийное состояние тем выше, чем ближе H к единице, а вероятность работы системы в рамках допустимой зоны возрастает с приближением H к нулю.

2. Описанный метод дает лучший результат при использовании делителей, кратных 2^n , однако в этом случае для анализа необходим достаточно большой временной ряд.

Алгоритм R/S -анализа сам по себе достаточно универсален. Главной задачей разработчика системы прогнозирования для конкретного технологического процесса является определение следующих параметров:

1. Время между двумя соседними значениями исходного временного ряда Δt .
2. Длина исходного временного ряда m .

Определение шага исходного временного ряда

Для установления степени влияния значения Δt при анализе временного ряда проведена серия экспериментов над контрольной функцией, поведение которой заранее определено (подобные

эксперименты приведены в работе [5]). В качестве тестовой зависимости предлагается рассмотреть синусоидальную функцию. Так как она носит стационарный характер, влияние параметра m не учитывается.

Эксперимент проведен в среде моделирования MATLAB. Первоначально исследуемый ряд выбран с шагом $\Delta t=0,001$ периода. Полученная зависимость $\log((R/S)_n)$ от $\log(n)$ приведена на рисунке 2.

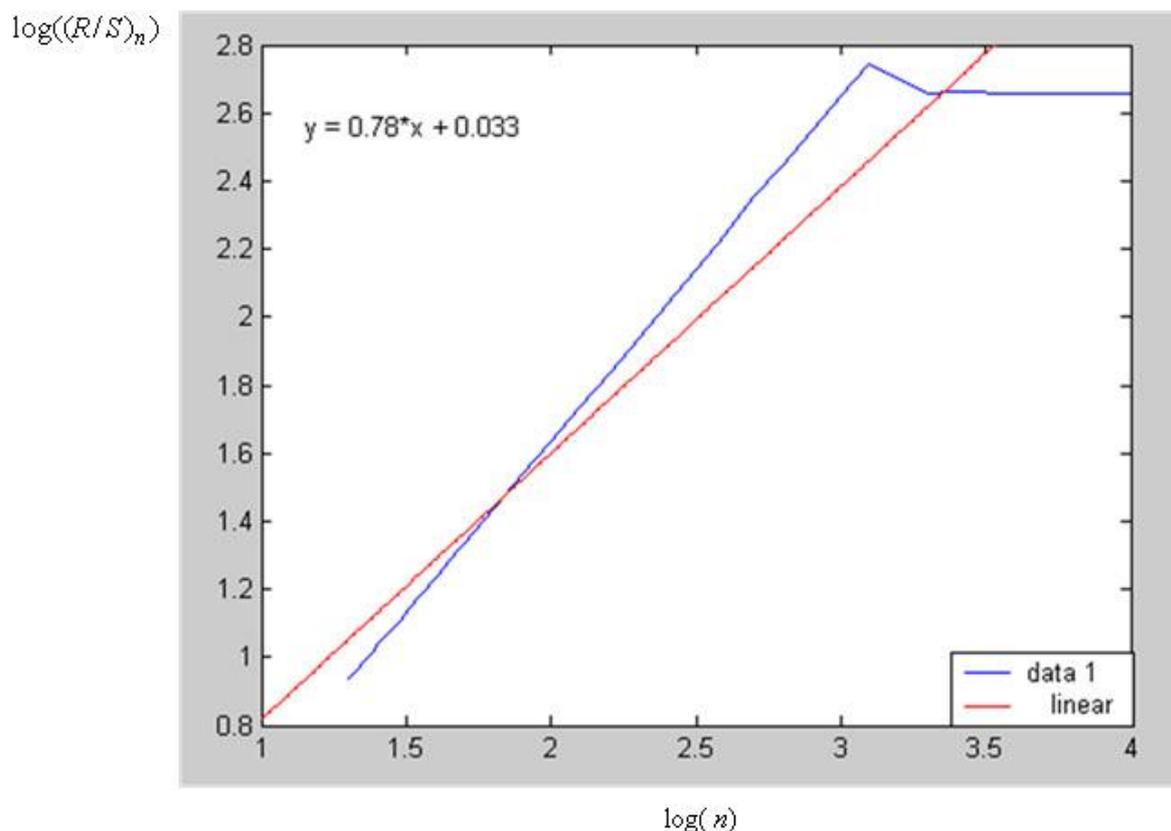


Рис. 2. Определение показателя Херста.

По графику видно, что для данного временного ряда $H=0,78$. В случае реального процесса можно было бы говорить о приближении системы к нештатному состоянию.

Эксперимент повторялся для $\Delta t=0,005$; $0,01$; $0,02$ от периода. В результате были получены значения $H=0,567$; $0,4255$; $0,2675$ соответственно. При этом при $\Delta t=0,005$ с большой вероятностью можно говорить о случайном процессе, а при $\Delta t=0,01$ и $\Delta t=0,02$ – об антиперсистентном временном ряде.

Таким образом, в ходе эксперимента удалось доказать, что параметр Δt оказывает существенное влияние на результат проводимого анализа. В связи с этим ставится задача разработки метода для его определения.

В данной работе предлагается связать параметр Δt с такой характеристикой системы управления, как время переходного процесса. Ясно, что если переходной процесс в системе по данному каналу управления измеряется в минутах, то нет смысла получать анализируемый временной ряд снятием значений через несколько секунд. Показатель Херста в таком случае может оказаться выше 0,5, но это будет означать не стремление системы выйти за рамки штатного функционирования, а пребывание объекта в переходном режиме. С другой стороны, шаг Δt не должен сильно превышать длительность переходного процесса, так как это может повлечь за собой «потерю памяти» системы и исказить результат прогнозирования. Таким образом, значение Δt при анализе конкретного параметра системы предлагается брать равным времени переходного процесса по соответствующему каналу управления, которое можно определить как реакцию на ступенчатое воздействие. В качестве примера выбран канал «расход катализатора – температура в реакторе». Эксперимент на реальном объекте показал, что время переходного процесса по данному каналу равно 2 минутам, чему, согласно предлагаемой методике, должен равняться шаг между соседними отсчетами при составлении анализируемого временного ряда.

Определение длины исходного временного ряда

На длину анализируемого временного ряда накладывают ограничения несколько факторов различного характера. В первую очередь, можно выделить техническую реализацию поставленной задачи. В связи с ограниченным объемом оперативной памяти управляющего вычислительного комплекса (УВК) невозможно накапливать бесконечный ряд значений анализируемого параметра. Кроме того, поскольку операционная система УВК работает в режиме реального времени,

обработка слишком большого числа данных может нарушить цикличность обращения к объекту, т.е. к моменту снятия следующего значения параметра еще не будет проанализирован предыдущий временной ряд. С другой стороны, слишком маленькая выборка также не даст точного анализа.

В соответствии с поставленными ограничениями на выбор длины исходного временного ряда, для прогнозирования изменения температуры в реакторе базовый статистический набор составляет 180 точек.

Определение показателя Херста для выборки, полученной на реальном объекте

Экспериментальная выборка (рис. 3) для идентификации показателя Херста получена на заводе ООО «Тольяттикаучук» в соответствии с определенными выше параметрами Δt и m . Исследуемым параметром являлась температура в реакторе. При этом заранее известно, что на прогнозируемый период система работала в штатном режиме, т.е. показатель Херста в результате проведенного анализа должен быть меньше 0,5.

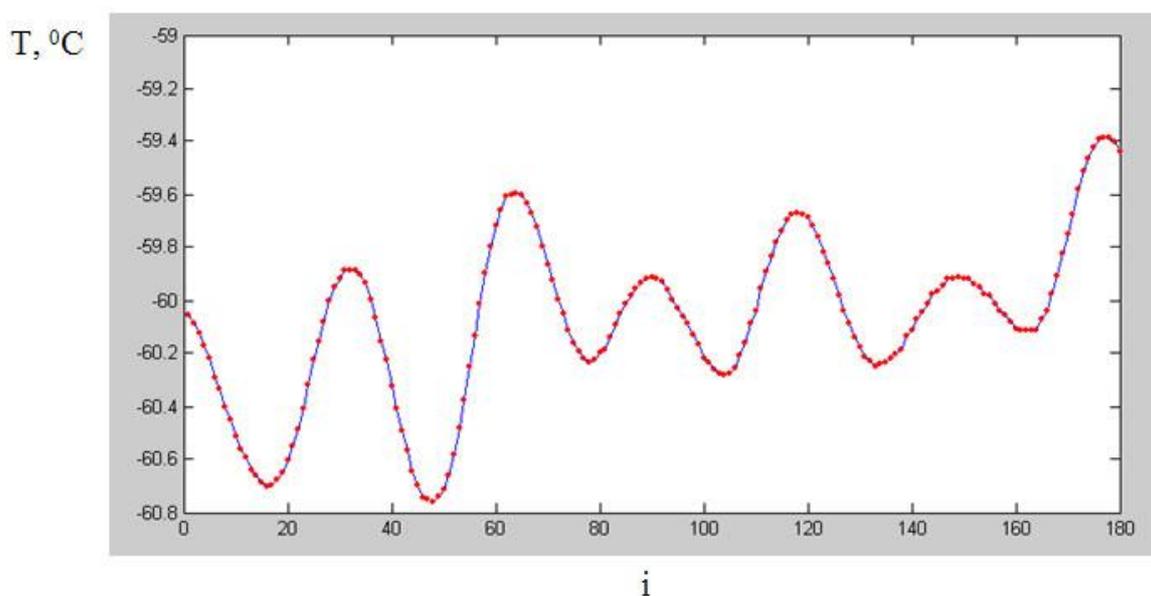
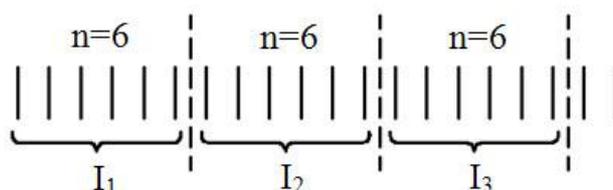


Рис. 3. Экспериментальный временной ряд

Учитывая то, что исходная выборка невелика, для получения более точной аппроксимации зависимости $\log((R/S)_n)$ от $\log(n)$ предлагается брать значения n подряд от 10 до $(m-1)/2$, а при расчете количества анализируемых интервалов A не рассматривать последний период, содержащий количество точек, меньше n .



Полученная в результате анализа зависимость представлена на рис.

4.

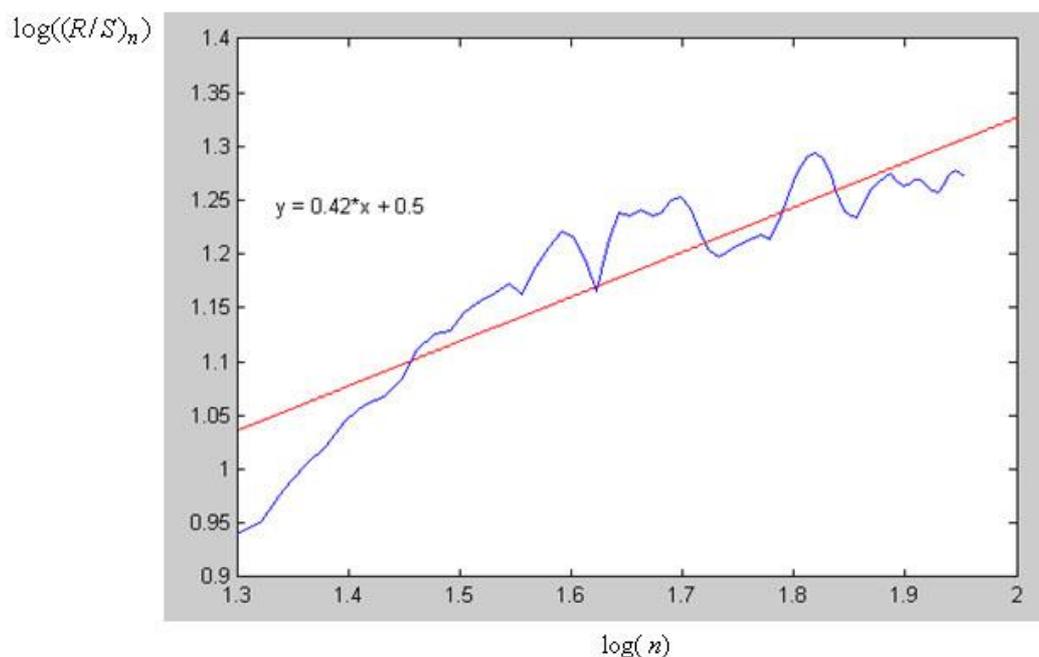


Рис. 4. Зависимость $\log((R/S)_n)$ от $\log(n)$ для выборки, полученной на реальном объекте

Выводы

Экспериментальные данные, были получены на реальном объекте управления в соответствии с найденными параметрами исходного временного ряда Δt и m . Производственная ситуация, сложившаяся на данном цикле технологического процесса, известна как штатная, что

соответствует показателю Херста меньше 0,5. Проведенный расчет показал, что наклон аппроксимирующей прямой составляет $H=0,42$. Следовательно, процесс антиперсистентен (имеется тенденция возврата к среднему значению прогнозируемого технологического параметра), система не стремится выйти за границы штатного функционирования, что соответствует реальной ситуации.

Реализация полученной методики на технических средствах управления процессом производства бутилкаучука удачно вписывается в существующий комплекс программно-алгоритмического обеспечения, не требуя его модификации.

Разработанная методика в дополнение к классическим средствам удержания системы в рамках штатной ситуации дает лицу, принимающему решения, новый инструмент для предотвращения выхода объекта в нештатную ситуацию, что повышает безопасность потенциально опасного производства.

Литература

1. Стандрик Р.А. Общие правила взрывобезопасности для взрывопожарных химических, нефтехимических и нефтеперерабатывающих производств / Р.А. Стандрик. – М.: «Металлургия», 1998. – 12 с.
2. Федер Е. Фракталы. / Е. Федер. – М.: Мир, 1991. – 254 с.
3. Петерс Э. Фрактальный анализ финансовых рынков: применение теории хаоса в инвестициях и экономике. / Э. Петерс. – М.: Интернет-трейдинг, 2004. – 304 с.
4. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка: пер. с англ. / Э. Петерс. – М.: Мир, 2000. – 333 с.
5. Ткалич С.А. Исследование системы прогнозирования аварийных ситуаций на базе термодинамической модели. / С.А. Ткалич // Системы управления и информационные технологии. – 2008. - № 3.3. (33). – С. 399 – 403.