

УДК 669:681.5:311.13

Л.И. Криволапова, О.А. Кравцова

Показатели сложности контролируемых технологических переменных в задачах АСУ металлургическими объектами

Рассмотрены методы оценивания показателей сложности временных рядов данных (ВРД). Проведен сравнительный анализ показателей сложности нестационарных ВРД в аспекте их применимости в задачах АСУ металлургическими объектами. В качестве исходных условий используются как модельные временные последовательности, так и натурные временные ряды данных, отображающие динамику металлургических процессов.

Ключевые слова: показатель сложности, нестационарные временные ряды данных, экстраполяция, структурирование.

1. Актуальность темы. Наиболее эффективными являются системы управления, в которых осуществляются структурирование и последующее прогнозирование динамики контролируемых технологических переменных. Учитывая тот факт, что прогнозирование реального технического состояния как элементов конструкций агрегатов, так и самих агрегатов в целом, являющихся высокотемпературными объектами, является одной из задач технической диагностики, становится очевидной актуальность рассматриваемой задачи. Именно с этой позиции необходимо подходить к постановке и решению задач алгоритмизации конкретных систем управления металлургическими процессами, основным источником информации для которых являются контролируемые технологические переменные объектов управления в режимах нормальной эксплуатации или активного эксперимента, а также предаварийного состояния этих агрегатов. По сути структура контролируемых ВРД характеризуется пространственно-временной нестационарностью, т.е. является более сложной, чем предполагается в известных методах анализа и обработки данных. В связи с этим целесообразным представляется подход, использующий структурирование динамических временных рядов данных на более простые последовательные составляющие, специфические свойства которых отображаются показателями сложности, являющимися дополнительной информативной переменной в задачах прогнозирования и формирования реализаций данных с желаемыми свойствами.

2. Описание рассматриваемых показателей сложности ВРД

В практике металлургического производства существуют задачи, корректное решение которых может быть получено только в установившемся режиме происходящего процесса. Такими задачами являются: определение набранной массы сыпучих материалов, взвешивание сталь-ковша, определение температуры металла и т.д.

В работе [1] рассматриваются методы выделения стационарных участков временных рядов данных заданной сложности из реализаций контролируемых величин. В качестве инструмента для выделения стационарных участков авторами предлагается использовать алгоритмы расчета показателей сложности: знаковый (Sl_{zn}) и двухтемповый ($Sl_{дп}$).

Для обнаружения моментов изменения свойств анализируемой временной последовательности данных в работе [2] предлагается использовать индекс вариации, который содержит обобщенную информацию как об изменяющейся тенденции, так и об изменяющейся дисперсии участка ВРД.

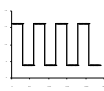
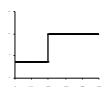
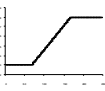
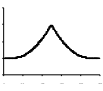
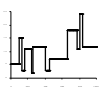
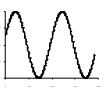
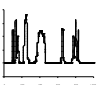
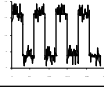
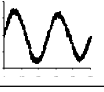
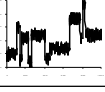
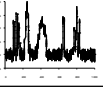
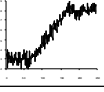
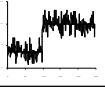
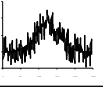
В работе [3] рассмотрен комплексный показатель S сложности ВРД, рассчитываемый по выражению $S = \frac{1-1/n^*}{1-1/n}$, где n^* – число точек, оставшихся в усеченном временном

ряде данных; n – число точек в исходной записи ВРД, и определяющий долю информации, которая необходима для восстановления данного ВРД с заданной точностью. В зависимости от сложности рассматриваемых ВРД показатель S принимает значения: $0 < S \leq 1$, $S=1$ характеризует существенно нестационарный сигнал.

Для типовых модельных временных рядов данных при отсутствии помеховой составляющей ($D_n = 0$) и при ее наличии ($D_n > 0$) были рассчитаны конкретные значения комплексного S_j показателя сложности, результаты представлены в табл. 1 (j – номер типового модельного ВРД $j = \overline{1,7}$).

Полученные результаты показывают: увеличение значений показателей сложности с ростом дисперсии помеховой составляющей ВРД; для различных типов модельных временных рядов данных получаются одинаковые значения показателей сложности. Избежать последнего обстоятельства можно, увеличив число значимых знаков после запятой, тем самым число совпадений значительно снизится. С другой стороны, подобный результат вполне закономерен, разные по форме ВРД в аспекте требуемых ограничений на восстановление могут быть одинаковыми по сложности.

Таблица 1
Значения комплексного показателя сложности S_j

$D_{\Pi=}$							
S_j	0,9414	0,9512	0,9561	0,9585	0,9618	0,9640	0,9647
$D_{\Pi>}$							
S_j	0,9586	0,9780	0,9808	0,9818	0,9915	0,9920	0,9960


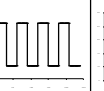
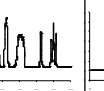
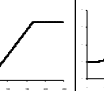
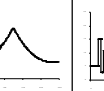
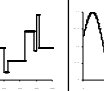
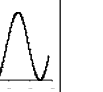
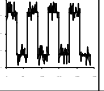
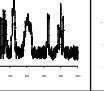
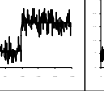
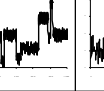
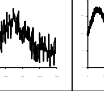
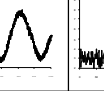
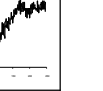
Впервые количественный подход к понятию «сложность физической системы» появился в статистической физике, когда возникло понятие «энтропия». Энтропийный показатель сложности есть некоторая мера «степени неопределённости», свойственная тому или иному временному ряду данных [4]. Можно сказать, что шенноновская энтропия есть коэффициент при асимптотике логарифма числа «типичных» последовательностей независимых случайных величин, имеющих одно и то же данное распределение вероятностей, при увеличении длины последовательности.

На практике чаще всего энтропию измеряют в двоичных единицах, что обусловлено хорошим согласованием с применяемой в электронных вычислительных устройствах двоичной системой счисления, но в связи с тем, что для сравнительного анализа эффективности энтропийного показателя сложности с какими-либо другими показателями возможно применение и десятичной системы счисления при его расчете: $H(x) = -\sum_{l=1}^L p_l \log p_l$,

где $l = 1, L$ – порядковый подынтервал гистограммы.

В табл. 2 приведены значения энтропийного показателя сложности для типовых модельных временных последовательностей данных, упорядоченные по возрастанию.

Таблица 2
Значения энтропийного показателя сложности « H_j »

$D_{\Pi=}$							
H_j	0,2964	0,3010	0,5544	0,6391	0,6917	0,7004	0,7898
$D_{\Pi>}$							
H_j	0,6153	0,6406	0,7193	0,7476	0,7612	0,8271	0,9919

Шенноновская энтропия характеризует сложность распределения вероятностей, или, другими словами, богатство «типоредавательных» траекторий последовательности независимых случайных величин, которое в реальных условиях функционирования объектов управления ограничено технологическими особенностями производства. Однако следует отметить, что для комплексного и энтропийного показателей сложности нет однозначного соответствия друг другу этих показателей при анализе одинаковых временных последовательностей данных.

3. Задача выделения участков с заданными свойствами с применением показателей сложности

Эффективность применения знакового и двухтемпового показателей сложности в задаче выделения структурно-однородных участков проанализирована на модельных временных рядах данных, которые представлены двумя вариантами. Первый вариант модельных ВРД характеризуется отсутствием высокочастотной составляющей; во втором случае в составе исследуемого ряда данных присутствует помеховая составляющая. На рис. 1 и 2 приведены примеры динамики знакового $Sl_{зп}$ и двухтемпового $Sl_{дп}$ показателей сложности для различных временных рядов данных.

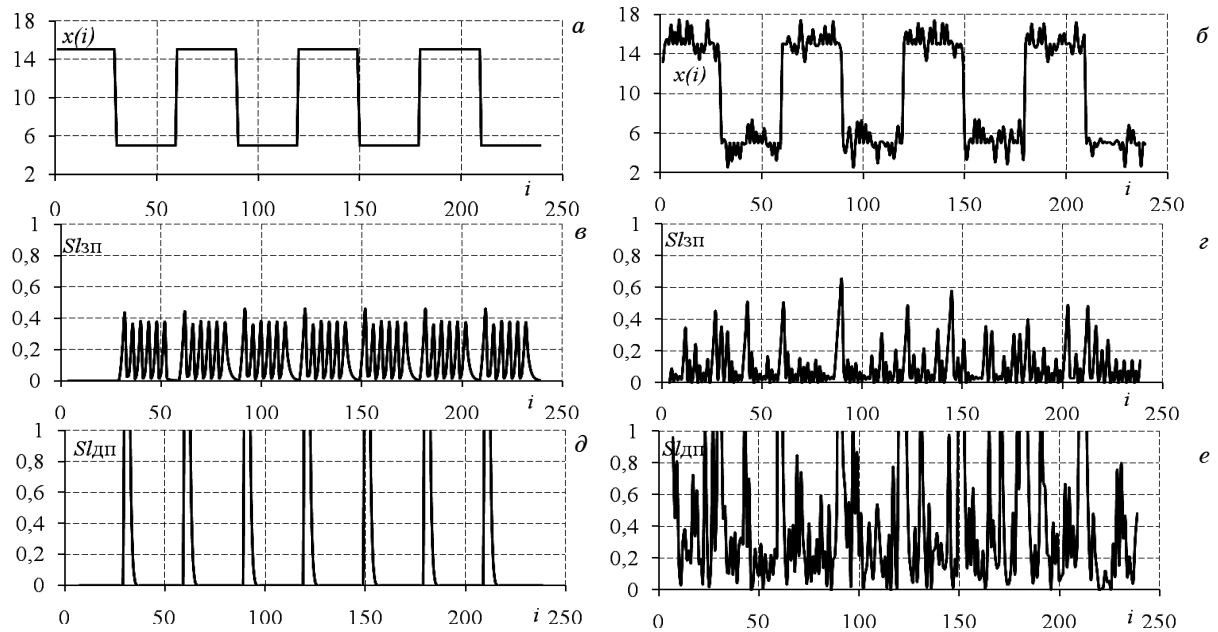


Рис. 1. Динамика знакового и двухтемпового показателей сложности для модельного ВРД: *a, б* – модельные временные ряды данных без помеховой и с помеховой составляющей; *в, г* – динамика знакового показателя сложности; *д, е* – динамика двухтемпового показателя сложности

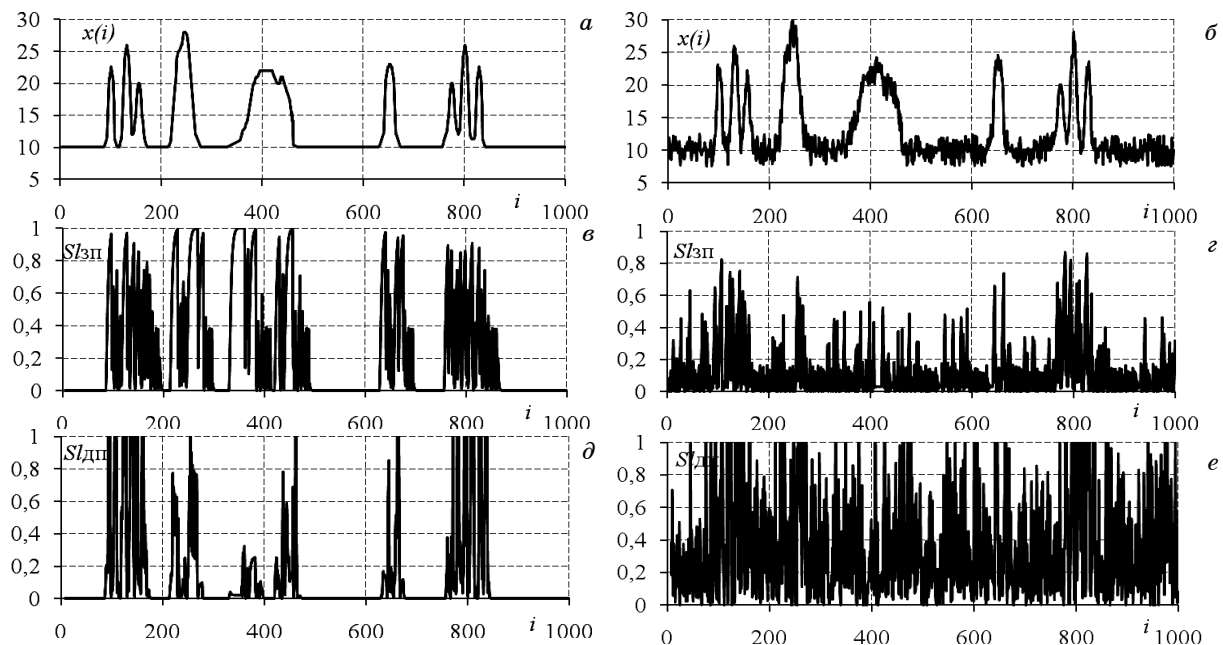


Рис. 2. Динамика знакового и двухтемпового показателей сложности для модельного ВРД: *a, б* – модельные временные ряды данных без помеховой и с помеховой составляющей; *в, г* – динамика знакового показателя сложности; *д, е* – динамика двухтемпового показателя сложности

Результаты моделирования говорят о специфической направленности этих методов, т.е. данные показатели позволяют выделить квазистационарные участки типа «полочки»

в общей динамике временных рядов данных. Однако с ростом отношения дисперсии помехи к дисперсии сигнала задача обнаружения стационарных участков усложняется, так как требуются дополнительные процедуры обработки данных.

На рис. 3 представлены реализации исходных рядов данных и соответствующие им реализации динамического индекса вариации. Значения данного показателя при отсутствии структурных изменений в рассматриваемом временном ряду данных расположены в области положительных величин, в момент смены тенденции в исходной временной последовательности индекс вариации изменяет свой знак на противоположный, что позволяет выделить в контролируемом временном ряду данных участки с заданными свойствами, а именно структурно-однородные участки.

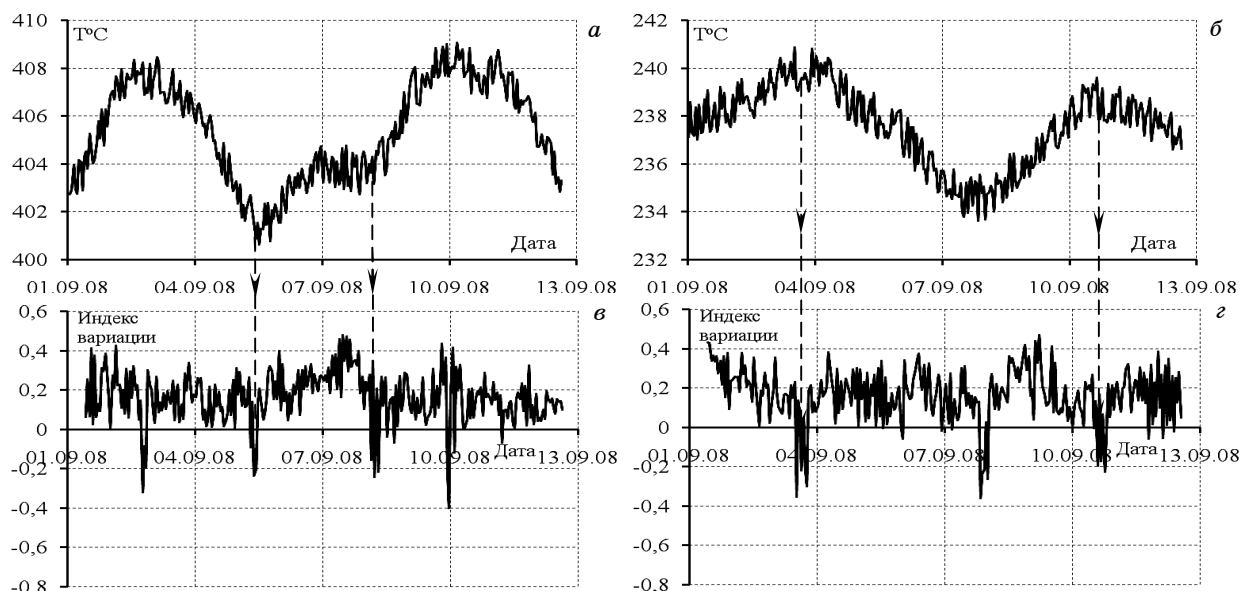


Рис. 3. Динамика индекса вариации для натурального временного ряда данных:
а, б – натуральный ВРД, в, г – динамика индекса вариации

4. Задача экстраполяции контролируемых ВРД с применением показателей сложности

Для решения этой задачи разработана методика экстраполяции ВРД с применением показателей сложности. Эффективность разработанного подхода подтверждена сравнительным анализом результатов экстраполяции трендовой составляющей контролируемых величин технологических объектов управления с применением комплексного и энтропийного показателей сложности на натуральных данных, характеризующих температуру футеровки горна доменной печи (рис. 4).

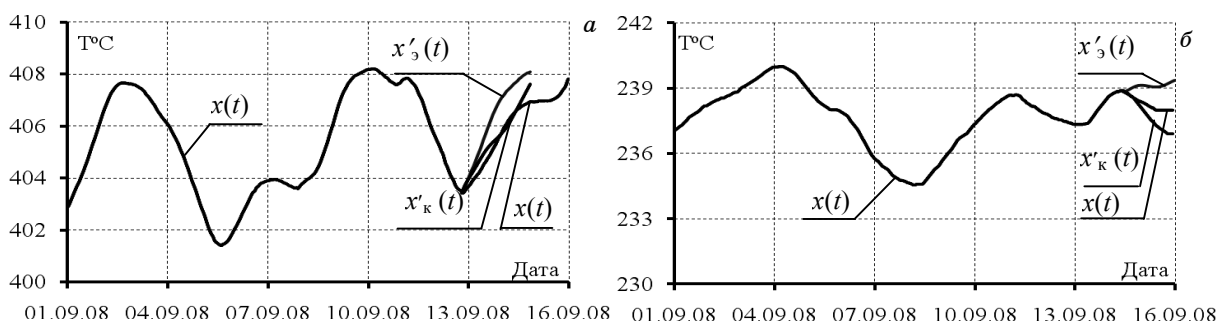
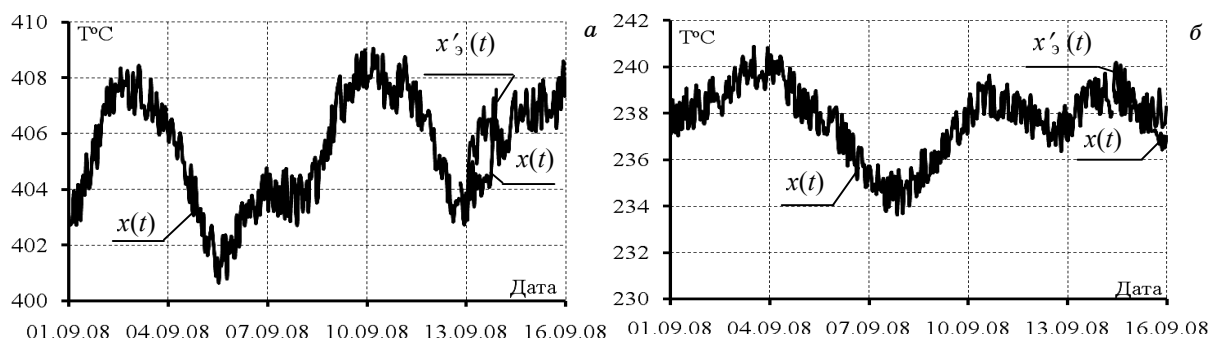


Рис. 4. Пример экстраполяции с применением комплексного и энтропийного показателей сложности:
а, б – графики температуры горна; $x(t)$ – фактический ВРД;
 $x'_k(t)$, $x'_s(t)$ – экстраполируемый участок

Полученная среднемодульная ошибка экстраполяции не превышает ошибку измерения. Однако комплексный показатель сложности целесообразно использовать только при экстраполяции трендовой составляющей анализируемого ряда данных, содержащей полезную информацию для принятия управляющих воздействий.

Применение энтропийного показателя позволяет экстраполировать не трендовую составляющую ВРД, а непосредственно сам контролируемый помехоискаженный ВРД (рис. 5). Однако в данном случае значительно увеличивается объем базы данных типовых структурно-однородных участков, так как сохраняются непосредственно численные значения данных участков – прототипов. В случае же использования комплексного показателя сложности в рассматриваемой задаче в базе данных хранится математическая модель соответствующего участка – прототипа.

На рис. 6 приведен пример экстраполяции по разработанной методике с использованием индекса вариации. Использование данного показателя сложности в рассматриваемой задаче значительно превосходит результаты, получаемые при использовании других показателей, и позволяет наряду с трендовой составляющей воспроизвести высокочастотную компоненту ВРД. Однако так же как и в случае с энтропийным показателем, объем базы данных, создаваемой для реализации разработанного метода, значительно больше, чем при использовании комплексного показателя сложности. Несмотря на необходимость создания объемной базы данных, использование индекса вариации в разработанном подходе решения задачи экстраполяции ВРД оправдано. В табл. 3 приведены значения среднемодульной ошибки экстраполяции с применением рассматриваемых показате-



лей.

Рис. 5. Пример экстраполяции с применением энтропийного показателей сложности: а, б – графики температуры горна доменной печи; $x(t)$ – фактический ВРД; $x'_3(t)$ – экстраполируемый участок

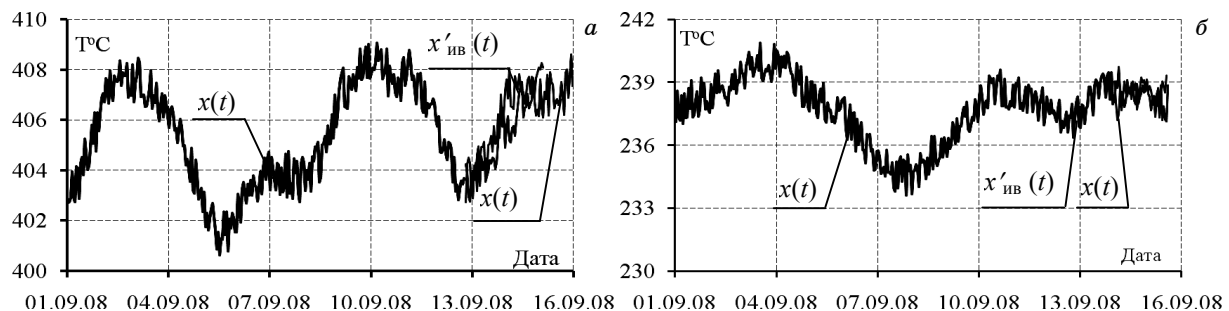


Рис. 6. Пример экстраполяции с применением индекса вариации: а, б – графики температуры горна доменной печи; $x(t)$ – фактический ВРД; $x'_{ив}(t)$ – экстраполируемый участок

Таблица 3

Рисунок		Среднемодульная ошибка (СМО) экстраполяции	
		а	б
Рис. 4	Энтропийный показатель	1,12	0,98
	Комплексный показатель	0,38	0,51
Рис. 5		2,17	0,84
Рис. 6		1,27	0,82

Заключение. Проведенные исследования подтвердили целесообразность экстраполяции контролируемых временных рядов данных с использованием показателей сложности. Конкретизация показателя сложности предопределяется принятыми ограничениями: прогнозировать трендовую составляющую либо обе компоненты контролируемого ВРД.

Литература

1. Волович М.И. Контроль и оценивание конвертерной плавки по косвенным параметрам / М.И. Волович, В.П. Авдеев, Я.Г. Парпаров. – Кемерово: Кем. кн. изд-во, 1989. – 124 с.
2. Дубовиков М.М. Размерность минимального покрытия и локальный анализ фрактальных временных рядов / М.М. Дубовиков, А.В. Крянев, Н.В. Старченко // Вестник РУДН. Сер. Прикладная и компьютерная математика. – 2004. – Т. 3, № 1. – С. 30–44.
3. Дарховский Б.С. О подходе к оценке сложности кривых / Б.С. Дарховский, А.Я. Каплан, С.Л. Шишкин // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 3. – С. 134–140.
4. Мизин Д.А. Оценка энтропии динамической системы // Автоматика и телемеханика. – 2002. – № 11. – С. 183–189.

Криволапова Людмила Ивановна

Канд. техн. наук, доцент каф. автоматизации и информационных систем
Сибирского государственного индустриального университета (СибГИУ), г. Новокузнецк
Тел.: (384-3) 74-88-06

Кравцова Ольга Александровна

Канд. техн. наук, ст. преподаватель каф. автоматизации производственных процессов
Кузбасской государственной педагогической академии (КузГПА), г. Новокузнецк
Тел.: (384-3) 74-63-46
Эл. почта: kravtsova_oa@kuz.ru

Krivilapova L.I., Kravtsova O.A.

The complexity index of controlled technological variables in the problems of automated control systems for metallurgical facilities

The article describes the methods of complexity index evaluation of time-dependent data sequences. The comparative analysis of the time-dependent data sequences' complexity index has been performed in the terms of their applicability to the problems of automated control systems in the metallurgical facilities. The model time sequences and full-scale time-dependent data sequences, which represent the metallurgical processes dynamics, are used as initial conditions.

Keywords: complexity index, time-dependent sequences of data, forecasting, structuring.