
**ИНФОРМАЦИОННЫЕ
ТЕХНОЛОГИИ
МОДЕЛИРОВАНИЯ
И УПРАВЛЕНИЯ**

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

Основан в 1994 г.

**2014
№ 2(86)**

Воронеж

Издательство «Научная книга»



2014

Кишенько В.Д., Барышников А.Н.
ОЦЕНИВАНИЕ ТИПОВ ПОВЕДЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ
ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕТОДАМИ НЕЛИНЕЙНОЙ
ДИНАМИКИ

Национальный университет пищевых технологий, г. Киев, Украина

Введение

Задача управления сложными технологическими системами усложнена вследствие нелинейности характеристик объекта, его многомерности, наличия многочисленных сложных связей, протекания сложных переходных процессов, возникновения критических и хаотических режимов, и заключается в оперативном своевременном распознавании критических состояний в поведении объекта и создании превентивных действий, направленных на устранение причин появления этих изменений.

Для эффективного управления сложными нелинейными объектами возникает необходимость определения наличия устойчивых многообразий (аттракторов) - областей притяжений фазовых траекторий объекта, а в случае хаотического поведения - странных аттракторов, которые имеют фрактальную размерность.

Наиболее перспективным приложением теории нелинейных систем с хаотическим поведением является прогнозирование динамики порождаемых этими системами временных рядов. Временные ряды технологических переменных - это, своего рода, модель поведения объекта управления: в своем составе определяет всевозможные его особенности; представляет структурные связи объекта, его причинно-следственные отношения, характеризует нестационарность объекта, обуславливает влияния внешних воздействий и т.п. Анализ временных рядов существенно усложняется нелинейностью динами-

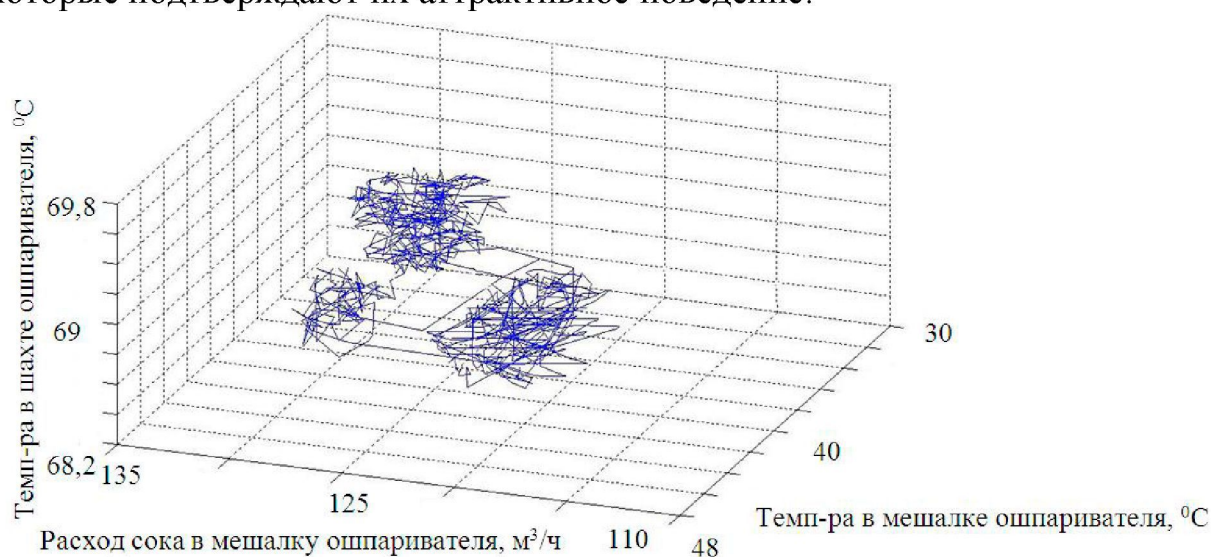
ческих характеристик сложного объекта управления, которые приводят к разнообразным проявлениям в поведении, включая кардинальные изменения. Задача выявления этих особенностей требует разработки и использования различных методов и технологий, направленных на оценку характеристик объекта, адекватной ситуационным проявлениям поведения объекта и его развития. Причем, результаты обработки временных рядов должны в максимальной мере обеспечивать оптимальную реализацию прикладных функций прогнозирования и принятия решений по управлению. Среди таких методов выделяют статистические, вероятностные, логические, нечеткие и нейросетевые, эвристические, методы нелинейной динамики [1].

Нелинейная динамика является научной методологической платформой, позволяющей анализировать движение разнообразных сложных динамических систем на основе объективных законов их развития. Теория хаоса, как один из направлений нелинейной динамики, исключительный инструмент, позволяющий выявить глубинную сущность технологических процессов, которая часто является скрытной и неявной.

Анализ поведения сложной технологической системы

Рассмотрим поведение сложного объекта на примере технологического комплекса сахарного предприятия.

В процессе анализа временных рядов методами нелинейной динамики [2] наиболее важным вопросом является вопрос о том, содержит ли фазовая траектория рассматриваемого объекта аттрактор [3]. На рис. 1 наведены фазовые портреты объектов управления (диффузионного аппарата и сатуратора), которые подтверждают их аттрактивное поведение.



Серьезной проблемой в моделировании и прогнозировании временных рядов, содержащих хаотическую компоненту, является их неустойчивость к шумовым возмущениям. Эта вариабельность приводит к необходимости фильтрации временных рядов от шума, причем с учетом разнообразия и различной степени интенсивности действия шумов, их неравномерного спектра на различных временных промежутках. Мощным инструментом исследова-

ния нестационарных сигналов является вейвлет-анализ, направленный на выделение сегментов, имеющих существенные локальные особенности по времени и частоте (разрывы, бифуркации, изломы характеристик, наличие шумов), и выявления их характерных проявлений [4].

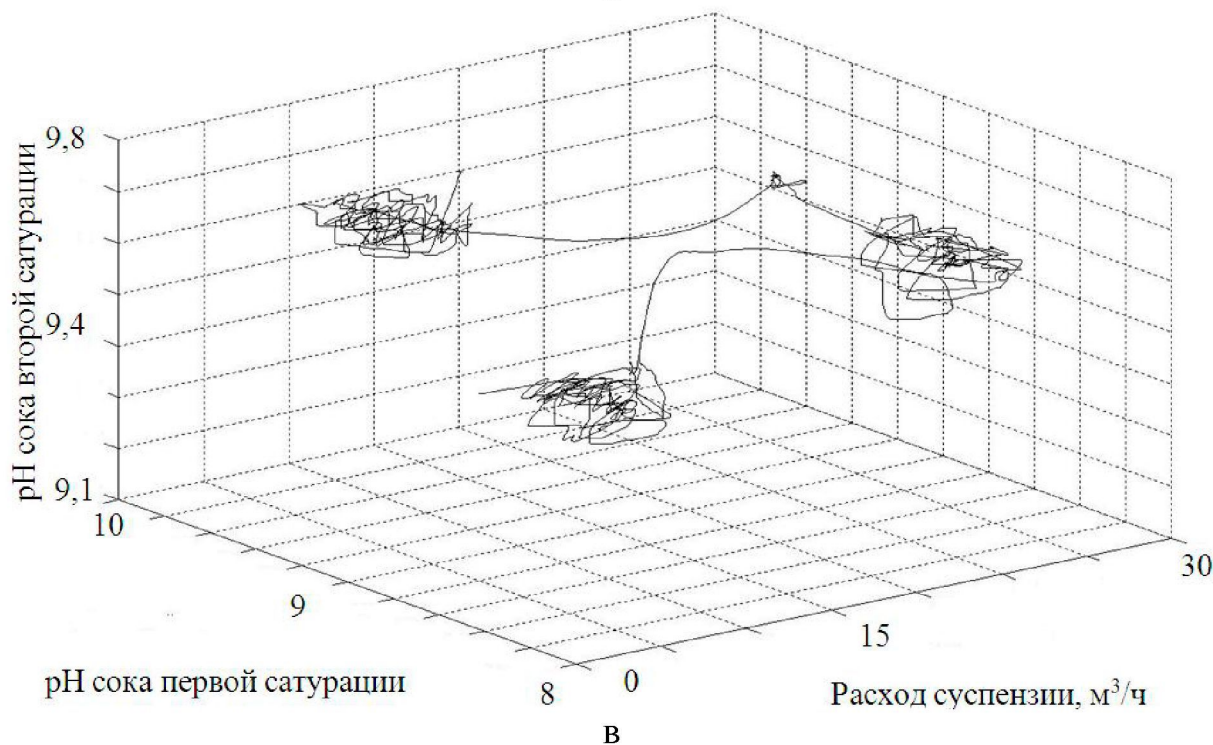
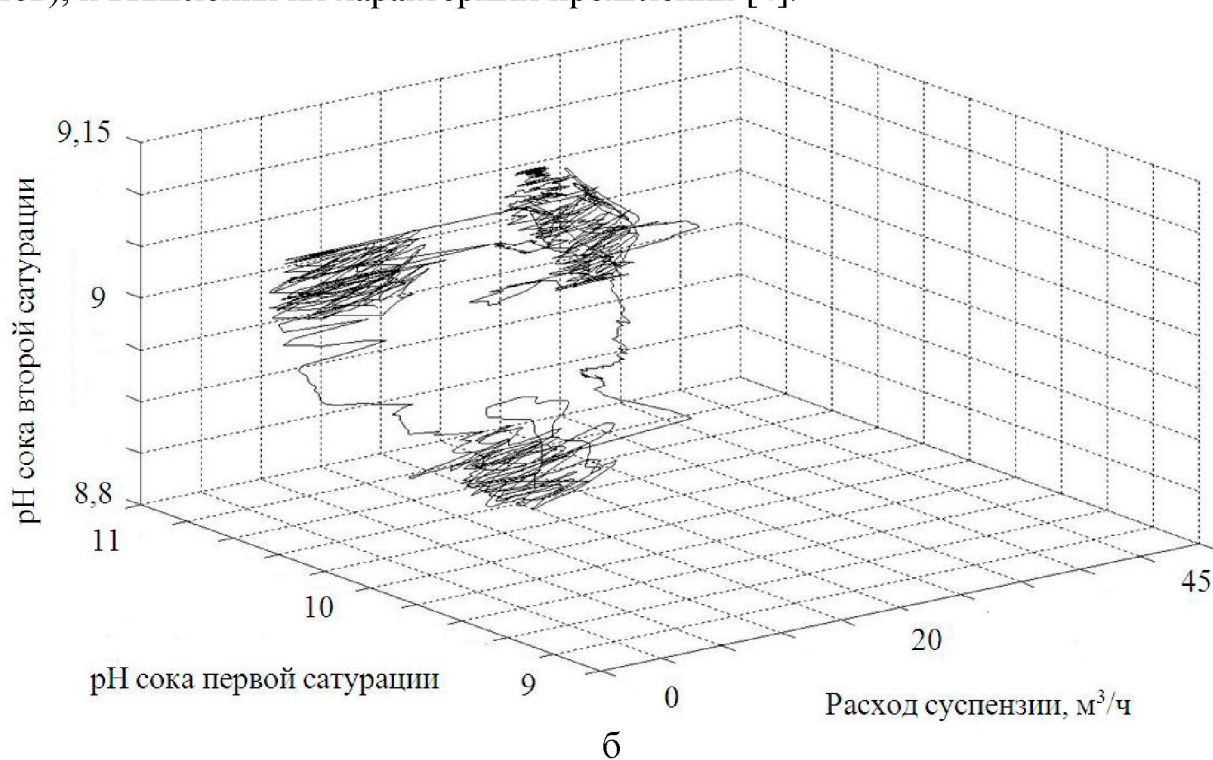


Рис.1. Фазовые портреты объектов, имеющих аттрактивное поведение: а – ошпаривателя диффузионного аппарата; б,в - сатуратора

Исходя из теоремы Такенса, по временному ряду единственной переменной сложной нелинейной системы, можно установить многие свойства поведения системы, определить топологию аттрактора, оценить размерность

(емкость) объекта, идентифицировать структуру и параметры прогнозирующих предиктор-функций.

В этой связи, одними из самых активно развивающихся методов стали методы нелинейной динамики, Моделирование в них осуществляется многомерными разностными уравнениями

$$X_{n+1} = F(X_n, C) \quad (1)$$

или дифференциальными уравнениями

$$\frac{dx}{dt} = F(X, C) \quad (2)$$

где X – вектор состояния; F – вектор-функция; C – вектор параметров; n – дискретное время; t – непрерывное время.

Традиционно модель создается на основе наиболее существенных с точки зрения каузальности факторов в соответствии с фундаментальными природными закономерностями и априорными знаниями об объекте. Для сложных объектов характерными есть проявления локальной изменчивости структуры, что приводит к изменению емкости (размерности вложения) системы, соответственно, к изменению структуры и параметров уравнений моделей, описывающих ее поведение.

Нелинейная динамика согласно с теорией катастроф Тома [5] и концепцией русел и джокеров Малинецкого [6] устанавливает горизонты прогнозирования только на определенных интервалах времени (сегментах), от одной точки бифуркации до другой, или только на участках русел (Малинецкий), где система изменяется более-менее стабильно, а возникновение бифуркаций (джокеров) носит вероятностный характер. Исходя из этого, проблема корректного разбиения фазового пространства сложной динамической системы с хаосом и идентификации на основе этих разбиений необходимых характеристик для задач прогнозирования и управления путем построения локальных моделей, оптимизируемых для конкретного характера поведения объекта, является весьма актуальной.

Необходимое разбиение фазового пространства на области определения локальных моделей основывается на методах обнаружения изменений некоторых характеристик объекта. Для того, чтобы успешно справиться с задачами моделирования, прогнозирования и управления сложными нелинейными объектами была разработана теория “русел” и ”джокеров”. ”Джокеры” являются областью в фазовом пространстве, в которой поведение системы есть плохо предсказуемым и носит случайный характер. В противоположность ”джокерам” “русла”- это области достаточно устойчивого и, соответственно, прогнозируемого поведения.

Как известно, есть такие причины появления джокеров в фазовом пространстве в динамической системе [7]:

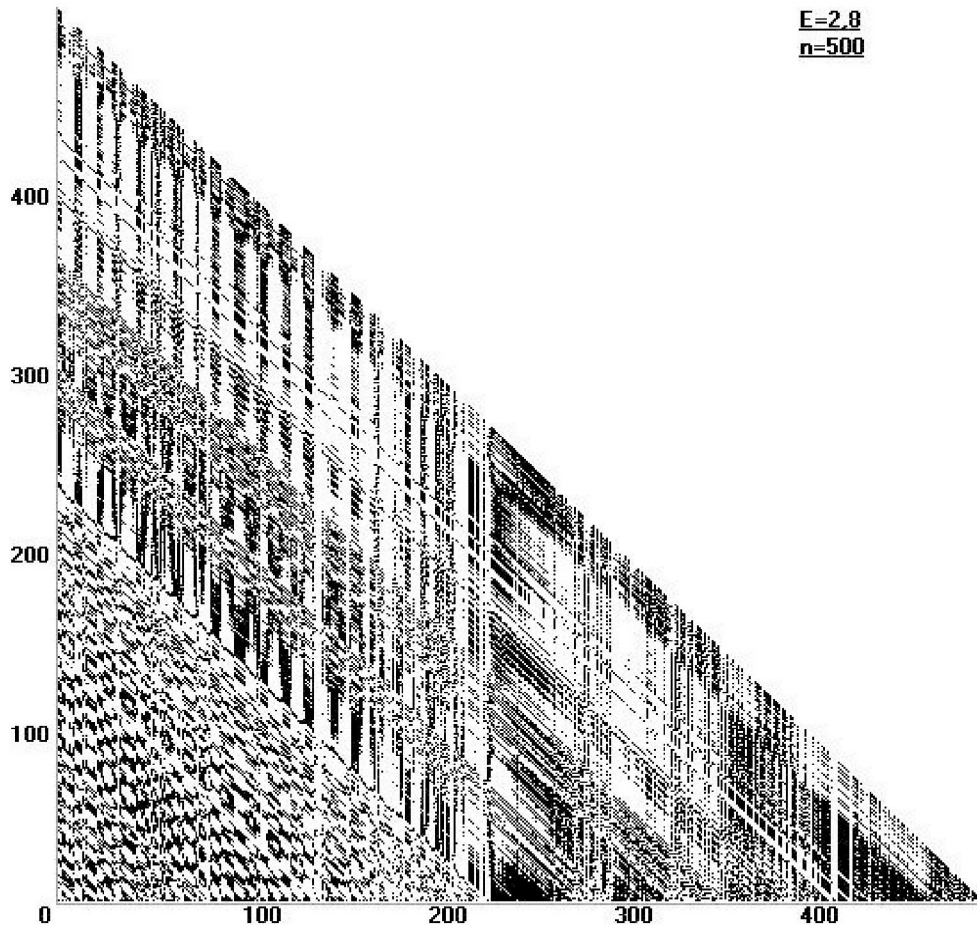
- локальная неустойчивость системы, имеющей хаотическое поведение, которая, чередуясь с устойчивым движением, формирует странные аттракторы;
 - сильная перемежаемость, когда происходит смена режимов поведения с относительно высокой скоростью;
 - вследствие влияния внешних шумов в локальных областях;
-
-

- система характеризуется высокомодовым движением;
- в объекте происходят быстрые системные изменения, в том числе и критические.

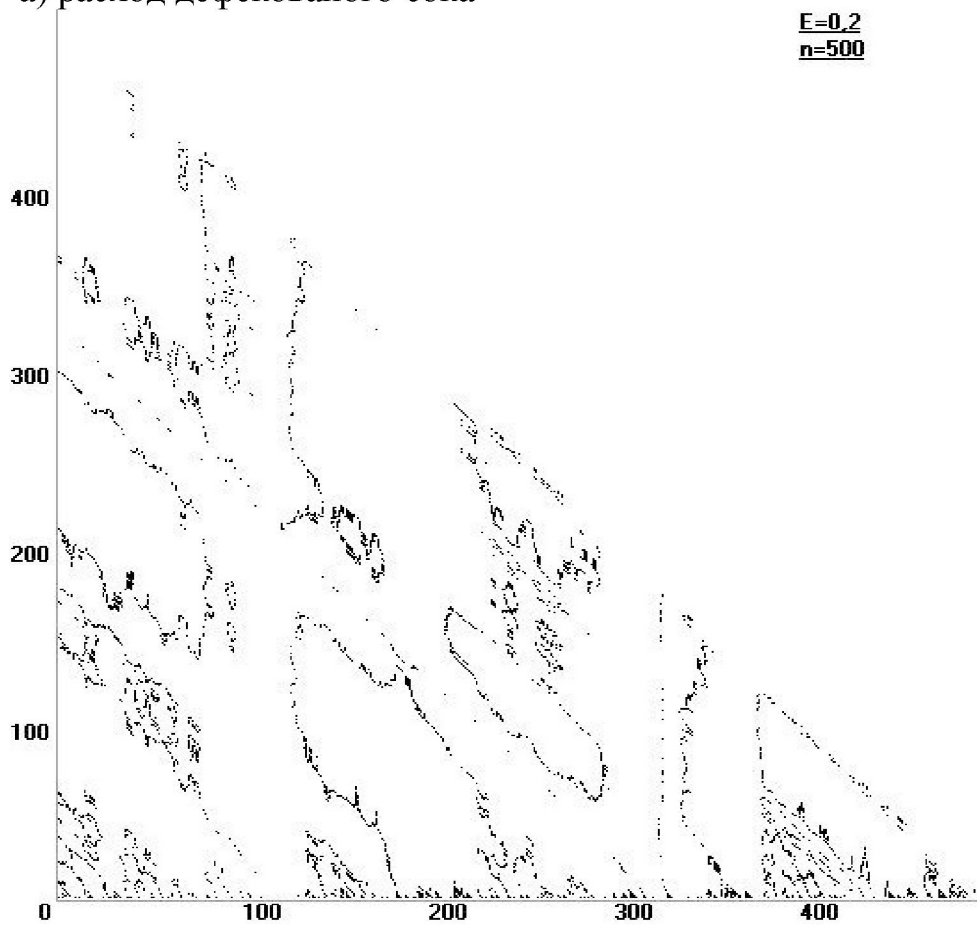
Для обоснования ответа на важный вопрос о содержании в траектории рассматриваемого временного ряда технологической переменной странного аттрактора к настоящему времени разработан ряд алгоритмов и тестов, которые получили название метрических тестов (вычисление корреляционной размерности, максимального показателя Ляпунова, К-энтропии Колмогорова, BDS-тест, тест остатков Брока, фрактальный анализ). В последнее время наметилась тенденция использования так называемых графических тестов в процессе моделирования временных рядов методами нелинейной динамики. Можно выделить в этом графический тест хаоса, предложенный Гилмором [8]. Этот тест выявляет неустойчивые квазипериодические периоды, заключенные в странном аттракторе. Для обнаружения таких орбит в анализируемом временном ряде наиболее удобным по своей реализации представляется подход, который можно называть термином «разложение фазового портрета на квазициклы». Этот метод обеспечивает хорошую визуализацию структурных особенностей временных рядов.

Графический тест хаоса Гилмора выявляет неустойчивые периодические орбиты, заключенные в странном аттракторе. Исходным объектом для выполнения теста является временной ряд $\{x_t\}$ [9]. Если какое-то наблюдение x_t окажется возле периодической траектории, то следующие наблюдения будут продвигаться вдоль этой траектории в течение некоторого времени, пока не удалятся от нее. Если наблюдения продвигаются вдоль траектории значительное время, то они вернутся в окрестность точки x_t через некоторый интервал времени τ , где τ указывает длину цикла, измеренную в единицах выборочных интервалов. Это означает, что $|x_t - x_{t+\tau}|$ будет малым. Далее x_{t+1} будет возле $x_{t+1+\tau}$, x_{t+2} будет возле $x_{t+2+\tau}$ и так далее. Таким образом, имеет смысл поискать серии последовательных данных, для которых $|x_t - x_{t+\tau}|$ мало. Для того, чтобы обнаружить эти области “тесного возврата” в множестве данных, нужно построить специальным образом раскрашенный график. Вычисляются все разности $|x_t - x_{t+\tau}|$. Если разность меньше, чем ε , то это обозначается на графике черным цветом, если больше, чем ε , то обозначается белым.

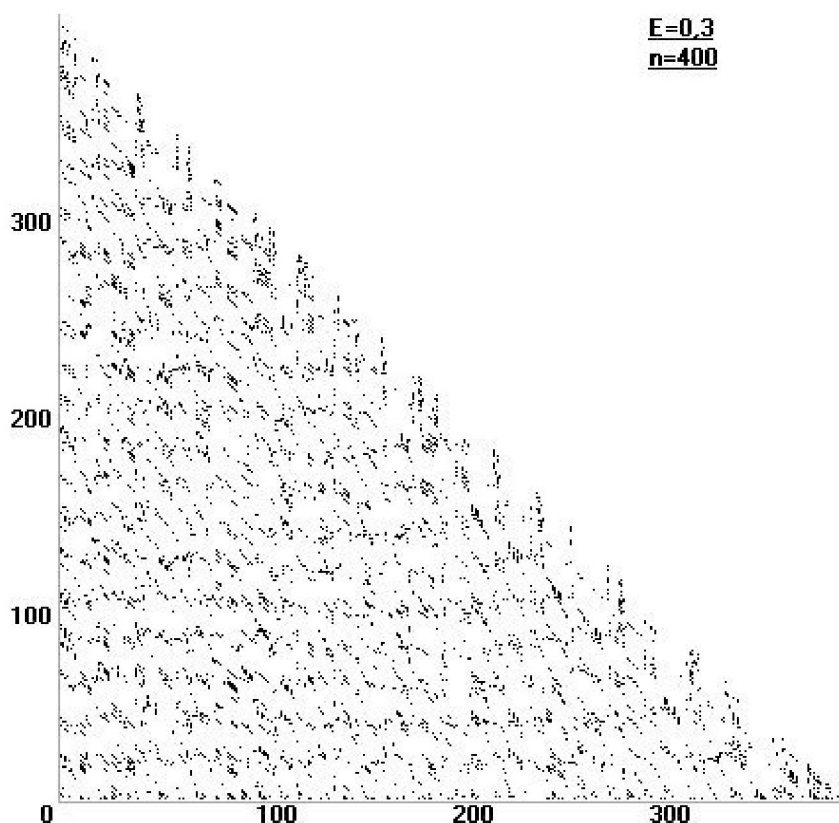
По горизонтальной оси откладывается номер наблюдения t , где $t = (1, 2, \dots, T)$, а вертикальная ось обозначается через τ , где $\tau = (1, 2, \dots, T - t)$. На наличие тесного возврата в данных указывают горизонтальные отрезки прямых. В то время как, если множество данных стохастично, возникнет область равномерно распределенных черных точек [9]. На рис. 2 наведены результаты проведения теста Гилмора для ряда временных рядов технологических переменных свеклосахарного производства. Как видно, наблюдаются разные проявления в поведении объекта управления: наличие интервальных



а) расход дефектованого сока



б) температура сока в шахте ошпаривателя



в) расход диффузионного сока

Рис. 2. Графический тест Гилмора технологических переменных

джокеров и русел (рис.2а), существование квазипериодических орбит (рис.2б), стохастическое поведение (рис.2в). Существуют методы, основанные на анализе некоторых метрических характеристик наблюдаемых временных рядов, которые обеспечивают обнаружение локальных областей различного поведения объекта, причем идентификация математических моделей есть необязательной. Одним из эффективных методов анализа временных рядов по оценке характера поведения объекта управления является R/S -анализ. Характеристикой типа поведения в этом случае является показатель Херста H , который определяется через размах R изменения значений на отрезке времени Δt и рассчитанное на этом отрезке стандартное отклонение S [10]:

$$H = \ln\left(\frac{R}{S}\right) / \ln(\Delta t) \quad (3)$$

Показатель Херста связан с фрактальной размерностью D следующим образом

$$D = 2 - H \quad (4)$$

Зная значения фрактальной размерности D , можно оценить размерность вложения m по формуле Такенса

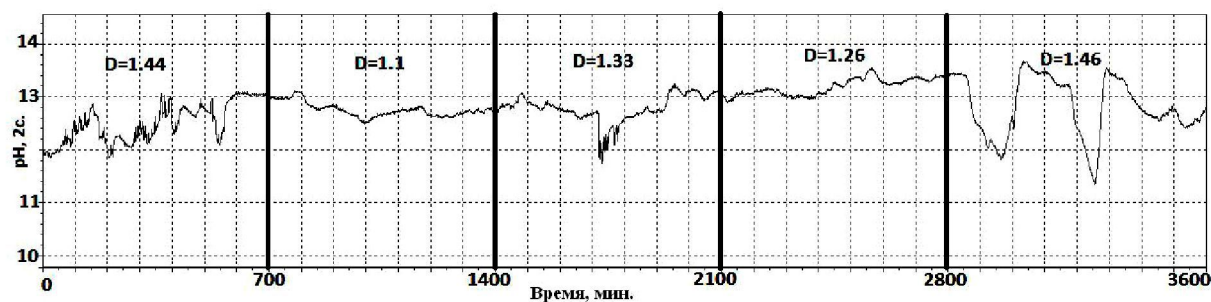
$$m > 2D + 1 \quad (5)$$

Кроме того, размерность вложения можно оценить на основе корреляционной размерности, а также методами ложных соседей и главных компонент.

Свойства временного ряда зависят от того, в какой промежуток попадает оцененное значение показателя Херста или фрактальной размерности.

Ряды с $0,5 < H < 1$ называются персистентными, или рядами с поддерживающимся поведением. В таких рядах, если значение наблюдаемой величины увеличивалось в течение некоторого периода, то можно ожидать, что оно будет увеличиваться еще некоторое время. Говорят, что такие ряды обладают долговременной памятью.

Ряды с $0 < H < 0,5$ называются антиперсистентными, для них характерно, что после возрастания значения наблюдаемой переменной обычно происходит ее уменьшение. Ряды с $H=0,5$ являются стохастическими. На рис. 3 показано, каким образом меняется характер поведения объекта: происходит чередование режимов от детерминированного до стохастического или хаотического.



а



б

Рис.4. Изменение фрактальной размерности временного ряда pH второй сатурации: а – поsegmentные изменения; б – непрерывные изменения

Заключение

Представленная методика анализа временных рядов технологических переменных позволяет определить характер поведения сложного нелинейного объекта и выбрать в соответствии с ситуацией необходимый аппарат идентификации моделей для целей прогнозирования и управления.

Список использованных источников

1. Букреев В.С., Колесникова С.И., Янковская А.Е. Выявление закономерностей во временных рядах в задачах распознавания состояний динамических объектов. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2010. – 254 с.
2. Горшков В.А., Касаткин С.А. Идентификация временных рядов авиационных событий методами и алгоритмами нелинейной динамики. – М.: Бланк Дизайн, 2008. – 208 с.
3. Анищенко В.С. Знакомство с нелинейной динамикой. – М.-Ижевск: Институт компьютерных исследований, 2002. – 144 с.
4. Зигунов А.М., Кишенько В.Д. Фильтрация оперативной информации в подсистеме технологического мониторинга диффузионным отделением сахарного завода// Восточно-Европейский журнал передовых информационных технологий. – Харьков, 2010 – 1/7 (43). – С. 10-13.
5. Арнольд В.И. Теория катастроф. – М.: Едиториал УРСС, 2007. – 127 с.
6. Белайчук Л.В., Малинецкий Г.Г. Как обнаружить джокер в эксперименте// Математика. Компьютер. Образование. под ред. Г.Ю. Ризниченко – Вып. 5. – Ч. II. – М.: Изд-во Прогресс-Традиция, 1998. – С. 17-31.
7. Pozdnyakova A.Y., Sergeeva L.N. Application of a graphical test for analyzing dynamic systems with a joker// Journal of Mathematical Sciences. 107(6), p.4477-4481, 2001.
8. Gilmore C.G. A new test for chaos// Journal of economic behaviour and organization, №22, 1993. – P. 209-237.
9. Сергеева Л.Н. Моделирование поведения экономических систем методами нелинейной динамики (теории хаоса). – Запорожье: ЗГУ, 2002. – 227 с.
10. Петерс Э. Хаос и порядок на рынках капитала. Новый аналитический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка. – М.: Мир, 2000. – 333 с.