

Петросянц Константин Орестович – Московский государственный институт электроники и математики (технический университет); e-mail: eande@miem.edu.ru; 123022, г. Москва, Б. Трехсвятительский пер., 3.; тел./факс: 84992355042; кафедра электроники и электротехники; зав. кафедрой; д.т.н.; профессор.

Кожухов Максим Владимирович – e-mail: includ@mail.ru; аспирант.

Попов Дмитрий Александрович – e-mail: jantor@tushino.com; аспирант.

Орехов Евгений Вадимович – Институт проблем проектирования в микроэлектронике Российской академии наук; e-mail: e.orekhov@miem.edu.ru; 124365, г. Москва, Зеленоград, ул. Советская, 3; тел.: 84997299890; научный сотрудник.

Petrosyants Konstantin Orestovich – Moscow State Institute of Electronics and Mathematics (Technical University); e-mail: eande@miem.edu.ru; 3, B. Tryokhsvyatitelskiy side-street, Moscow 109028, Russia; phone/fax: +74992355042; the chair of electronics and electrical engineering; head of chair; dr. of eng. sc., professor.

Kozhukhov Maxim Vladimirovich – e-mail: includ@mail.ru; post-graduate student.

Popov Dmitry Alexandrovich – e-mail: jantor@tushino.com; postgraduate student.

Orekhov Evgeny Vadimovich – Institute for Design Problems in Microelectronics of Russian Academy of Sciences; e-mail: e.orekhov@miem.edu.ru; 3, Sovetskaya street, Moscow 124365, Russia; phone: +74997299890; research fellow.

УДК 51-74

А.О. Козлов, А.М. Великанов, С.Г. Валеев

МЕТОДИКА ОБРАБОТКИ ТЕХНОГЕННЫХ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ НА ОСНОВЕ АДАПТИВНЫХ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕГРЕССИЙ

Для повышения эффективности управления технологическим процессом предложена методика прогнозирования значений характеристик технологического процесса на основе адаптивных динамических регрессий, обеспечивающих по сравнению с классическими регрессионными моделями повышение точности до нескольких раз. Дано описание этапов методики и моделей, включаемых в комплексную модель процесса. В качестве примера рассматриваются характеристики смазочно-охлаждающей жидкости, используемой при обработке металлов, и результаты вычислительных экспериментов по данным на одном из промышленных предприятий. Показаны результаты моделирования одного из параметров смазочно-охлаждающей жидкости.

СОЖ; эффективность управления; прогнозирование состояния; адаптивные регрессии.

A.O. Kozlov, A.M. Velikanov, S.G. Valeev

ANTHROPOGENIC TIME SERIES ANALYSIS METHOD BASED ON ADAPTIVE DYNAMIC REGRESSIONS

To improve efficiency of the process control the method of forecasting values of characteristics of technological process based on adaptive dynamic regressions is proposed. Method improves accuracy over classical regression models up to several times. A description of method is given. Also, models to be included in a comprehensive model of the process are described. As an example, we consider characteristics of lubricant-coolant which is widely used on metal-working plants. Results of computational experiments on data taken from one of the metal-working industry factory are described. Simulation results of one of the parameters of lubricant-coolant are shown.

Lubricant-coolant; management effectiveness; prediction of the state; the adaptive regression.

Проблема контроля, диагностики и восстановления характеристик технологического процесса является одной из наиболее актуальных в настоящее время. Например, при обработке металла применяется смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), характеристики которых изменяются и должны контролироваться. Измерения показателей качества жидкости необходимы также в системах очистки воды; в этом случае от возможности контроля и восстановления характеристик зависит здоровье человека. Очевидно, чем ранее обнаруживается потеря полезных свойств жидкости, изменение ее характеристик, тем эффективней будет конечный результат.

Анализ данных с применением методов временных рядов используется в экологических и гидрологических приложениях. Например, при исследовании качества атмосферного воздуха анализ показал статистически значимую зависимость между содержанием в воздухе респираторных фракций пылевых частиц и смертностью как от респираторных, так и сердечно-сосудистых заболеваний.

При рассмотрении характеристик жидкофазных объектов [1] были исследованы нестационарные ряды. Для представления временных рядов в стационарном виде использовался метод задержек. Использовалось выделение тренда, удаление (детрендинг) от исходного ряда сглаженного временного ряда по размеру окна имеющего ширину полного периода регистрации процесса. Сглаживание проводилось с помощью окна Хэмминга. Использование методов временных рядов позволило выявить статистически значимые различия для рассматриваемых жидкостей наиболее полно.

Задачей данного исследования является анализ, синтез и разработка эффективных алгоритмов идентификации и прогнозирования характеристик жидких сред. Повышение точности решения этой задачи может быть обеспечено применением вместо классических адаптивных регрессий.

В статье описывается методика прогнозирования значений характеристик жидких сред на основе адаптивных динамических регрессий (АДР) и результаты вычислительных экспериментов по данным на одном из промышленных предприятий.

Временной ряд – это процесс $Y(t)$, наблюдаемый в равноотстоящие дискретные моменты времени $t = t_1, t_2, \dots, t_n$:

$$Y(t) = f(t) + p(t) + e(t), t = t_1, t_2, \dots, t_n,$$

где $f(t)$ – неслучайная функция тренда; $p(t)$ – случайная с элементами регулярности функция; $e(t)$ – нерегулярная случайная компонента.

Подход динамического регрессионного моделирования (ДРМ) позволяет строить прецизионные модели временных рядов (ВР), что показано, например, в работе [2]; при этом точность прогнозирования таких моделей в несколько раз выше, чем при использовании стандартных методик.

При применении ДРМ-подхода формируется комплексная модель ВР, состоящая из набора оптимальных математических структур, каждая из которых описывает зависимость «остатков» своей ступени от времени. Таковую модель можно назвать АДР-моделью. В ней основным аргументом является время, а окончательный вид формируется в результате вычислительной адаптации к свойствам остатков ступеней к нарушениям условий применения МНК.

Методика получения АДР моделей включает несколько этапов [3]:

1. Выполняется фрактальный анализ для выявления степени регулярности.

2. Применяются алгоритмы, повышающие точность моделирования при аномальных данных и статистически незначимых слагаемых в структурах комплексной модели.
3. Используется набор наиболее вероятных структур (алгебраические и тригонометрические тренды, авторегрессии, структуры авторегрессионной условной гетероскедастичности, линейный фильтр Калмана, мартингал).
4. Реализуются сценарии автоматизированного моделирования и прогнозирования.

Исходными данными для вычислительных экспериментов послужил массив данных, представляющий собой значения параметров смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) ($x_1 - x_7$), измеренных через равные интервалы времени (сутки) в течение 173 дней на одном из предприятий г. Череповец. Матрица данных (173x7) делится на две части: (156x7) и (17x7). Первая часть использовалась для построения исходной модели; вторая часть (последние по времени измерения) – для оценки точности прогнозирования.

Каждый из столбцов матрицы данных рассматривается как отдельный временной ряд. В этом случае мы получаем набор из семи случайных процессов в дискретной равномерной шкале с суточным интервалом между наблюдениями. Технологии получения моделей временных рядов в виде адаптивных динамических регрессий описаны в работе [4].

В ходе вычислительных экспериментов было образовано семь временных рядов по 156 наблюдениям. Полученные модели, оптимальные по СКО аппроксимации S_{Δ} (АДР), в основном содержали трендовую, гармоническую и АРСС компоненты.

Таким образом, для каждого параметра были построены:

- ◆ комплексная модель АДР;
- ◆ график, построенный по реальным 156 наблюдениям параметра X_j и значениям построенной модели АДР;
- ◆ график, построенный по реальным 17 значениям параметра X_j контрольной части и значениям прогноза \hat{X}_j ;
- ◆ табл. 1 значений СКО S_{Δ} , полученных по формуле

$$S_{\Delta} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{17} (x_{ji} - \hat{x}_{ji})^2}{n-1}}$$

и характеризующих точность прогнозирования.

Ниже представлена оптимальная модель АДР и графики для показателя X_2 (рис. 1, 2) – присутствие посторонних масел в СОЖ:

$$\begin{aligned} x_2(t) = & 22,963 - 0,21578 \cdot t + 0,00094498 \cdot t^2 + 1,808 \cdot \sin((2\pi \cdot t) / 9 + 238,81) + \\ & 4,2737 \cdot \sin((2\pi \cdot t) / 25 + 97,928) + 2,3662 \cdot \sin((2\pi \cdot t) / 29 + 180,84) + \\ & 3,3328 \cdot \sin((2\pi \cdot t) / 43 + 118,99) + 0,44805 \cdot x_2(t-1) - 0,11162 \cdot x_2(t-2) + \\ & 0,13074 \cdot e(t-1) + n(t) + s(t) + e(t). \end{aligned}$$

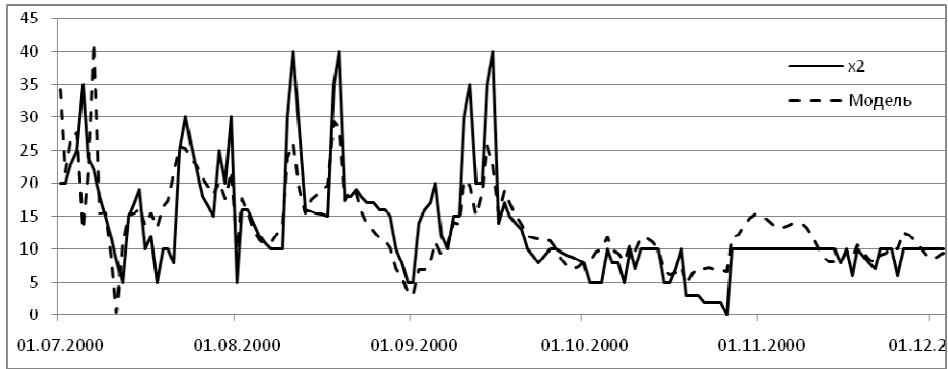


Рис. 1. График наблюдений и аппроксимации с помощью модели АДР для показателя x_2



Рис. 2. График наблюдений и прогноза для x_2

Таблица 1

Значение ошибки прогнозирования S_{Δ} для АДР-моделей по параметрам СОЖ

	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7
$S_{\Delta}(\text{АДР})$	15,17	5,24	33,97	0,28	38,11	0,15	4,62

По данным табл. 1 можно отметить, что построенные оптимальные модели дают возможность предсказывать будущие состояния смазочно-охлаждающей жидкости по большинству её параметров, используя адаптивные динамические регрессии. Построенные оптимальные модели дают возможность предсказывать будущие состояния СОЖ по большинству её параметров, используя адаптивные динамические регрессии.

В работе показана возможность применения таких регрессий для моделирования и прогнозирования состояний жидкости для последующего планирования и оптимизации производственных и иных, связанных с предметом исследования, процессов.

Системы одновременных АДР позволяют увидеть зависимости одной характеристики временного ряда от другой, что также является немаловажным в сфере управления производством.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Коротков К.Г., Крыжановский Э.В., Короткина С.А., Борисова М.Б., Вайншельбойм А., Матраверс П., Момох К., Петерсон П., Хайес М., Шаас Н.* Исследование временных рядов характеристик газоразрядного свечения жидкофазных объектов // Известия вузов. Приборостроение. – 2003. – Т. 45, № 6. – С. 18-24.
2. *Валеев С.Г., Кузин С.П., Татевян С.К., Фасхутдинова В.А.* Статистическое моделирование временных рядов изменений координат // Геодезия и картография. – 2010. – № 10. – С. 9-14.
3. *Валеев С.Г., Кувайскова Ю.Е.* Программное обеспечение обработки временных рядов техногенных характеристик // Обозрение прикладной и промышленной математики. – 2009. – Т. 16. – Вып. 6. – С. 1038-1039.
4. *Соболев Г.А. Валеев С.Г., Фасхутдинова В.А.* Мультигармоническая модель сейсмичности Камчатки // Физика Земли. – 2010. – № 12. – С. 3-18.
5. *Валеев С.Г., Кузин С.П., Татевян С.К., Фасхутдинова В.А.* Статистическое моделирование временных рядов изменений координат геоцентра // Геодезия и картография. – 2010. – № 10. – С. 9-14.

Статью рекомендовала к опубликованию д.т.н. А.А. Стецко.

Козлов Александр Олегович – Ульяновский государственный технический университет; e-mail: alexander.o.kozlov@gmail.com; 432027, г. Ульяновск, ул. Северный Венец, 32; тел.: +78422347734; кафедра прикладной математики и информатики; аспирант.

Великанов Алексей Михайлович – e-mail: a.m.velikanov@gmail.com; кафедра прикладной математики и информатики; аспирант.

Валеев Султан Галимзянович – e-mail: sgv@ulstu.ru; кафедра прикладной математики и информатики; д.ф.-м.н.; профессор.

Kozlov Alexander Olegovich – Ulyanovsk State Technical University; e-mail: alexander.o.kozlov@gmail.com; 32, Severny Venets Street, Ulyanovsk, 432027, Russia; phone: +78422347734; the department of applied mathematics and information science; postgraduate student.

Velikanov Alexey Mikhailovich – e-mail: a.m.velikanov@gmail.com; the department of applied mathematics and information science; postgraduate student.

Valeev Sultan Galimzyanovich – e-mail: sgv@ulstu.ru; the department of applied mathematics and information science; dr. of phys.-math. sc.; professor.