

## ПРОГРАММНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ОБРАБОТКИ ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ

С. Г. Валеев, Ю. Е. Кувайскова,  
С.В. Куркина, В.А. Фасхутдинова

*ГОУ ВПО «Ульяновский государственный технический университет», г. Ульяновск*

*Рецензент Г.М. Куликов*

**Ключевые слова и фразы:** временной ряд; динамическое регрессионное моделирование; прогнозирование; программный комплекс.

**Аннотация:** Описывается программный комплекс «Автоматизированная система динамического регрессионного моделирования», предназначенный для разработки комплексных моделей процессов, представленных в форме временных рядов, с последующим их использованием для прогноза динамики ряда.

**Введение.** При моделировании динамики дискретных временных рядов (ВР) нередко сталкиваются с такими нарушениями схем регрессионного анализа, как высокая степень автокорреляционной зависимости между последующими и предшествующими членами ВР, ненормальность распределения остатков и другие. В связи с этим возникает задача комплексной обработки ВР с обязательной проверкой соблюдения предположений нормальной схемы Гаусса-Маркова и последующей адаптацией к их нарушениям.

Для прецизионной обработки и анализа ВР используется подход адаптивного динамического регрессионного моделирования (ДРМ) [1], реализованный в виде пакета программ – автоматизированной системы (АС) ДРМ [1, 3, 4, 6]. Этот подход позволяет повысить степень адекватности моделей ВР, оценив качество построенных моделей не только по внутренним, но и по внешним мерам качества.

**Структура программного комплекса.** Программный комплекс АС ДРМ разработан в среде программирования Borland Delphi 7.0. Интерфейс

---

Валеев С.Г. – доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Прикладная математика и информатика» УлГТУ; Кувайскова Ю.Е. – аспирант кафедры «Прикладная математика и информатика» УлГТУ; Куркина С.В. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и информатика» УлГТУ; Фасхутдинова В.А. – аспирант кафедры «Прикладная математика и информатика» УлГТУ, г. Ульяновск.

пакета состоит из различных графических компонентов: строк меню, панели инструментов, программных и диалоговых окон.

При воплощении алгоритмического кода программы использованы методы объектно-ориентированного программирования, что обеспечивает достаточно простую структуру пакета. Существует возможность разделения основных функций системы и добавления новых для реализации различных методов расчета.

При запуске программы на экране появляется окно-меню, перечисляющее предоставляемые АС ДРМ возможности: «Файл», «Правка», «Описание», «Моделирование», «Совместная обработка», «Сценарии обработки», «Критерии», «Сервис», «Окна», «Помощь», а также кнопки быстрого доступа к некоторым процедурам.

Пункт меню «Файл» включает набор стандартных действий: открыть; создать; сохранить; выход из программы. «Правка» позволяет осуществить работу с данными. «Сервис» предоставляет быстрый доступ к блокноту и калькулятору. Разделы меню «Окна» и «Помощь» несут в основном интерфейсную нагрузку, позволяя соответственно управлять расположением окон на экране и выводить справочную информацию о программе.

АС ДРМ имеет достаточно практичную структуру. Сочетание такой структуры с системой меню, диалоговым режимом работы и подробной справочной системой делает управление АС ДРМ достаточно удобным. Система проверяет данные на наличие ошибок перед запуском процедур с возможностью изменения заданных параметров.

АС ДРМ содержит информацию о своих возможностях и средствах. Значительная часть документации об основных этапах анализа, моделирования и прогнозирования динамики ВР присутствует в электронном справочнике пакета, использующем систему перекрестных ссылок. Гибкий порядок обращения к справочнику позволяет получить разъяснения как по сервисным процедурам, так и статистическим методам. АС ДРМ имеет удобный сервис и возможности по его расширению за счет наполнения банка используемых функций.

Для работы программы АС ДРМ необходима одна из операционных систем Windows 9x/Me/2000/XP, персональный компьютер, совместимый с IBM PC/AT – Pentium II и выше, со скоростью процессора от 900 МГц, 256 Мбайт оперативной памяти, 256 Мбайт свободной памяти на жестком диске.

При недостаточном объеме оперативной памяти система использует файл подкачки для увеличения размера доступной памяти. Как правило, максимальный размер файла подкачки ограничивается размером свободного места на жестком диске или пределом, заданным пользователем в системных параметрах операционной среды – общий объем необходимой памяти (оперативной и файла подкачки) может увеличиться от минимально необходимого 256 Мбайт до нескольких гигабайт.

**Функциональное наполнение АС ДРМ.** Модули анализа свойств ВР. Программный комплекс содержит широкий набор процедур и функций, необходимых для детального анализа ВР. Анализ данных в АС ДРМ позволяет:

- проводить статистическое исследование ВР (нахождение максимального и минимального элементов, среднего значения по столбцу, сумму и абсолютную сумму, смещенную и несмещенную дисперсии, коэффициент Дарбина-Уотсона);
- строить графики выбранных пользователем факторов в зависимости от времени, необходимые для визуального анализа рядов;
- проверять ВР на стационарность по критерию сдвига и рассеяния для заданного пользователем уровня значимости;
- сдвигать ряд относительно другого ряда для определения взаимного влияния рядов;
- находить радиус-вектор координат;
- центрировать данные для исключения свободного члена из модели;
- усреднять имеющиеся данные по дням, неделям, месяцам и годам;
- проводить спектральный анализ ряда с отображением его графика зависимости от частоты и периода и формированием данных по спектральной плотности от частоты и периода с нормировкой значения;
- проводить вейвлет-анализ ВР, для расчета которого выбирается фактор, масштаб вейвлета, временная локализация, ширина Гауссианы, а также режим отображения двумерно в цвете или трехмерно;
- исследовать спектрально-корреляционные свойства нестационарных процессов методом мультифрактального анализа, позволяющего вычислять фрактальную, информационную, корреляционную размерность, энтропию фрактального множества, парный корреляционный интеграл, фрактальные меры (экспоненты Гельдера, спектр сингулярностей, обобщенную фрактальную размерность); методом максимумов модулей вейвлет-преобразования рассчитывать и строить графики коэффициентов вейвлет-преобразований;
- методом фрактального анализа тестировать ВР на наличие свойства фрактальности (наличие «долговременной памяти» или «эффекта памяти»), реализующего проведение R/S анализа исходного ВР, построение R/S и H траекторий, формирование нечетких множеств, построение фазовой траектории для ВР, выполнение процедуры агрегирования.

*Моделирование ВР.* Пункт «Моделирование» предусматривает формирование:

- моделей простой регрессии (построение зависимости двух переменных, введенных пользователем);
- множественной регрессии (реализация метода Хаусхольдера – нахождения зависимости между несколькими независимыми переменными и зависимой переменной);
- гармонической модели выбранного фактора, в которой предполагаемые периоды/частоты для включения в модель можно оценить с помощью набора процедур: спектральный анализ или вейвлет-анализ, или методом включения с исключением, а также задавать нужные периоды/частоты вручную;
- авторегрессии с возможностью автоматического выбора порядка модели;
- простого и взвешенного скользящего среднего, реализующих замену исходного ряда данных усредненными значениями для серединной точки периода скольжения [3];

– авторегрессии скользящего среднего, то есть построение линейной модели множественной регрессии, в которой в качестве объясняющих переменных выступают прошлые значения самой зависимой переменной, а в качестве регрессионного остатка – скользящее среднее из элементов белого шума [3];

– мартингальной аппроксимации для сглаживания остаточных колебаний;

– моделей регрессии, в которых ошибка представляет собой случайный процесс типа GARCH (авторегрессионная условная гетероскедастичность) [2, 3];

– фильтра Калмана, представляющего собой рекуррентный алгоритм взвешенного сглаживания и прогнозирования ВР [6].

Результаты выполнения процедур моделирования ВР в виде остатков временного ряда добавляются в таблицу; на экран выводятся графики исходного и преобразованного ряда, а также таблицы значений коэффициентов модели и среднеквадратического отклонения (**СКО**).

*Комплексная модель.* Модуль предназначен для анализа комплексной модели и прогнозирования на ее основе. При моделировании выбирается фактор для исследования (исходная функция ВР или остатки того или иного порядка), строятся для него модели или выбираются построенные. Для прогноза необходимо выбрать интервал, на который он будет рассчитан.

*Сценарии обработки.* Автоматическое построение наилучшей аппроксимирующей модели по двум критериям – внутреннему и внешнему СКО. В модуле реализован прогноз модели на период, заданный пользователем. До расчета модели и построения прогноза можно выполнить спектральный анализ, статистическое исследование, тест на стационарность анализируемого ВР, а также построить графики ряда, автокорреляции и тренда.

*Анализ качества моделей и диагностика соблюдения условий применения метода наименьших квадратов (МНК) [4].* Программа содержит процедуру «Критерии» для анализа качества моделей по остаткам с использованием смешанных, внешних и внутренних мер соответствия. Для получения оптимальной модели в программе существует возможность диагностики соблюдения предположений регрессионного анализа (**РА**) и МНК.

*Совместная обработка [5, 6].* Проведение спектрального анализа выбранных факторов (построение всех его составляющих: кросс-периодограммы, коспектра, квадратурного спектра, кросс-амплитуды, фазового спектра, квадрата когерентности и усиления); отображение графиков зависимости от частоты и периода; формирование данных по составляющим спектрального анализа от частоты и периода с нормировкой значения.

**Особенности программного комплекса АС ДРМ.** В отличие от аналогичных пакетов (пакет «Statistica» и др.) в АС ДРМ включены последние разработки в области математического моделирования ВР. Очевидными преимуществами пакета АС ДРМ являются реализации:

- вейвлет-анализа, необходимого для исследования иррегулярных функций;
- мартингальной аппроксимации, позволяющей сглаживать остаточные колебания;
- фрактального и мультифрактального анализов, позволяющих исследовать спектрально-корреляционные свойства нестационарных процессов и определять трендоустойчивость ряда;
- комплекса авторегрессионных моделей условной гетероскедастичности, дающие возможность предсказывать изменение волатильности.

Реализации библиотек критериев качества моделей и диагностики соблюдения условий применения МНК являются явными преимуществами пакета АС ДРМ. Использование известных внутренних, а также смешанных и внешних статистических мер соответствия позволяет определить степень адекватности модели наблюдениям и ее пригодности для аппроксимации в данном выборочном пространстве. Результаты диагностики используются для поиска оптимальной структуры, удовлетворяющей условиям Гаусса-Маркова.

При построении и исследовании ряда моделей динамики выявлена более высокая эффективность АС ДРМ по сравнению с имеющимися пакетами в смысле минимума СКО [2, 4, 6]. Визуализация в АС ДРМ математической модели, описывающей динамику ВР, позволяет оценить физику процесса и смоделировать поведение ряда в будущем.

Несомненным достоинством АС ДРМ является комплексирование моделей в одну общую модель предсказания и осуществление прогноза на будущие моменты времени значений ВР с повышенной точностью.

**Заключение.** Обобщая вышеназванные возможности АС ДРМ, можно считать, что разработанное программное обеспечение позволяет обрабатывать ВР практически любого происхождения.

В настоящее время программный комплекс АС ДРМ развивается в двух направлениях: 1) для обработки ВР, порожденных природными процессами (в геофизике, астрофизике, сейсмологии и др.) [6]; 2) для обработки техногенных ВР, связанных с деятельностью человека (в технике, экономике, экологии и др.) [3].

Планируется дальнейшая модификация пакета с целью повышения удобства пользователей при работе с ним; перевод всех модулей на языки программирования с открытым кодом; включение в программное обеспечение дополнительных возможностей по обработке и анализу ВР различного происхождения с последующим тестированием.

#### *Список литературы*

1. Валеев, С.Г. Регрессионное моделирование при обработке наблюдений / С.Г. Валеев. – М. : Наука, 1991. – 272 с. (Валеев, С.Г. Регрессионное моделирование при обработке данных / С.Г. Валеев. – 2-е изд., доп. и перераб. – Казань : ФЭН, 2001. – 296 с.)
2. Валеев, С.Г. Использование ARCH-структур и фильтра Калмана для моделирования динамики технико-экономических показателей / С.Г. Валеев, Ю.Е. Кувайскова // Вестн. Ул. гос. техн. ун-та. – 2007. – №2. – С. 29–33.

3. Валеев, С.Г. Адаптация пакета АС ДРМ к решению экономических и производственных задач / С.Г. Валеев, Ю.Е. Кувайскова // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2008. – №2(12). – С. 60–63.

4. Валеев, С.Г. Программная реализация ДРМ-подхода для обработки и анализа временных рядов / С.Г. Валеев, С.В. Куркина // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2006. – № 5. – С. 10–21.

5. Валеев, С.Г. Кросс-спектральный анализ временных рядов / С.Г. Валеев, В.А. Фасхутдинова // Вестн. Ул. гос. техн. ун-та. – 2006. – №4. – С. 30–32.

6. Валеев, С.Г. Модификация программного комплекса АС ДРМ применительно к обработке гео- и гелиофизических данных / С.Г. Валеев, В.А. Фасхутдинова // Вопр. соврем. науки и практики. Ун-т им. В.И. Вернадского. – 2008. – №2(12). – С. 64–68.

---

### **The Software Package for Treatment of Time Series**

**S.G. Valeev, Yu.E. Kuvayskova,  
S.V. Kurkina, V.A. Faskhutdinova**

*Ulyanovsk State Technical University, Ulyanovsk*

**Key words and phrases:** time series; dynamic regression modeling; forecasting; software package.

**Abstract:** The paper describes the software package «The Computer-aided System of Dynamic Regression Modeling». This software package is intended for working out complex models of processes in the form of time series with their further application for forecasting the dynamics of series.

---

© С. Г. Валеев, Ю. Е. Кувайскова,  
С.В. Куркина, В.А. Фасхутдинова, 2008