УДК: 519.8 (075.8)
DOI: 10.20535/SRIT.2308-8893.2016.4.11

ИНТЕГРИРОВАННАЯ СИСТЕМА АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ НЕСТАЦИОНАРНЫХ ПРОЦЕССОВ

А.С. ГАСАНОВ

Аннотация. Предложена интегрированная система анализа и прогнозирования нестационарных временных рядов с целью повышения адекватности разрабатываемых моделей нестационарных процессов и качества оценок прогнозов, а также методика моделирования нестационарных процессов, состоящая из подготовки данных, оценивания структуры и параметров модели, вычисления оценок прогнозов. Приведены примеры использования этой системы для анализа и прогнозирования образования цен на продукцию производственной фирмы и прогнозирования финансовых процессов. Полученные результаты свидетельствуют о том, что интегрированная система анализа, моделирования и прогнозирования нестационарных процессов выполняет автоматизированную обработку данных, определяет автоматически класс и структуру модели, осуществляет выбор лучших прогнозирующих моделей.

Ключевые слова: анализ и прогнозирование, нестационарный процесс, интегрированная система, методика моделирования, временной ряд, повышение точности прогноза, адекватная модель.

Многие процессы, протекающие в различных сферах деятельности, характеризуются нелинейностью, нестационарностью, неопределенностью. Основные виды нестационарностей — переменная во времени дисперсия и тренд. Нелинейность, нестационарность и неопределенность значительно затрудняют построение математических моделей исследуемых объектов с целью их углубленного анализа, а существующие информационные системы не обеспечивают в должной мере качество и эффективность их исследования. Системы анализа и прогнозирования имеют следующие недостатки: высокую стоимость, низкое быстродействие вследствие универсальности вычислительных процедур, недостаточную точность прогноза; для их сопровождения требуются дополнительные затраты.

Актуальность создания интегрированной системы анализа и прогнозирования нестационарных процессов заключается в следующем: большинство современных финансово-экономических процессов имеют нестационарный характер и могут быть нелинейными (например, гетероскедастичность всегда сопровождается нелинейностью); отсутствуют системы автоматизированной обработки данных, которые могли бы обеспечить построение адекватной модели, а также вычисления краткосрочных и среднесрочных прогнозов приемлемого качества; некоторые системы имеют функции автоматизированной обработки данных, но они не приемлемы для использования из-за высокой стоимости (например, SAS имеет множество автоматизированных приложений).

Таким образом, существует необходимость комбинированного использования статистических методов и методов интеллектуального анализа данных с целью повышения качества прогноза, а также создания удобных интерфейсов, способных обеспечивать длительную работу оператора и адаптироваться к характеристикам пользователей различного уровня; существует необходимость быстрого расширения функциональных возможностей моделирующих систем для введения новых методов оценивания структуры и параметров моделей и вычисления оценок прогнозов, в том числе комбинированных.

Указанные обстоятельства определяют целесообразность создания интегрированной системы анализа и прогнозирования (ИСАП) нестационарных процессов.

Цель работы — изложение принципов построения архитектуры ИСАП, ее основных методов и алгоритмов, а также практических примеров, иллюстрирующих ее возможности.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Существует проблема создания системы, которая обеспечит решение задач анализа, моделирования и прогнозирования нестационарных процессов (НП) с высокой точностью, удобством и уменьшением затрат на подготовку исходных данных и их обработку.

Для этого необходимо: разработать методологию построения моделей на основе статистических данных; развить и использовать методы прогнозирования нестационарных временных рядов; осуществить интеграцию предложенных моделей, методов и программных средств для решения задач анализа, моделирования и прогнозирования НП; применить разработанную ИСАП к анализу, моделированию и прогнозированию реальных процессов и поддержки принятия решений на основе оценок прогнозов.

В предлагаемой ИСАП анализируются следующие типы процессов: линейные стационарные и нестационарные процессы; нелинейные нестационарные процессы.

Для класса НП временной ряд соответствует некоторому распределению

$$\{y(k)\} \sim R(\mu,\ \sigma_y^2)\,, \tag{1}$$

где R — тип распределения (класс нормальных, эллиптических и других распределений); μ — параметр среднего; σ_y^2 — параметр дисперсии;

$$\mu = f_\mu(\theta_\mu,\ k^P,\ \varepsilon_\mu) \neq \text{const},\ k \in [0, N]\,, \tag{2}$$

где p — порядок полинома, описывающего тренд; θ_μ — параметры полинома.

Дисперсию σ_y^2 можно представить в следующем виде:

$$\sigma_y^2 = f_\sigma(\theta_\sigma,\ k,\ x,\ \varepsilon_\sigma) \neq \text{const},\quad k \in [0, N]\,, \tag{3}$$

где θ_σ — параметры модели, описывающей дисперсию; k — время; x — независимые переменные, влияющие на дисперсию; ε_o — случайный процесс в модели дисперсии; N — длина выборки данных.

Для процессов (1)–(3) необходимо построить адекватные модели в автоматизированном режиме в таких классах:

$$y(k) = F[y(k-1), x^p(k), \theta, \varepsilon(k)],$$

где F — нелинейный оператор. Для авторегрессии со скользящим средним (АРСС) можно записать $A(q)y(k) = a_o + B(q)\varepsilon(k)$, где A, B — полиномы относительно оператора запаздывания.

АРХИТЕКТУРА СИСТЕМЫ ДЛЯ КОМПЛЕКСНОГО АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НП

Архитектура разработанной системы для комплексного анализа НП показана на рис. 1.

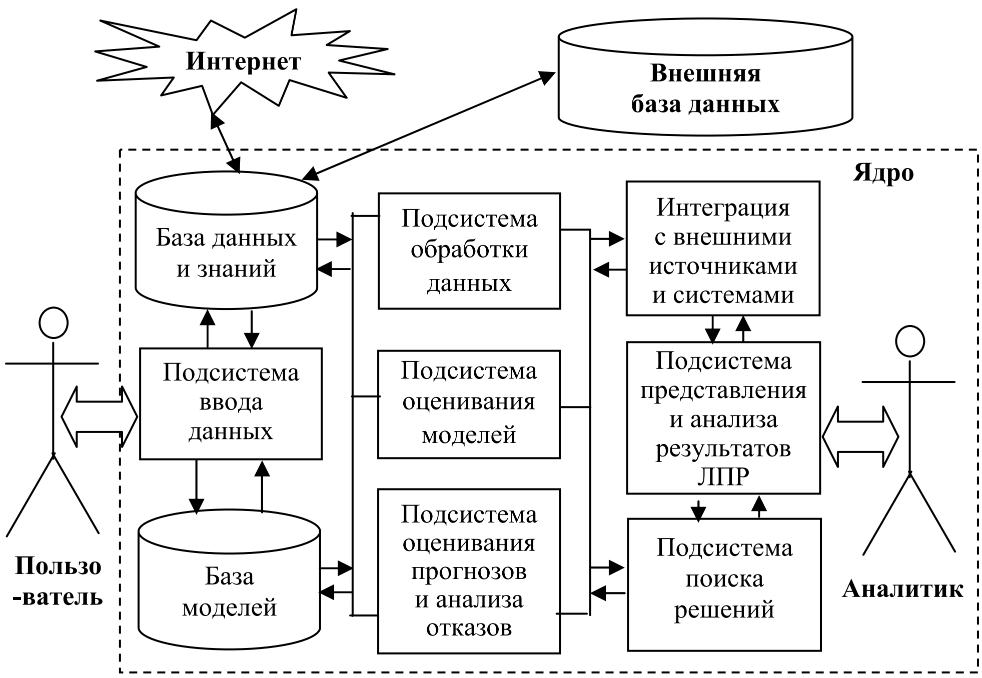

Рис. 1. Архитектура системы для комплексного анализа НП

Архитектура системы включает ядро системы и все подсистемы, обеспечивающие анализ, моделирование и прогнозирование НП. Как видно из рисунка, пользователем является лицо принимающее решение (ЛПР), которое может вмешиваться в процесс анализа или использовать систему в различных режимах, в том числе в автономном режиме.

Схемы алгоритма для принятия решений при анализе НП в ИСАП для линейного и нелинейного случаев представлены на рис. 2 и 3. Как видно из рисунков, после съема информации и предварительной обработки выполняется тестирование на нелинейность.

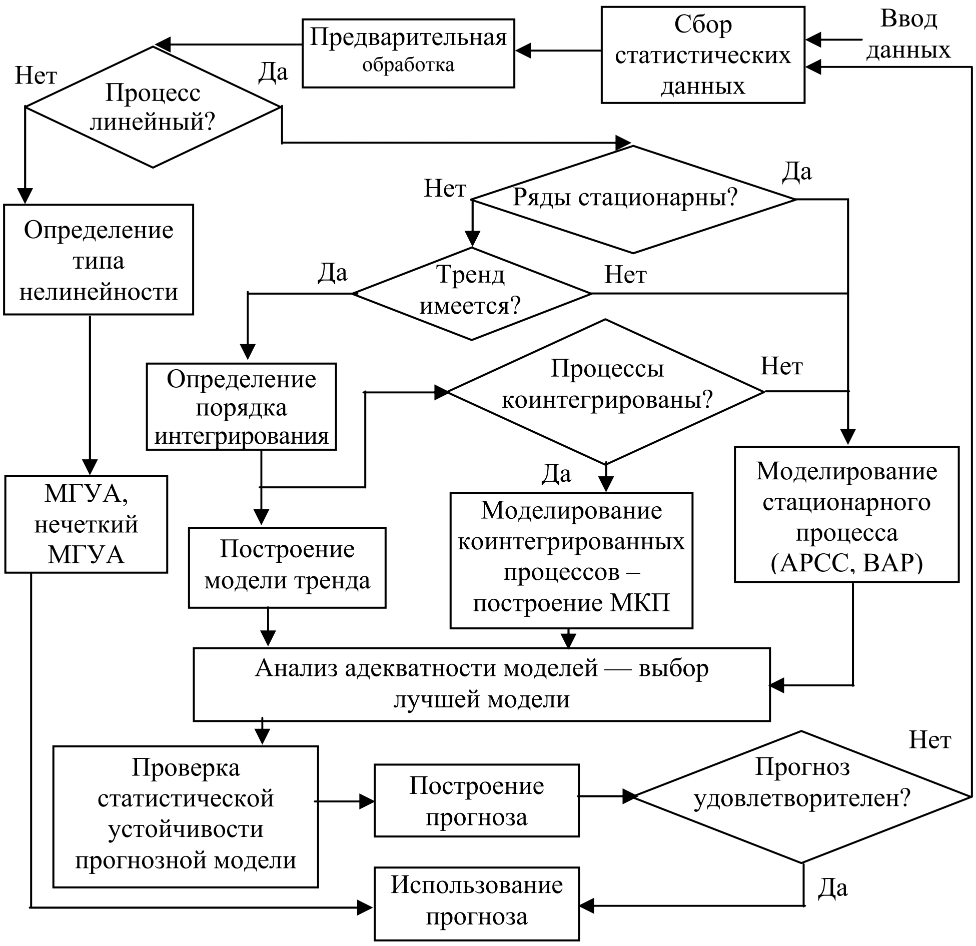

Рис. 2. Схемы алгоритмов принятия решений при анализе НП в ИСАП для линейного случая

Статистическое тестирование данных является важной процедурой, позволяющей выбрать класс моделей для их дальнейшего построения, анализа адекватности и выбора лучшей модели и прогнозирования процесса с целью принятия решения.

Если процесс нелинейный, то в дальнейшем подбирается соответствующая нелинейная модель, адекватная нелинейному процессу. Например, известно, что для механических систем характерным является наличие нелинейностей типа люфт и трение. При построении регрессионных моделей чаще всего возникают нелинейности относительно переменных и нелинейности относительно параметров. После предварительной обработки и анализа на нелинейность выполняется анализ рядов на стационарность.

Если при тестировании выявлено, что ряды стационарны, то производится моделирование стационарности процесса авторегрессиоными или другими моделями (как, например, АРСС, векторной авторегрессией (ВАР)). В противном случае данные тестируются на наличие детерминированного или стохастического тренда.

Если тренд отсутствует, то процесс является гетероскедастическим. Он моделируется с помощью уравнений авторегрессии с условной гетероскедастичностью (АРУГ) или их обобщенной формой (ОАРУГ). Если тренд имеется, то ряды тестируются на коинтегрированность с целью построения модели корректировки погрешности (МКП).

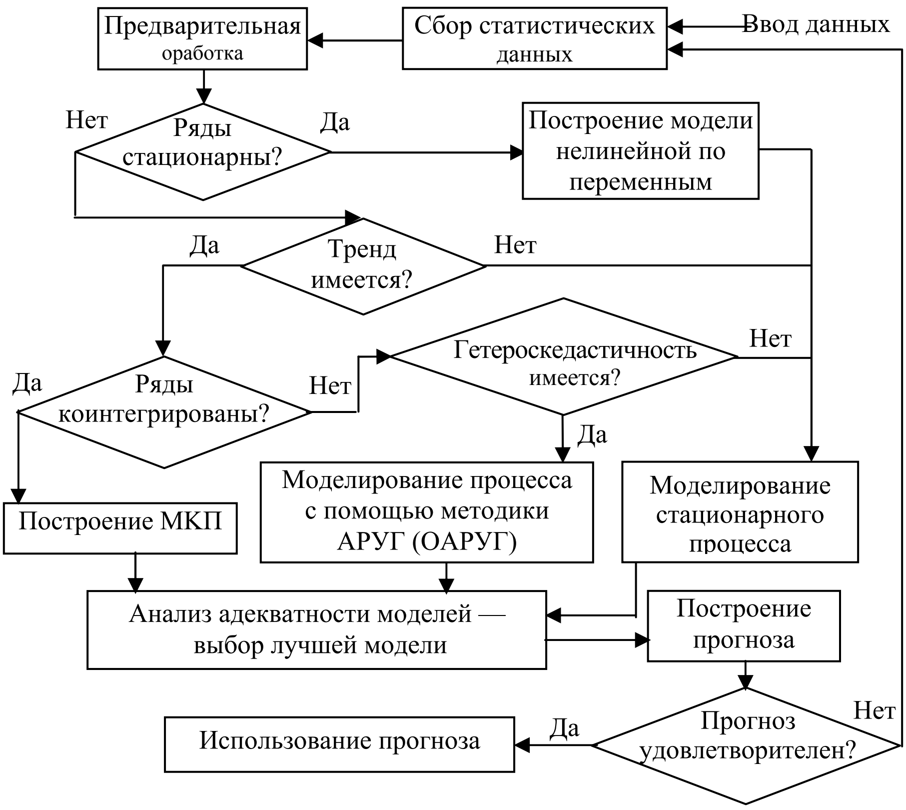

Рис. 3. Схемы алгоритмов принятия решений при анализе НП в ИСАП для нелинейного случая

Если ряды не коинтегрированы, то известными методами удаляется тренд для моделирования стационарности процесса с помощью АРСС, ВАР и других моделей.

В последнее время при анализе финансово-экономических и других данных часто рассматриваются два типа моделей — коинтеграционная модель и модель АРУГ с обобщенной ее формой — ОАРУГ. Последняя модель определяет условную дисперсию как линейную комбинацию предыдущих квадратов остатков из уравнения условной средней и лагов предыдущих значений условной дисперсии. Используя соответствующие статистические критерии, из банка моделей и алгоритмов извлекаются требуемые модели и анализируются (сравниваются по основным параметрам) с целью выбора наилучшей. Такая последовательность является характерной и обязательной также для анализа гетероскедастического и коинтеграционного процессов и позволяет в конечном итоге получить новые модели для принятия решения.

Дальнейшим развитием такого обоснованного системного подхода является комплексный анализ, т. е. построение ИСАП несколькими взаимодействующими пакетами программ: Matlab, Eviews, МГУА и нечеткого МГУА. Для этого использованы несколько приложений (программных сред), обеспечивающих взаимодействие различных систем и представляющие собой интегрирующую среду для обеспечения анализа НП с высокой эффективностью и комфортностью.

В ИСАП для анализа и прогнозирования НП разработаны и реализованы следующие новые модели.

1. Модель для выявления отказов в технических системах. Для этого используется подход, который заключается в построении модели в пространстве состояний, вычислении соотношения правдоподобия, получении прогноза на один шаг с помощью фильтра Калмана. За счет комбинированного использования модели в пространстве состояния, фильтра Калмана и соотношения правдоподобия достигается выигрыш по быстродействию и точности в случае прогнозирования и оценивания состояний системы в сравнении с экспертным подходом.

2. Многомерная оригинальная модель для оценки доходности на предприятии по производству пищевой продукции, которая состоит из трех отдельных моделей: модели для прогнозирования цены на сельхозяйственную продукцию; модели для дисперсии цены и модели доходности.

3. Модель инфляции на базе статистических данных, обеспечивающая высокое качество прогноза и имеющая относительную простоту.

4. Модифицированные модели валового внутреннего продукта (ВВП) и налога на добавочную стоимость (НДС). Для выбранных процессов ВВП и НДС по известной методике построена коинтеграционная модель.

Приведенные примеры построения прогнозных моделей и методы, которые на них основываются, реализованы в рамках ИСАП в виде отдельных модулей. Объединение этих модулей, а также модулей тестирования процессов, модулей анализа качества моделей и прогнозов в единую систему позволяет сократить сроки анализа НП и повысить его эффективность.

Особую трудность представляет построение систем для анализа нелинейных, нестационарных динамических процессов. В связи с этим предлагается такая последовательность выполнения процедур анализа и прогнозирования НП. Данные для нестационарного процесса (гетероскедастического, интегрированного и коинтеграционного) необходимо обработать с помощью моделирующего комплекса, определить тип нестационарности, построить соответствующую лучшую модель, выполнить прогноз развития процесса, оценить качество прогноза и отобразить результаты для принятия окончательного решения экспериментатором [1, 2].

ПРИМЕНЕНИЕ ИСАП ДЛЯ ЗАДАЧ АНАЛИЗА И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НП

Рассмотрим примеры анализа выбранных процессов.

Пример 1. Анализ и моделирование образования цен на продукцию производственной фирмы.

Предложенная методика моделирования гетероскедастических процессов использована при анализе и моделировании образования цен на продукцию производственной фирмы.

Схема с входными и выходными переменными производственной фирмы, производящей пищевую продукцию, показана на рис. 4.

Здесь $q(k)$ — прибыль фирмы (дебитора) в момент времени k; $p^c(k)$ — ожидаемая цена продукции фирмы в момент k, полученная на основе информации в момент времени $(k-1)$, т.е. $p^c(k) = E_{k-1}[p(k)]$; $h(k)$ — ожидаемая условная дисперсия цены на продукцию фирмы в момент k, которая определяется на основе информации на момент времени $(k-1)$; $pp(k-1)$ — затраты на производство единицы продукции в момент $(k-1)$; $p(k-1)$ — цена продукции в момент времени $(k-1)$; $\varepsilon(k)$ — случайные возмущения, влияющие на доход фирмы.

Для описания прибыли получена следующая модель:

$$q(k) = a_0 + a_1 p^c(k) + a_2 h(k) + a_2 pp(k-1)(k-1) + a_4 p(k-1) + a_5 q(k-4) + \varepsilon_1(k)\,. \quad (4)$$

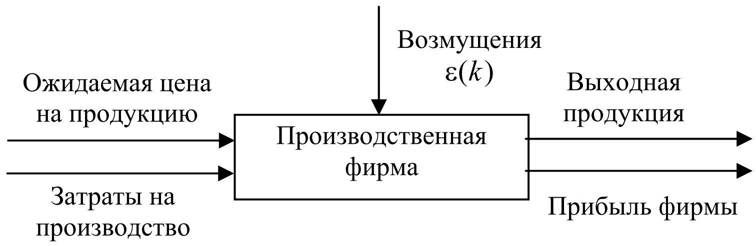

Рис. 4. Входные и выходные переменные

Данные измеряются один раз в квартал. Для вычисления $p^c(k)$ и $h(k)$ строятся отдельные модели; $pp(k-1)$ — берутся затраты на производство единицы продукции за предшествующий квартал и вводятся со знаком минус «–»; $p(k-1)$ — берется значение цены со знаком «–», поскольку прибыль возрастает; $q(k-4)$ берется значение прибыли с запаздыванием 4, чтобы учесть этот же квартал предшествующего года.

В этой модели важно учесть влияние условной дисперсии цены продукции на прибыль фирмы. Переменная $p^c(k)$ оценивается на основе цены в предшествующем квартале. Если цена изменяется довольно быстро, то производитель, избегая риска, стремится снизить объем производства.

Рассмотрены два подхода для прогнозирования цены.

В первом подходе для прогноза уровня цены на продукцию использована модель четвертого порядка:

$$(1 - \beta_1 L - \beta_2 L^2 - \beta_3 L^3 - \beta_4 L^4) p(k) = \beta_0 + \varepsilon_2(k)\,. \quad (5)$$

Модель цены после оценивания ее параметров имеет вид:

$$(1 - 0{,}51L - 0{,}13L^2 - 0{,}13L^3 - 0{,}14L^4) p(k) = 1{,}63 + \varepsilon_2(k)\,. \quad (6)$$

Теперь предположим, что $p^c(k) = p(k)$. В результате подстановки $p^c(k)$ в равенство (5) получим уравнение для дисперсии цены на продукцию:

$$h(k) = 1{,}35 + 0{,}16\varepsilon_2^2(k-1) + 0{,}59h(k-1)\,; \quad (7)$$

$$(1 - 0{,}51L - 0{,}13L^2 - 0{,}13L^3 - 0{,}14L^4) p(k) = 1{,}63 + \varepsilon_2(k)\,. \quad (8)$$

Значения, вычисленные по формулам (7) и (8), подставляем в выражение (4) для оценки прибыли.

Для получения $\hat{a}_0, \hat{a}_1, ..., \hat{a}_5$ в уравнении (4) необходимо иметь пять рядов переменных. Окончательно модель для оценки прибыли имеет вид:

$$q(k) = 2{,}77\, p^e(k) - 0{,}52\, h(k) + 4{,}33\, pp(k-1) + 1{,}89\, p(k-1) + 0{,}6\, q(k-4) + \varepsilon_1(k). \quad (9)$$

Коэффициент $p^e(k) - 0{,}52$ означает, что если ожидается рост цен, то прибыль увеличивается; $h(k) + 4{,}33\, pp(k-1) + 1{,}89\, p(k-1)$ — колебания цен, затраты уменьшают прибыль; $0{,}60\, q(k-4) + \varepsilon_1(k)$ — положительный фактор.

Как видно из уравнения регрессии (9) коэффициент при первом члене показывает, что цена, ожидаемая в первом квартале на продукцию, сильно влияет на прибыль. Колебание цены, которое характеризуется ожидаемой условной дисперсией $h(k)$, меньше влияет на прибыль; сильно влияют на прибыль затраты pp на единицу продукции; существенно влияет цена на продукцию и незначительно сезонный эффект; $\varepsilon(k)$ – случайные возмущения (например, колебание цены), которые в основном отрицательно влияют на доходность.

Второй подход к прогнозу цены базируется на известном выражении для скользящего среднего $p^e(k) = \alpha p(k-1) + (1-\alpha) p(k-1)$ и $p^e(k) = \alpha \sum_{i=0}^{\infty} (1-\alpha)^i p(k-1-i)$. По аналогии с этим уравнением можем записать уравнение для дисперсии погрешностей прогнозируемой цены:

$$h(k) = \beta \sum_{i=0}^{\infty} (1-\beta)^u [p(k-1-i) - p^e(k-1-i)]^2, \quad 0 < \beta < 1,$$

где $[p(k-1-i) - p^e(k-1-i)]^2$ — дисперсия ожидаемой цены на один период. Очевидно, что второй подход является формальным (не связанным с входными данными).

Качество моделей по производству пищевой продукции для ожидаемой цены на продукцию фирмы $p(k)$, для условной дисперсии цены $h(k)$ на продукцию фирмы и для текущей прибыли $q(k)$ по производству пищевой продукции следующее.

1. Для ожидаемой цены на продукцию фирмы $p(k)$ в момент k ($N = 24$ — кварталы данных за шесть лет) получены статистические характеристики модели: $R^2 = 0{,}86$; $\sum e^2 = 23{,}18$; $DW = 2{,}03$. Характеристики одношагового прогноза: СКО=18,93; САПП=1,07; $U = 0{,}0075$, где СКО — среднеквадратическая ошибка; СППР — средняя абсолютная погрешность в процентах.

2. Для условной дисперсии цены $h(k)$ на продукцию фирмы в момент k получены следующие статистические характеристики модели: $R^2 = 0{,}69$; $\sum e^2 = 35{,}12$; $DW = 1{,}87$ и характеристики одношагового прогноза: СКО=21,45; САПП=2,36; $U = 0{,}031$.

3. Для текущей прибыли $q(k)$ по производству пищевой продукции получены характеристики модели: $R^2 = 0{,}96$; $\sum e^2 = 128{,}96$; $DW = 1{,}98$ и характеристики одношагового прогноза: СКО=87,53; САПП=1,28; $U = 0{,}015$.

Пример 2. Прогнозирование финансовых процессов. Одним из определяющих макроэкономических процессов является процесс инфляции [3–5]. Для моделирования процесса инфляции выбраны следующие макроэкономические показатели: индекс потребительских цен и объем денежной массы.

Формальная постановка задачи. Даны последовательность измерений случайной входной переменной $m(k)$ — прирост денежной массы и переменная $p(k)$ (индекс потребительских цен) на временном интервале $k \in [0, N]$. Необходимо построить дискретную математическую модель АРСС(p,q):

$$p(k) = a_0 + \sum_{i=1}^{p} a_i p(k-i) + \sum_{j=1}^{q} \gamma_j m(k-j) + \varepsilon(k)\,, \tag{10}$$

где $\varepsilon(k)$ предполагается некоррелированный нормально распределенный процесс с постоянной дисперсией и нулевым средним, т.е.

$$\{\varepsilon(k)\} \sim N_N[0, \sigma_\varepsilon^2], \qquad \sigma_\varepsilon^2 = \text{const}\,. \tag{11}$$

Задача оценивания и анализа регрессионных моделей решена с помощью моделей, представленных в работах [1–5]. В результате выполнения анализа регрессионных моделей для управления выберем как наиболее адекватную процессу стохастическую авторегрессионую модель второго порядка: $p(k) = a_0 + a_1 p(k-1) + a_2 p(k-2) + \gamma_1 m(k-1) + \beta_1 \varepsilon(k)$, где $p(k)$ — индекс потребительских цен в момент k; $m(k)$ — объем денежной массы в момент k; $\varepsilon(k)$ — случайная компонента с нулевым средним, обусловленная неучтенными регрессорами и возмущениями. Таким образом, необходимо определить структуру и вектор параметров $\hat{\theta} = [\hat{a}_0 \ \hat{a}_1 \ \dots \hat{a}_p \ \hat{\gamma}_1 \dots \hat{\gamma}_q]^{\mathrm{T}}$ модели (10) при условии (11).

Возмущениями в данном случае являются случайные воздействия на цены в виде нерегулярных потоков импорта, утечки капитала, нестабильности законодательства; a_0, a_1, a_2, γ_1, β_1 — коэффициенты, определенные на основании статистических данных для индекса потребительских цен $p(k)$.

Предположим, что объем денежной массы определяется выражением $m(k) = \overline{m} + u(k)$, где $\overline{m}$ — среднее значение объема денежной массы, а $u(k)$ — приращение денежной массы, используемое как управляющее воздействие.

Тогда получаем уравнение

$$p(k) = a_0' + a_1 p(k-1) + a_2 p(k-2) + \gamma_1 u(k-1) + \beta_1 \varepsilon(k)\,,$$

которое можно также представить в виде

$$p(k+2) - a_1 p(k+1) - a_2 p(k) = a_0' + \gamma_1 u(k+1) + \beta_1 \varepsilon(k+2)\,, \tag{12}$$

где $a_0' = a_0 + \gamma_1 \overline{m}$.

Для нахождения частного решения уравнения (12) воспользуемся методом вариации параметров, известной в литературе как метод Лагранжа вариации постоянных. Частное решение ищем в виде:

$$p_p(k) = \mu_1(k) r_1^k + \mu_2(k) r_2^k \, . \tag{13}$$

Для нахождения $\mu_1(k)$ и $\mu_2(k)$ требуются два условия. Одно из них состоит в том, что уравнение (13) должно удовлетворять уравнению (12). Второе условие выбирается из равенства

$$r_1^{k+1} \Delta\mu_1(k) + r_2^{k+1} \Delta\mu_2(k) = 0 \, ,$$

где $\Delta\mu_i(k) = \mu_i(k+1) - \mu_i(k)$. Подставляя правую часть равенства (13) в формулу (12), получаем общее решение в виде:

$$p(k) = C_1 r_1^k + C_2 r_2^k + \frac{a_0'}{1 - a_1 - a_2} + \frac{\gamma_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{k-1} [r_2^n - r_1^n] u(k-n) +$$

$$+ \frac{\beta_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{k-1} [r_2^n - r_1^n] \varepsilon(k - n + 1), \tag{14}$$

где C_1, C_2 – константы, которые определяются из начальных условий. Используя начальные условия $p(0)$, $p(1)$, получаем значения неизвестных констант. Следовательно, общее решение уравнения (14) принимает вид

$$p(k) = \frac{a_0'}{1 - a_1 - a_2} + \frac{\gamma_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{k-1} [r_2^n - r_1^n] \; u(k-n) + \frac{\beta_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{k-1} [r_2^n - r_1^n] \; \varepsilon(k - n + 1) +$$

$$+ \frac{r_1 r_2 [r_2^{k-1} - r_1^{k-1}]}{r_2 - r_1} \left[p(0) - \frac{a_0'}{1 - a_1 - a_2} \right] + \frac{r_2^k - r_1^k}{r_2 - r_1} \left[p(1) - \frac{a_0'}{1 - a_1 - a_2} \right].$$

Полученное решение удобно использовать для прогнозирования процесса инфляции. Прогнозируемое значение на $s*$ периодов дискретизации данных при $|a_1| < 1$ можно записать как

$$p(k+s) = \frac{a_0'}{1 - a_1 - a_2} + \frac{\gamma_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{s*} [r_2^n - r_1^n] \; u(k + s* - n) +$$

$$+ \frac{r_1 r_2^{s*} - r_2 r_1^{s*}}{r_2 - r_1} \left[p(k-1) - \frac{a_0'}{1 - a_1 - a_2} \right] + \frac{r_2^{s*} - r_1^{s*}}{r_2 - r_1} \left[p(k) - \frac{a_0'}{1 - a_1 - a_2} \right] +$$

$$+ \frac{\beta_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{s*} [r_2^n - r_1^n] \varepsilon(k + s* - n + 1) \, ,$$

где $p(k-1)$, $p(k)$ — начальные условия относительно k-го момента времени.

Функция прогнозирования на $s*$ шагов имеет вид:

$$\hat{p}(k+s^*) = E_k[p(k+s^*)] = \frac{a_0'}{1-a_1-a_2} + \frac{\gamma_1}{r_2-r_1}\sum_{n=1}^{s^*}[r_2^n - r_1^n]\, u(k+s^*-n) +$$

$$+\frac{r_1 r_2^{s^*} - r_2 r_1^{s^*}}{r_2-r_1}\left[p(k-1) - \frac{a_0'}{1-a_1-a_2}\right] + \frac{r_2^{s^*} - r_1^{s^*}}{r_2-r_1}\left[p(k) - \frac{a_0'}{1-a_1-a_2}\right]. \quad (15)$$

Используя уравнение (15), можно записать функцию прогнозирования на несколько шагов. Например,

$s^* = 1$:

$$\hat{p}(k+1) = E_k[p(k+1)] = \frac{a_0'}{1-a_1-a_2} + \gamma_1 u(k),$$

$s^* = 2$:

$$\hat{p}(k+2) = \frac{a_0'}{1-a_1-a_2} + \frac{\gamma_1}{r_2-r_1}\{[r_2 - r_1]\; u(k+1) + [r_2^2 - r_1^2]\, u(k)\} +$$

$$+\frac{r_1 r_2^2 - r_2 r_1^2}{r_2-r_1}\left[p(k-1) - \frac{a_0'}{1-a_1-a_2}\right] + \frac{r_2^2 - r_1^2}{r_2-r_1}\left[p(k) - \frac{a_0'}{1-a_1-a_2}\right],$$

$s^* = 3$:

$$\hat{p}(k+3) = \frac{a_0'}{1-a_1-a_2} + \frac{\gamma_1}{r_2-r_1}\{[r_2 - r_1]\; u(k+2) + [r_2^2 - r_1^2]\, u(k+1) +$$

$$+[r_2^3 - r_1^3]\, u(k)\} + \frac{r_1 r_2^3 - r_2 r_1^3}{r_2-r_1}\left[p(k-1) - \frac{a_0'}{1-a_1-a_2}\right] + \frac{r_2^3 - r_1^3}{r_2-r_1}\left[p(k) - \frac{a_0'}{1-a_1-a_2}\right].$$

Простота модели и высокая степень ее адекватности позволяют использовать ее для прогнозирования инфляции с приемлемой точностью на один и более число шагов.

ВЫВОДЫ

1. В работе предложен новый подход, заключающийся в интеграции методов и программных средств для реализации интегрированной системы и позволяющий обеспечить поддержку решений пользователя в процессе решения задач анализа НП, построения и исследования прогнозирующих моделей в автоматизированном режиме.

2. Разработана методология построения моделей для прогнозирования нестационарных технических, экономических и финансовых процессов, которая обеспечивает требуемую адекватность моделей процессам и необходимое качество прогнозов.

3. Построена двумерная модель доходности производства пищевой продукции с учетом динамики ценообразования и дисперсии цены, которая обеспечивает высокую точность прогнозирования дохода и отличается высокой адекватностью.

4. Создана интегрированная система анализа, моделирования и прогнозирования нестационарных процессов, которая выполняет автоматизированную обработку данных, автоматически определяет класс и структуру модели, осуществляет выбор лучших прогнозирующих моделей.

Разработанная автоматизированная система анализа, моделирования и прогнозирования НП позволяет ускорить разработку и использование прогнозирующих моделей по сравнению с аналогами в 2 – 3 раза и обеспечить ошибку прогнозирования на уровне 3 – 10 %.

Интегрированная система внедрена в ряде отраслей, Национальной академии наук Украины, университетах Министерства образования и науки Украины для решения актуальных прикладных задач моделирования и прогнозирования нестационарных временных рядов.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Гасанов А.С.* Анализ точности интегрированной обработки данных на примерах нестационарных процессов / А.С. Гасанов, П.И. Бидюк, А.Н. Терентьев // Вісник ЛНУ імені Тараса Шевченко. — 2010. — № 22 (209). — С. 25–40.
2. *Гасанов А.С.* Мультиагентная информационная система анализа, моделирования и прогнозирования нелинейных нестационарных процессов / А.С. Гасанов, С.Г. Абдуллаев, Н.А. Мурга // Problems of information technology. — 2014. — Vol 1. — P. 81–91.
3. *Зайченко Ю.П.* Сравнительный анализ методов прогнозирования макроэкономических показателей Украины / Ю.П. Зайченко, А.С. Гасанов // Системні дослідження та інформаційні технології. — 2013. — № 1. — С. 67–78.
4. *Бідюк П.І.* Моделювання інфляційних процесів / П.І. Бідюк, І.В. Баклан, А.С. Гасанов // Зб. наук. праць Національної академії ДПС України. — 2004. — № 4(26). — С. 59–67.
5. *Льюис К.Д.* Методы прогнозирования экономических показателей / К.Д. Льюис; пер. с англ. — М.: Финансы и статистика, 1986. — 133 с.

Поступила 15.09.2016