

## 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 дан-

ных 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

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

где  $R$  — тип распределения (класс нормальных, эллиптических и других распределений);  $\mu$  — параметр среднего;  $\sigma_y^2$  — параметр дисперсии;

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

где  $p$  — порядок полинома, описывающего тренд;  $\theta_\mu$  — параметры полинома.

Дисперсию  $\sigma_y^2$  можно представить в следующем виде:

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

где  $\theta_\sigma$  — параметры модели, описывающей дисперсию;  $k$  — время;  $x$  — независимые переменные, влияющие на дисперсию;  $\varepsilon_0$  — 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  $A(q)y(k) = a_0 + B(q)\varepsilon(k)$ , 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.

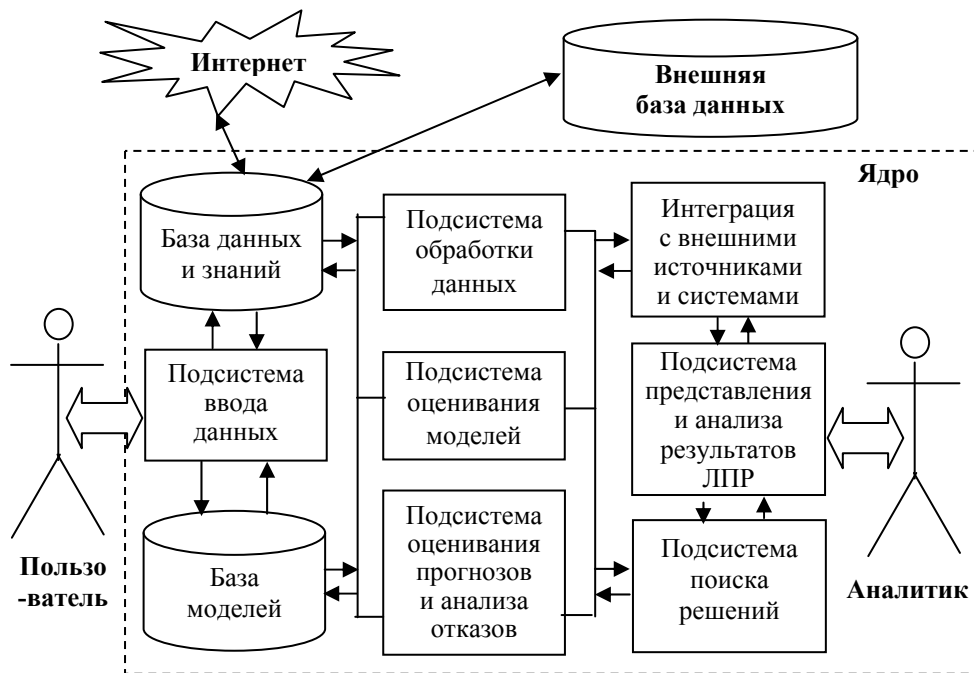


Рис. 1. Архитектура системы для комплексного анализа НП

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.

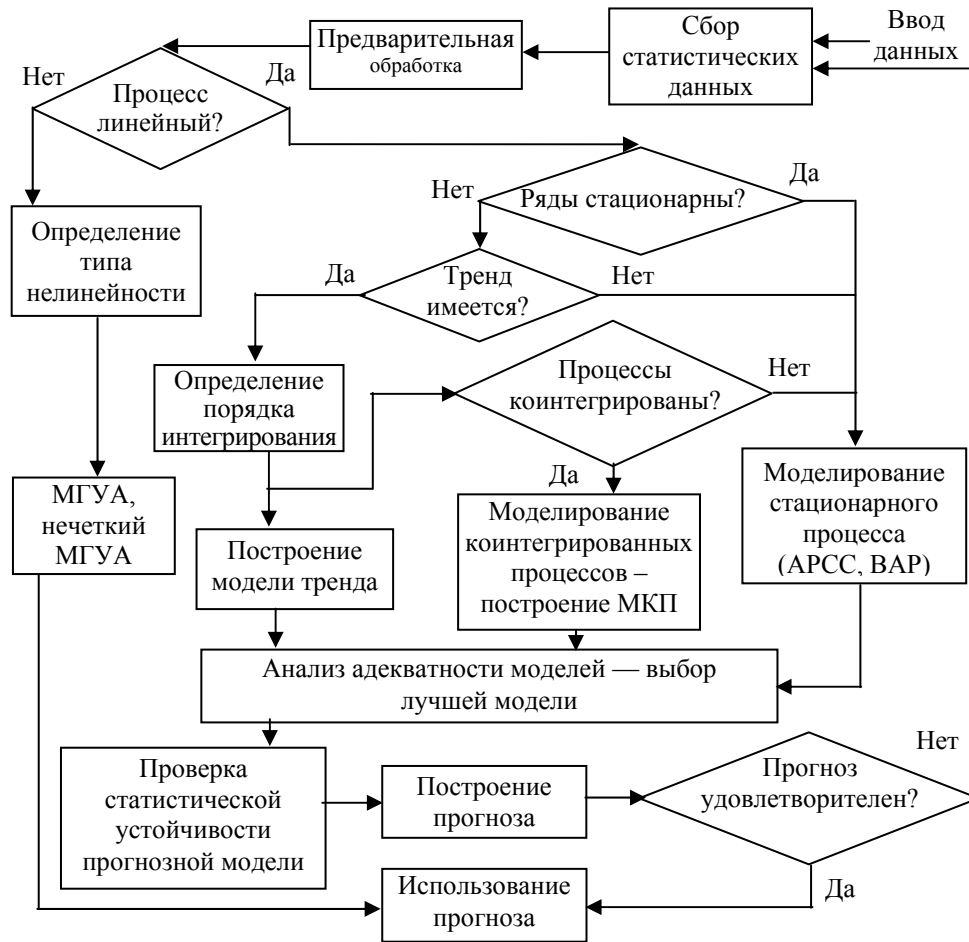


Рис. 2. Схемы алгоритмов принятия решений при анализе НП в ИСАП для линейного случая

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 авторегрессионными 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 гетероскеда-

стичностью (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, VAR 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 сельскохозяйственную 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:

$$q(k) = a_0 + a_1 p^c(k) + a_2 h(k) + a_3 pp(k-1) + a_4 p(k-1) + a_5 q(k-4) + \varepsilon_1(k). \quad (4)$$

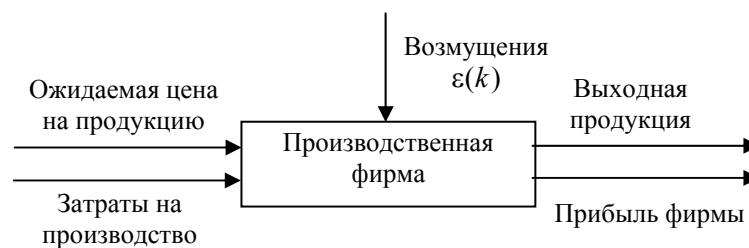


Рис. 4. Входные и выходные переменные

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  $\hat{a}_0, \hat{a}_1, \dots, \hat{a}_5$  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:

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

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;  $САПП$  — 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( $p, q$ ):

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

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

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

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 авторегрессионную 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  $\hat{\theta} = [\hat{a}_0 \ \hat{a}_1 \ \dots \ \hat{a}_p \ \hat{\gamma}_1 \ \dots \ \hat{\gamma}_q]^T$  модели (10) при условии (11).

Возмущениями в данном случае являются случайные воздействия на цены в виде нерегулярных потоков импорта, утечки капитала, нестабильности законодательства;  $a_0, a_1, a_2, \gamma_1, \beta_1$  — коэффициенты, определенные на основании статистических данных для индекса потребительских цен  $p(k)$ .

Предположим, что объем денежной массы определяется выражением  $m(k) = \bar{m} + u(k)$ , где  $\bar{m}$  — 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

$$p(k+2) - a_1 p(k+1) - a_2 p(k) = a'_0 + \gamma_1 u(k+1) + \beta_1 \varepsilon(k+2), \quad (12)$$

где  $a'_0 = a_0 + \gamma_1 \bar{m}$ .

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

$$p_p(k) = \mu_1(k)r_1^k + \mu_2(k)r_2^k. \quad (13)$$

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:

$$p(k) = C_1 r_1^k + C_2 r_2^k + \frac{a'_0}{1 - a_1 - a_2} + \frac{\gamma_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{k-1} [r_2^n - r_1^n] u(k-n) + \frac{\beta_1}{r_2 - r_1} \sum_{n=1}^{k-1} [r_2^n - r_1^n] \varepsilon(k-n+1), \quad (14)$$

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 Шевченка. — 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 // 36. 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*