

УДК 658.5:004.94

Ю. А. РОМАНЕНКОВ

ТЕХНОЛОГИЯ НАСТРОЙКИ ПРОГНОЗНОЙ МОДЕЛИ НА ОСНОВЕ РЕТРОСПЕКТИВНОГО АНАЛИЗА СОБСТВЕННЫХ ФАЗОВЫХ ТРАЕКТОРИЙ

Предложен метод параметрического синтеза прогнозной модели на основе ретроспективного анализа собственных фазовых траекторий внутреннего параметра модели, который позволяет осуществлять обоснованный выбор значений настроечного параметра в соответствии с внутренней динамикой, выраженной в виде фазовых портретов, тем самым повышая точность прогнозирования по сравнению с традиционными поисковыми подходами к выбору параметра прогнозной модели. Предлагаемый подход к параметрическому синтезу прогнозной модели позволяет аналитически оценить качество модели в ходе ее использования, тем самым формализуя процесс параметрической настройки прогнозной модели.

Ключевые слова: параметрический синтез прогнозной модели, фазовый анализ, ретроспективный фазовый анализ.

Введение. Эффективное управление сложными организационно-техническими системами невозможно без упреждения тенденций динамики внутренних и внешних по отношению к таким системам параметров. Современные информационные технологии обеспечивают реализацию прогнозных моделей практически неограниченной вычислительной сложности. Однако, объективное качество информации (как правило, экономического характера) является сдерживающим фактором на пути использования сложных прогнозных моделей. Это выражается в неопределенности разного рода, так или иначе присутствующей в рядах данных тех или иных экономических показателей (например, пропусках данных, ложных значениях, быстрой «устаревании» данных и т. д.).

В силу указанных причин, ключевое место в современной практике прогнозирования по-прежнему занимают относительно «простые», в том числе одно- и двухпараметрические прогнозные модели, которые с одной стороны, в большинстве практических ситуаций способны обеспечить удовлетворительное качество прогноза, с другой – являются доступными для понимания и многократного использования широким кругом субъектов прогнозирования.

При использовании подобных прогнозных моделей на передний план выходит задача параметрического синтеза прогнозной модели. По сути, исследователь преобразует перспективную неопределенность наблюдаемого процесса, с которой объективно сталкивается в процессе прогнозирования, в параметрическую неопределенность прогнозной модели. Это приводит к необходимости иметь в арсенале методы и средства параметрического синтеза (настройки) прогнозных моделей, которые, не имея возможности быть единственными или оптимальными в широком смысле, тем не менее, способны обеспечивать определенное качество прогноза при решении практических задач. Основанием включения таких методов в арсенал прогнозиста является, на наш взгляд, корректность базовых гипотез с одной стороны, и практическая работоспособность – с другой.

Таким образом, актуальной задачей является разработка методов параметрического синтеза прогнозных моделей, учитывающих особенности реального состояния статистической информации, накопленной в виде временных рядов (ВР).

Анализ литературных данных и постановка проблемы. Будем рассматривать группу однопараметрических статистических прогнозных моделей [1],

т.е. моделей, сформированных на базе описания процесса моментным, одномерным, равноотстоящим, полным ВР, для которого существует аналитическая зависимость, связывающая прогнозную оценку на момент времени t и значения ВР в предыдущие моменты времени [2–4]:

$$\hat{y}_t = f(y_{t-i}, \lambda, t), \quad i = \overline{1, n}, \quad (1)$$

где \hat{y}_t – прогнозная оценка на момент времени t ; y_{t-i} – значения ВР длиной n в предыдущие моменты времени; λ – внутренний параметр прогнозной модели.

Примером таких моделей может служить прогнозная модель Р. Брауна или модель экспоненциального сглаживания [5]. В качестве прогноза в ней используется экспоненциальное среднее значение нескольких последних элементов ВР:

$$\hat{y}_t = \alpha y_{t-1} + \alpha(1-\alpha)y_{t-2} + \dots + \alpha(1-\alpha)^{n-1}y_{t-n} = \sum_{i=1}^n \alpha(1-\alpha)^{i-1}y_{t-i}, \quad (2)$$

где n – длина выборки ВР; α – параметр (константа) сглаживания.

Различные подходы к решению задачи параметрического синтеза прогнозной модели Брауна изложены в работах многих авторов, например, [6–13].

Целью параметрического синтеза прогнозной модели вида (1) является поиск такого значения внутреннего параметра λ , который обеспечивал бы лучшее качество прогнозной оценки, в частности ее максимальную точность [6]. Основой параметрического анализа может выступать парадигма ретроспективного анализа, состоящая в предположении о сохранении в будущем качества ретроспективных прогнозных оценок, полученных для значений ВР в предыдущие моменты времени.

Таким образом, задача параметрического синтеза может быть сведена к решению ретроспективных уравнений следующего вида [14]:

$$\varepsilon_{t-1} = \frac{y_{t-1} - \hat{y}_{t-1}}{y_{t-1}} = 1 - \frac{f(y_{t-1-i}, \lambda)}{y_{t-1}} = 0, \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (3)$$

Решения уравнения (3) минимизируют функционал [2]:

$$L(\lambda) = \sum_{i=1}^k (y_{t-i} - \hat{y}_{t-i})^2 \quad (4)$$

для $k = 1$, т.е. гарантируя ретроспективную точность прогноза для последнего известного значения ряда.

Объект, предмет и цель исследования. Объектом исследования являются прогнозные модели вида (1), предметом – методы параметрического синтеза подобных моделей, а целью – расширение методического инструментария параметрического синтеза вышеуказанных моделей.

Метод настройки однопараметрических прогнозных моделей на основе анализа ретроспективных фазовых портретов внутреннего параметра. Предположим, что все уравнения (3) имеют вещественные корни внутри области допустимых значений внутреннего параметра модели. Тогда получаем последовательность значений λ для m последних моментов времени:

$$\{\lambda\}_m = \{\lambda_{t-1}, \lambda_{t-2}, \dots, \lambda_{t-m}\} \quad (5)$$

Отметим, что уравнения вида (3) могут иметь более одного корня, и в таком случае последовательность (4) «распадается» на несколько последовательностей. В этом случае необходимо формулировать критерии, по которым возможно сравнение ретроспективных прогнозных оценок [4].

Ряд (5) можно рассматривать как комплексную характеристику пары «ВР – прогнозная модель». В частности, если оказывается, что последовательность $\{\lambda\}_m$ пуста, т.е. в процессе ретроспективного анализа не найдены оптимальные значения $\lambda_{t-1}, \lambda_{t-2}, \dots, \lambda_{t-m}$, то это свидетельствует о неприменимости выбранной прогнозной модели для анализа и прогнозирования рассматриваемого ВР.

Полученный ряд предлагается исследовать с помощью фазового анализа [15]. Методика фазового анализа подробно изложена, например, в [16, 17].

Будем называть последовательность

$$\Phi_2(\Lambda) = \{(\lambda_{t-m+i-1}, \lambda_{t-m+i})\}, \quad i = \overline{1, m-1}, \quad (6)$$

ретроспективным фазовым портретом (РФП) внутреннего параметра прогнозной модели (1). Пример ВР оптимальных ретроспективных значений внутреннего параметра прогнозной модели и его фазовый портрет представлены на рис. 1.

Разложение фазового портрета на квазициклы базируется на визуализации фрагментов данного фа-

зового портрета [16]. При этом принимается во внимание характер вращения звеньев, соединяющих соседние точки $(\lambda_t, \lambda_{t+1}), (\lambda_{t+1}, \lambda_{t+2})$ визуализируемого фрагмента (рис. 2).

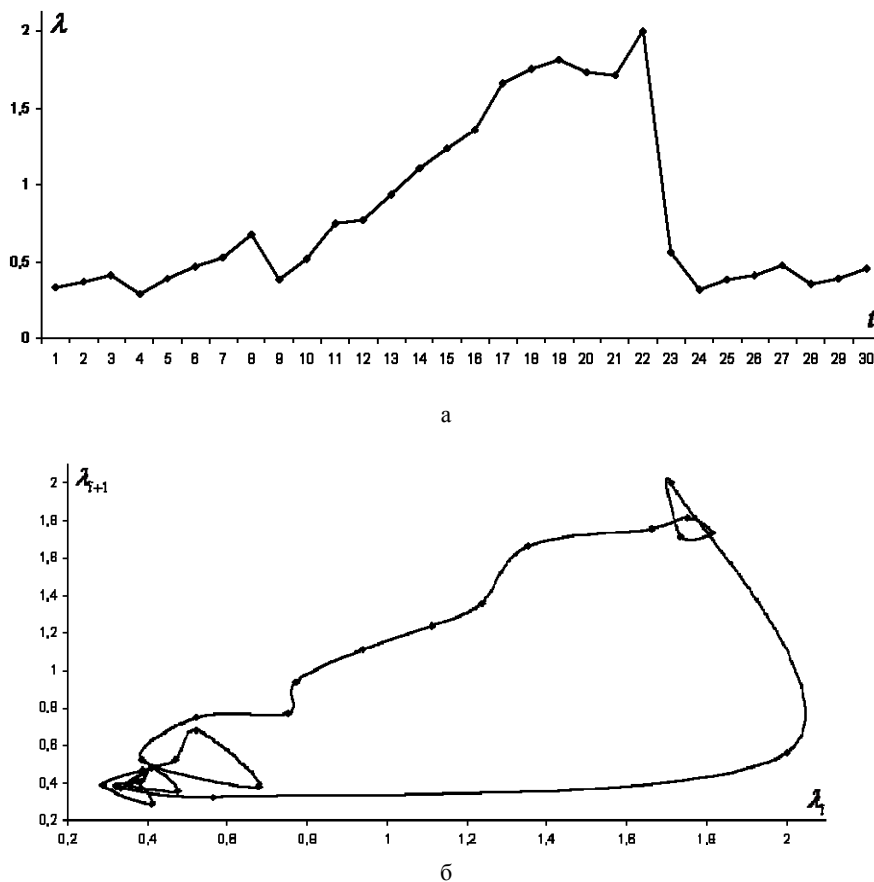


Рис. 1 – Внутренние характеристики прогнозной модели: а – ВР оптимальных ретроспективных значений внутреннего параметра; б – его фазовый портрет

Определение термина «квазицикл» в некотором смысле близко к определению общепринятого понятия «цикл». Различие между этими двумя понятиями состоит в том, что начальная и конечная точки квазицикла не обязательно должны совпадать. Конечная точка квазицикла определяется ее входением в окрестность начальной точки. При этом допускается самопересечение начального и конечного звеньев квазицикла, если это приводит к наилучшему сближению его начальной и конечной точек.

Для любого ВР предпрогнозная информация на основе его фазового портрета может быть разделена на три группы [16]. К первой группе относят информацию, которая представляется разложением фазового портрета этого ВР на квазициклы (рис. 2).

Для каждого квазицикла строится габаритный прямоугольник (см. рис. 3), точка пересечений диагоналей которого и считается центром соответствующего квазицикла (она же представляет собой центр вращения соответствующего квазицикла). Параметры всех квазициклов и их габаритных прямоугольников можно свести в табл. 1.

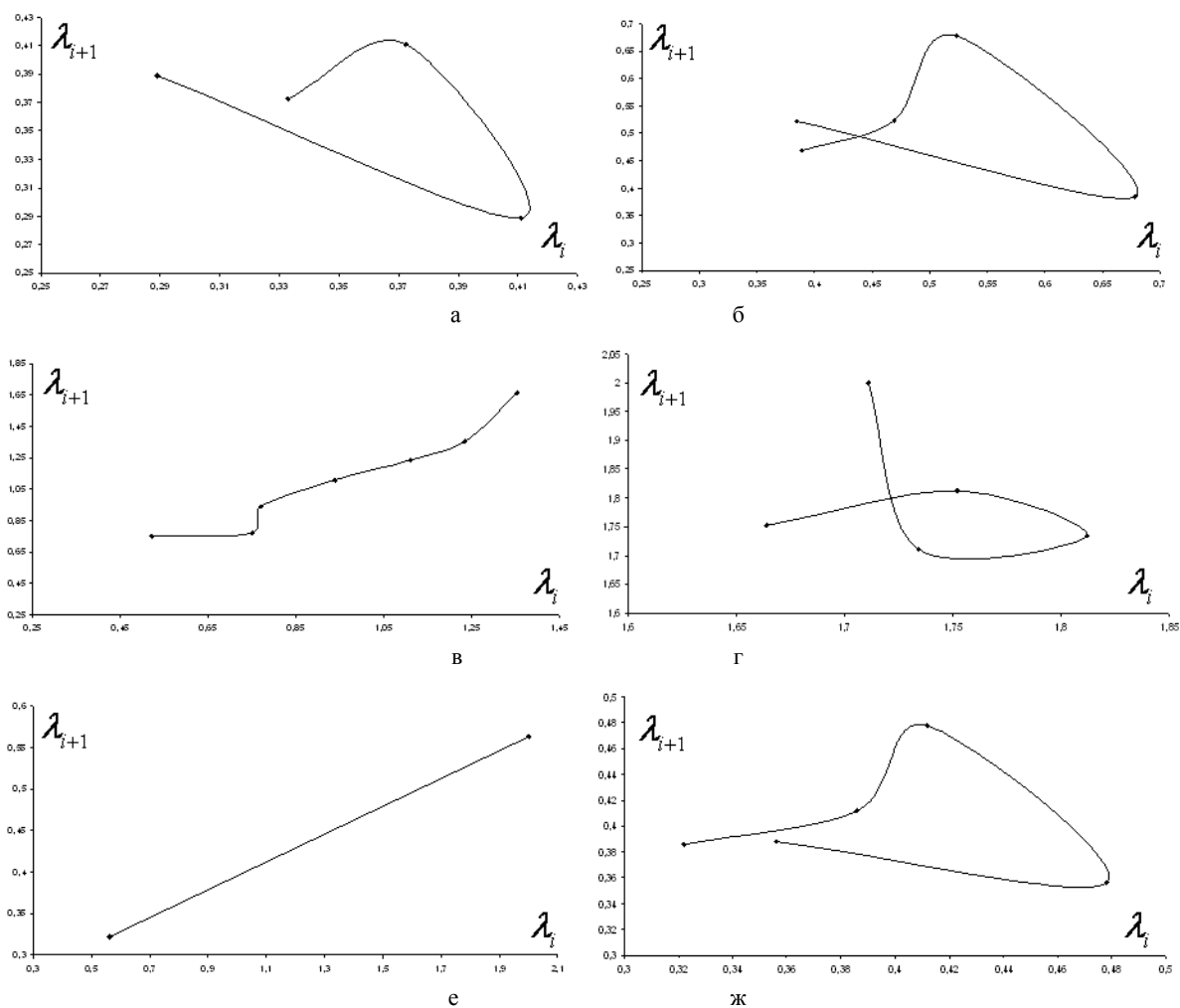


Рис. 2 – Квазициклы РФП внутреннего параметра прогнозной модели для моментов времени: а – 2-5; б – 6-10; в – 11-17; г – 18-22; е – 23-24; ж – 25-30

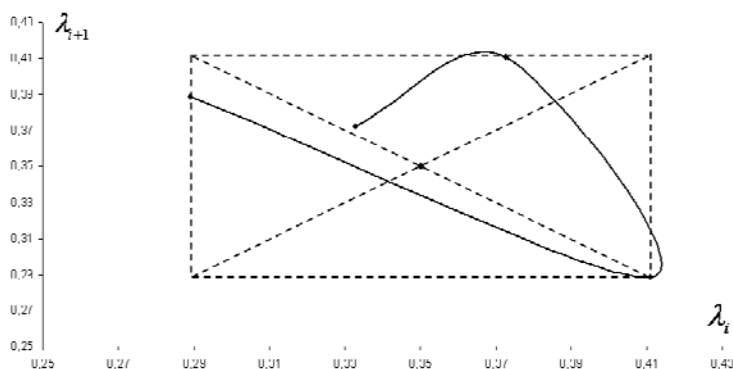


Рис. 3 – Первый квазицикл РФП внутреннего параметра прогнозной модели (рис. 2, б) и его габаритный прямоугольник

Таблица 1 – Параметры квазициклов РФП внутреннего параметра прогнозной модели (рис. 2, б)

Номер цикла	Длина	Центр	Полупериметр
1	4	(0,35; 0,35)	0,244
2	5	(0,385; 0,385)	0,586
3	7	(0,938; 0,522)	0,832
4	5	(1,738; 1,8555)	0,437
5	2	(1,2815; 0,4425)	1,678
6	5	(0,4; 0,417)	0,278

Ко второй группе относят информацию, представленную траекториями дрейфа центров квазицик-

лов (рис. 4). К третьей группе относят информацию, представленной траекторией дрейфа полупериметров

габаритных прямоугольников квазициклов, полученных в результате разложения рассматриваемого фазового портрета, а также фазовым портретом этой траектории (рис. 5). Представим диаграмму декомпозиции

процесса параметрического синтеза прогнозной модели на рис. 6.

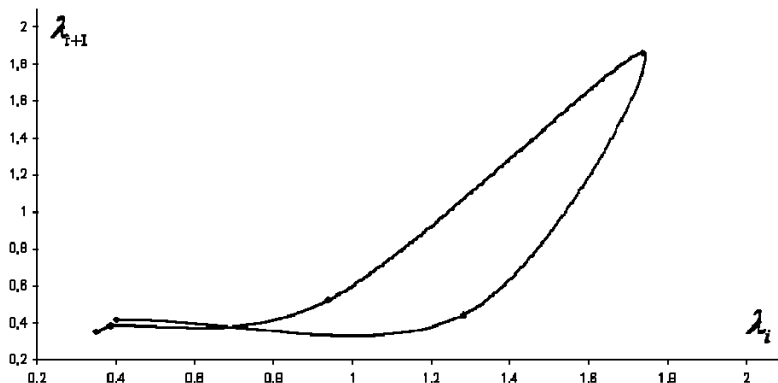


Рис. 4 – Траектория дрейфа центров габаритных прямоугольников квазициклов РФП внутреннего параметра прогнозной модели

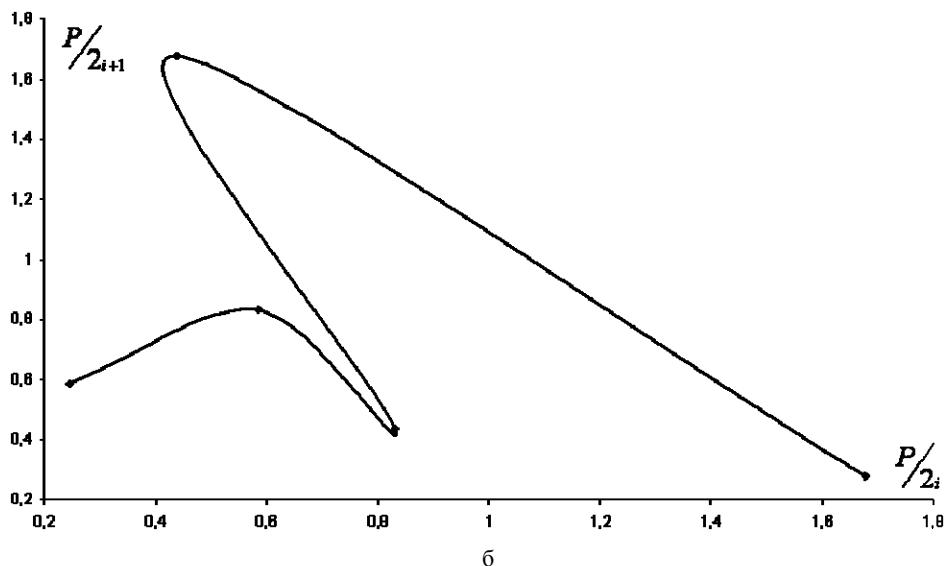
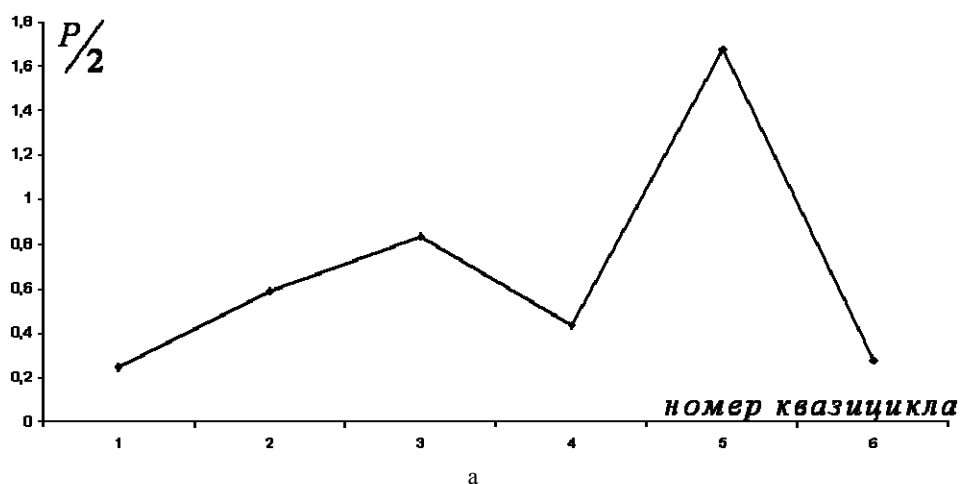


Рис. 5 – Характеристики квазициклов: а – траектория дрейфа полупериметров габаритных прямоугольников; б – фазовый портрет траектории дрейфа

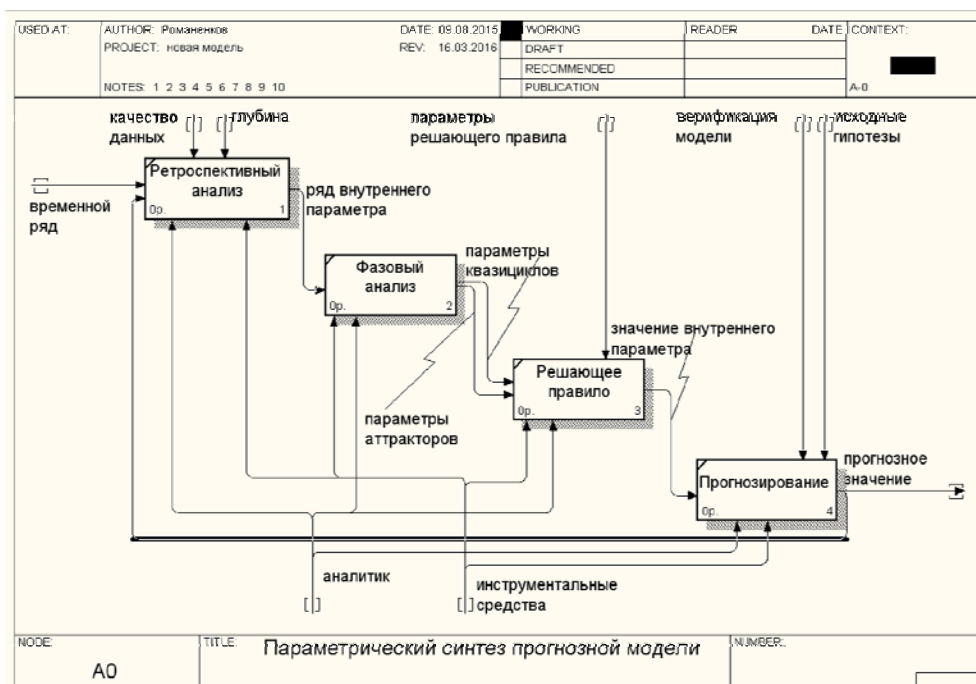


Рис. 6 – Декомпозиция процесса настройки прогнозной модели на основе анализа собственных фазовых траекторий

На основе анализа РФП внутреннего параметра прогнозной модели можно сгенерировать обоснованную оценку внутреннего параметра модели для получения актуального прогноза исследуемого ВР. При этом методологический аппарат фазового анализа выступает в качестве «решающего правила» для выбора внутреннего параметра прогнозной модели. Эта информация, наряду с другими результатами параметрического синтеза, может быть использована исследователем как в процессе прогнозирования значений ВР, так и в процессе выбора адекватной прогнозной модели для прогнозирования конкретного ВР.

Выводы

Предложен метод настройки однопараметрической прогнозной модели, основанный на анализе ретроспективных фазовых портретов внутреннего параметра модели.

Предложенный метод позволяет учитывать и визуализировать динамику ретроспективных оптимальных значений внутреннего параметра, тем самым повысить точность прогнозирования по сравнению с традиционными подходами к выбору параметра прогнозной модели.

Преимуществом предлагаемого метода, помимо наглядности, является принципиальная возможность аналитической оценки качества модели в ходе ее использования, что облегчает пользователю процесс параметрической настройки прогнозной модели и способствует лучшему пониманию особенностей самого исследуемого процесса.

Список литературы: 1. Лукашин, Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов [Текст] / Ю. П. Лукашин // Учебное пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с. 2. Гече, Ф. Е. Розробка методу синтезу прогнозуєчої схеми на основі базових прогнозуєчих моделей [Текст] / Ф. Е. Гече, О. Ю. Мулеса, С. Ф. Гече, М. М. Ваишеба // Технологічний аудит і резерви виробництва. – 2015. – № 3/2 (23). – С. 36–41. 3. Кухарев, В. Н. Экономико-математические методы и модели в планировании

и управлении [Текст] / В. Н. Кухарев, В. Н. Салли, А. М. Эрперт. – К.: Вища школа, 1991. – 328 с. 4. Романенков, Ю. А. Параметрические критерии качества ретроспективных прогнозных оценок [Текст] / Ю. А. Романенков // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Стратегічне управління, управління портфелями, програмами та проектами. – Х.: НТУ «ХПІ». – 2015. – № 1 (1110). – С. 85–90. 5. Brown, R. G. Smoothing forecasting and prediction of discrete time series [Текст] / R. G. Brown. – N.Y., 1963. 6. Вартачан, В. М. Параметрический синтез прогнозной модели экспоненциального сглаживания [Текст] / В. М. Вартачан, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Вестник НТУ «ХПІ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПІ». – 2005. – № 59 – С. 9–16. 7. Рабочая книга по прогнозированию [Текст]: Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М.: Мысль, 1982. – 430 с. 8. Светульников, С. Г. О расширении границ применения метода Брауна [Текст] / С. Г. Светульников // Известия Санкт-Петербургского государственного университета экономики и финансов. – 2002. – №3. – С. 94–107. 9. Светульников, С. Г. Методы социально-экономического прогнозирования: учебник для вузов. Том II [Текст] / С. Г. Светульников, И. С. Светульников. – СПб.: Изд-во СПбГУЭФ, 2010. – 103 с. 10. Васильев, А. А. Методы выбора постоянной сглаживания в модели прогнозирования Брауна [Текст] / А. А. Васильев // Вестник Тверского государственного университета, 2013, №1 (серия «Экономика и управление»). 2013, Вып. 17). – С. 183–196. 11. Васильев, А. А. Исследование модели прогнозирования Брауна при классических и запредельных значениях постоянной сглаживания [Текст] / А. А. Васильев, Е. В. Васильева // Вестник Тверского государственного университета, 2013, №1 (серия «Экономика и управление»). 2013, вып. 17). – С. 197–213. 12. Вартачан, В. М. Анализ адекватности моделей прогнозирования экономических показателей предприятий [Текст] / В. М. Вартачан, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Бизнес Информ. – Харьков: Хар. Нац. эконом. ун-т, 2007. – № 3–4. – С. 103–106. 13. Романенков, Ю. А. Метод параметрического синтеза модели Брауна на основе ретроспективной многокритериальной оптимизации [Текст] / Ю. А. Романенков, Т. Г. Зейншев // Збірник наукових праць (галузевого машинобудування, будівництва). – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – №2(41). – С. 48–56. 14. Зейншев, Т. Г. Постановка задачи синтеза оптимальных робастных прогнозных оценок в модели экспоненциального сглаживания [Текст] / Т. Г. Зейншев, Ю. А. Романенков // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2014»: Тези доповідей. – Харків: Національний аерокосмічний університет ім. М. С. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», 2014. – Т. 3. – С. 5. 15. Петерс, Э. Хаос и порядок на рынке капитала. Новый экономический взгляд на циклы, цены и изменчивость рынка [Текст] / Э. Петерс. – М.: Мир, 2000. – 333 с. 16. Беляков, С. С. Ис-

пользование агрегирования в методах нелинейной динамики для анализа и прогнозирования временных рядов котировок акций [Текст]: дис. ... канд. экон. наук: 08.00.13: защищена 21.10.05 / Беляков Станислав Сергеевич. – Ставрополь, 2005. – 157 с. 17. Паровик, Р. И. Фазовый анализ временных рядов геофизических полей [Текст] / Р. И. Паровик, П. П. Фирстов // Вест. КРАУНЦ. Физ.-мат. науки. – 2013. – №1. – С. 23–29.

Bibliography (transliterated): 1. Lukashin, Yu. P. (2003). Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennykh ryadov. Uchebnoe posobie. Moscow: Finansy i statistika, 416. 2. Geche, F. E. Mulesa, O. Yu. Geche, S. F. Vashkeba, M. M. (2015). Rozrobka metodu sintezu prognozuoyuchoi sxemi na osnovi bazovix prognozuyuchix modelej. *Technologicheskij audit i rezervy proizvodstva*, № 3/2 (23), 36–41. 3. Kuxarev, V. N., Salli, V. N., Erpert, A. M. (1991). Ekonomiko-matematicheskie metody i modeli v planirovanii i upravlenii. Kiev: Vishha shkola, 328. 4. Romanenkov, Yu. A. (2015). Parametricheskie kriterii kachestva retrospektivnykh prognoznykh ocenok. *Visnik Nacionalnogo texnichnogo universitetu «XPI»*. Seriya: Strategichne upravlinnya, upravlinnya portfelyami, programami ta proektami. Kharkov: NTU «XPI», № 1 (1110), 85–90. 5. Brown, R. G. (1963). *Smoothing forecasting and prediction of discrete time series*. N. Y. 6. Vartanyan, V. M., Romanenkov, Yu. A., Kononenko, A. V. (2005). Parametricheskij sintez prognoznoj modeli eksponencialnogo sglazhivaniya. *Vestnik NTU «XPI»*. Sbornik nauchnykh trudov. Tematicheskij vypusk «Sistemnyj analiz, upravlenie i informacionnye tehnologii». Kharkov: NTU «XPI», № 59, 9–16. 7. Rabochaya kniga po prognozirovaniyu (1982). Redkol.: I. V. Bestuzhev-Lada (otv. red.). Moscow: Mysl, 430. 8. Svetunkov, S. G. (2002). O rasshirenii granic primeneniya metoda Brauna. *Izvestiya Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo universiteta ekonomiki i finansov*, №3, 94–107. 9.

Svetunkov, S. G., Svetunkov, I. S. (2010). *Metody socialno-ekonomicheskogo prognozirovaniya: uchebnik dlya vuzov*. Tom II. SPb.: Izd-vo SPbGUEF, 103. 10. Vasilev, A. A. (2013). *Metody vybora postoyannoj sglazhivaniya v modeli prognozirovaniya Brauna*. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, №1 (seriya «Ekonomika i upravlenie»). 2013, Vyp. 17), 183–196. 11. Vasilev, A. A., Vasileva, E. V. (2013). *Issledovanie modeli prognozirovaniya Brauna pri klassicheskix i zapredelnykh znacheniyax postoyannoj sglazhivaniya*. *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, №1 (seriya «Ekonomika i upravlenie»). 2013, vyp. 17), 197–213. 12. Vartanyan, V. M., Romanenkov, Yu. A., Kononenko, A. V. (2007). *Analiz adekvatnosti modelej prognozirovaniya ekonomicheskix pokazatelej predpriyatij*. *Biznes Inform.* Kharkov: Xar. Nac. ekonom. un-t, № 3–4, 103–106. 13. Romanenkov, Yu. A., Zejniev, T. G. (2014). *Metod parametricheskogo sinteza modeli Brauna na osnove retrospektivnoj mnogokriterialnoj optimizacii*. *Zbirnik naukovix prac (galuzeve mashinobuduvannya, budivnicтво)*. Poltava: PoltNTU, №2(41), 48–56. 14. Zejniev, T. G., Romanenkov, Yu. A. (2014). *Postanovka zadachi sinteza optimalnykh robnastnykh prognoznykh ocenok v modeli eksponencialnogo sglazhivaniya*. *Vseukrainska naukovo-texnichna konferenciya «Integrovani komp'yuterni tehnologii v mashinobuduvanni IKTM-2014»: Tezi dopovidej*. Kharkiv: Nacionalnij aerokosmichnij universitet im. M. E. Zhukovskogo «Xarkivskij aviacijnij institut», T. 3, 5. 15. Peters, E. (2000). *Xaos i poryadok na rynku kapitala. Novyj ekonomicheskij vzglyad na cikly, ceny i izmenchivost rynku*. Moscow: Mir, 333. 16. Belyakov, S. S. (2005). *Ispolzovanie agregirovaniya v metodax nelinejnoj dinamiki dlya analiza i prognozirovaniya vremennykh ryadov kotirovok akciy: dis. ... kand. ekon. nauk: 08.00.13: zashhishhena 21.10.05 / Belyakov Stanislav Sergeevich*. Stavropol, 157. 17. Parovik, R. I., Firsov, P. P. (2013). *Fazovyj analiz vremennykh ryadov geofizicheskix polej*. *Vest. KRAUNC. Fiz.-mat. nauki*, №1, 23–29.

Поступила 20. 12. 2015

Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Authors

Романенков Юрий Александрович – кандидат технических наук, доцент, Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского «Харьковский авиационный институт», докторант кафедры менеджмента; ул. Чкалова, 17, Харьков, Украина, 61070; тел.: 067-57-57-300; e-mail: KhAI.management@ukr.net.