

**Ю. А. РОМАНЕНКОВ**, канд. техн. наук, доц., НАУ  
им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», Харьков

## ПАРАМЕТРИЧЕСКИЕ КРИТЕРИИ КАЧЕСТВА РЕТРОСПЕКТИВНЫХ ПРОГНОЗНЫХ ОЦЕНОК

Для решения задачи сравнительного анализа ретроспективных прогнозных оценок предложено нормирующее преобразование ретроспективного уравнения, позволяющее сформировать комплекс количественных параметрических критериев качества ретроспективных прогнозных оценок, включающий в себя показатели чувствительности и робастности. Использование предложенных показателей позволяет осуществить многокритериальную оптимизацию прогнозных моделей в рамках задачи параметрического синтеза.

**Ключевые слова:** параметрический синтез прогнозных моделей, чувствительность и робастность ретроспективных прогнозных оценок.

**Введение.** Качество прогнозов – важнейшая комплексная характеристика прогностической деятельности, включающая в себя точность, надежность и актуальность прогнозов [1]. Точность точечной прогнозных оценки – «краеугольный камень» прогнозирования, неизменная цель всех прогнозистов и аналитиков. Однако точность прогнозных оценок может быть оценена лишь апостериорно, а именно не ранее, чем в момент времени  $t$  (а в реальных ситуациях нередко и позже). Таким образом, точность прогнозных оценок на момент времени  $(t+1)$  – величина, которая может быть оценена в момент времени  $t$  лишь косвенно на основании системы гипотез, допущений и ограничений.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Если рассматривать группу статистических прогнозных моделей [2], т.е. моделей, сформированных на базе описания процесса моментным, одномерным, равноотстоящим, полным временным рядом, то для выбранной исследователем модели неизбежно возникает задача параметрического синтеза, которую в общем виде можно сформулировать следующим образом.

Пусть существует аналитическая зависимость, связывающая прогнозную оценку на момент времени  $(t+1)$  и значения временного ряда в предыдущие моменты времени:

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

где  $\hat{y}_{t+1}$  – прогнозная оценка на момент времени  $(t+1)$ ,  $y_{t-i}$  – значения

временного ряда длиной  $n$ ,  $\lambda$  –внутренний параметр прогнозной модели.

Параметрический анализ прогнозной модели вида (1) состоит в нахождении такого значения внутреннего параметра  $\lambda$ , который обеспечивал бы лучшее качество прогнозной оценки, в частности ее максимальную точность [3]. Основой параметрического анализа может выступать парадигма ретроспективного анализа, состоящая в предположении о сохранении в будущем качества ретроспективных прогнозных оценок, полученных для значений временного ряда в предыдущие моменты времени.

Таким образом, задача параметрического синтеза может быть сведена к решению ретроспективного уравнения следующего вида [4]:

$$\varepsilon_i = \frac{y_i - \hat{y}_i}{y_i} = 1 - \frac{f(y_{t-i}, \lambda)}{y_i} = 0, \quad i = \overline{1, n-1}. \quad (2)$$

Будем предполагать, что степень сложности прогнозной модели эквивалентна увеличению количества компонент прогноза и, как следствие, уравнений вида (1) и количества внутренних (настроечных) параметров. В принятой системе предположений и допущений будем рассматривать простейшую модель прогнозирования вида (1), предполагая полезность результатов и для более сложных моделей.

Пусть на множестве допустимых значений внутреннего параметра уравнение (2) имеет  $m$  вещественных корней  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ . При  $m \geq 2$  из значений  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$  необходимо выбрать то, которое обеспечивает лучшее качество ретро-прогноза на момент времени  $t$ .

**Постановка задачи.** Для решения задачи сравнительного анализа необходимо сформулировать критерии, по которым возможно сравнение ретроспективных прогнозных оценок. Ошибка ретроспективной прогнозной оценки, как и большинство классических критериев качества прогнозных оценок [5], не могут выступать такими критериями, т.к. все значения  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ , будучи корнями уравнения (2), обеспечивают их предельные значения.

**Основная часть.** Для сравнительного анализа всего набора прогнозных оценок, полученных при значениях параметра  $\lambda = \lambda_1, \lambda = \lambda_2, \dots, \lambda = \lambda_m$ , предлагается использовать преобразование, нормирующее значение параметра сглаживания  $\lambda$  относительно каждого из вещественных корней:

$$\lambda = \lambda_j + \Delta\lambda_j = \lambda_j + 0,01\lambda_j\varepsilon_\lambda, \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где  $\lambda_j$  – вещественные корни уравнения (2),  $\Delta\lambda_j$  – абсолютное, а  $\varepsilon_\lambda$  –

относительное отклонение относительно вещественного корня  $\lambda_j$ .

Если в уравнении (2) осуществить подстановку (3), то полученные зависимости для всех вещественных корней ретроспективного уравнения (2) общим количеством  $m$  можно изобразить в единой плоскости параметров  $(\varepsilon_i, \varepsilon_\lambda)$ , как показано на рис. 1.

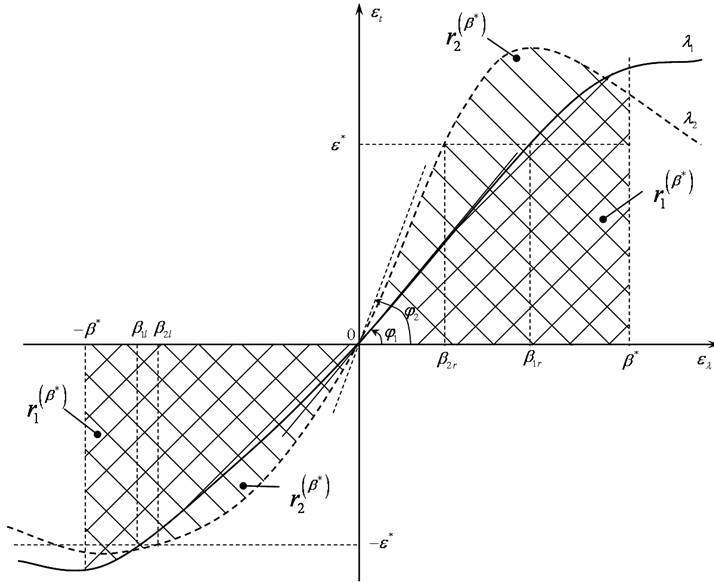


Рис. 1 – Графическая интерпретация параметрических показателей чувствительности и робастности

Все кривые  $\varepsilon_i^{(j)}(\varepsilon_\lambda)$  на рис. 1, соответствующие вещественным корням ретроспективного уравнения (2), проходят через центр  $\overline{0}$  координат, т.к. относительная ошибка прогнозных оценок при  $\lambda = \lambda_j$ ,  $j = 1, m$  равна нулю.

Предлагается использовать в качестве критериев такие характеристики прогнозных оценок, как чувствительность и робастность к изменениям внутренних параметров прогнозной модели [6]. Обе они характеризуют зависимость качества прогнозной оценки (а именно точности) от изменения внутреннего настроечного параметра модели  $\lambda$ .

Чувствительность прогнозной оценки к изменению внутренних параметров прогнозной модели – степень изменения в значении точности прогнозной оценки при небольших изменениях в значениях внутренних независимых переменных.

В качестве показателя чувствительности прогнозной оценки

предлагается использовать значение модуля производной функции ошибки  $\varepsilon'_i(\varepsilon_\lambda)$  в точках  $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$ :

$$s_j = \left| \frac{d\varepsilon_i^{(j)}(\varepsilon_\lambda)}{d\varepsilon_\lambda} \right|_{\varepsilon_\lambda=0} = |\operatorname{tg} \varphi_j|, \quad j = \overline{1, m}, \quad (4)$$

где  $s_j$  – показатель чувствительности  $j$ -й прогнозной оценки,  $\left. \frac{d\varepsilon_i^{(j)}(\varepsilon_\lambda)}{d\varepsilon_\lambda} \right|_{\varepsilon_\lambda=0}$  – значения производной  $j$ -й функции ретроспективной ошибки в точке  $\varepsilon_\lambda = 0$ ,  $\varphi_j$  – угол наклона кривой  $\varepsilon_i^{(j)}(\varepsilon_\lambda)$  в точке  $\varepsilon_\lambda = 0$ ,  $m$  – количество вещественных корней ретроспективного уравнения (2) на множестве допустимых значений.

Робастность прогнозной оценки – способность модели сохранять наперед заданный уровень качества прогноза в максимально широком диапазоне изменений внутренних параметров прогнозной модели.

В качестве показателей робастности предлагается использовать группу характеристик, геометрический смысл которых показан на рис. 1.

1.  $\beta_{jl}, \beta_{jr}$  – левая и правая границы интервала робастности, обеспечивающие сохранение точности прогнозной оценки в пределах  $(-\varepsilon^*; \varepsilon^*)$ .

2.  $\Delta\beta_j = \beta_{jr} - \beta_{jl}$  – ширина интервала робастности.

3.  $r_j^{(\beta^*)} = \frac{1}{\int_{-\beta^*}^{\beta^*} |\varepsilon_i^{(j)}(\varepsilon_\lambda)| d\varepsilon_\lambda}$  – степень робастности в диапазоне  $(-\beta^*; \beta^*)$ ,

степень близости кривой  $\varepsilon_i^{(j)}(\varepsilon_\lambda)$  к оси абсцисс. Например, если при двух прогнозных оценках с одинаковыми значениями  $\beta_{1l} = \beta_{2l}$  и  $\beta_{1r} = \beta_{2r}$  выполняется условие  $r_1^{(\beta^*)} > r_2^{(\beta^*)}$ , то более предпочтительной является первая прогнозная оценка. Очевидно, что  $r_j^{(\beta^*)} \in (0, \infty)$ . Малые значения степени робастности означают значительную чувствительность или неустойчивость прогнозной оценки к изменению параметра  $\lambda$ . Большие значения показателя робастности свидетельствуют, что на всем интервале  $(-\beta^*; \beta^*)$  кривая чувствительности на рис. 1 «прижата» к оси абсцисс, обеспечивая нечувствительность или устойчивость качества прогнозной оценки к

изменению параметра  $\lambda$ .

Показатели  $s_j$ ,  $\Delta\beta_j$ ,  $r_j^{(\beta^*)}$  представляют собой группу критериев, по которым и предлагается оптимизировать прогнозные модели. При этом исследователь должен субъективно выбирать значения  $\varepsilon^*$  и  $\beta^*$ , характеризующие «жесткость» требований к прогнозным оценкам. Отметим, что при  $\varepsilon^* \rightarrow 0$  и  $\beta^* \rightarrow 0$  ценность предложенных показателей становится близкой и оптимизацию целесообразно проводить по одному (любому) из критериев.

**Выводы.** Для решения задачи сравнительного анализа ретроспективных прогнозных оценок предложено нормирующее преобразование ретроспективного уравнения, позволяющее сформировать комплекс количественных параметрических критериев качества ретроспективных прогнозных оценок, включающий в себя показатели чувствительности и робастности. Использование предложенных показателей позволяет осуществить многокритериальную оптимизацию прогнозной модели в рамках задачи параметрического синтеза.

**Список литературы:** 1. Рабочая книга по прогнозированию / Редкол.: И. В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М. : Мысль, 1982. – 430 с. 2. Лукашин Ю. П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: Учебное пособие / Ю. П. Лукашин. – М. : Финансы и статистика, 2003. – 416 с. 3. Вартамян, В. М. Параметрический синтез прогнозной модели экспоненциального сглаживания / В. М. Вартамян, Ю. А. Романенков, А. В. Кононенко // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск «Системный анализ, управление и информационные технологии». – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2005. – № 59 – С. 9–16. 4. Зейнцев Т. Г. Постановка задачи синтеза оптимальных робастных прогнозных оценок в модели экспоненциального сглаживания / Т. Г. Зейнцев, 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. – Том 3. – С. 5. 5. Васильев А. А. Критерии селекции моделей прогноза (обзор) / А. А. Васильев // Вестник Тверского государственного университета. – 2012. - №2. – Серия: “Экономика и управление”. – Вып. 13. – С. 133-148. 6. Романенков Ю. А. Метод параметрического синтеза модели Брауна на основе ретроспективной многокритериальной оптимизации / Ю. А. Романенков, Т. Г. Зейнцев // Збірник наукових праць (галузево машинобудування, будівництво). – Полтава : ПолтНТУ, 2014. – №2(41). – С. 48-56.

**Bibliography (transliterated):** 1. *Rabochaja kniga po prognozirovaniu*. I. V. Bestuzhev-Lada (otv. red.). Moscow: Mysl', 1982. Print. 2. Lukashin, Ju. P. *Adaptivnyye metody kratkosrochnogo prognozirovaniya vremennyh rjadov: Uchebnoe posobie*. Moscow: Finansy i statistika, 2003. Print. 3. Vartanjan, V. M., Ju. A. Romanenkov and A. V. Kononenko "Parametricheskij sintez prognoznoj modeli jeksponencial'nogo sglazhivaniija." *Vestnik NTU «HPI*. Ser.: *Sistemnyj analiz, upravlenie i informacionnye tehnologii*. No. 59. Kharkiv: NTU «HPI». 2005. 9–16. Print. 4. Zejniev, T. G. and Ju. A. Romanenkov "Postanovka zadachi sinteza optimal'nyh robastnyh prognoznyh ocenok v modeli jeksponencial'nogo sglazhivaniija" *Vseukraїns'ka naukovo-tehnichna konferencija «Integrovani komp'juterni tehnologii v mashinobuduvanni IKTМ-2014»: Tezi dopovidej*. Vol 3. Kharkiv: *Nacional'nij aerokosmichnij universitet im. M. S. Zhukov'skogo «Harkiv's'kij aviacijnij institut»*, 2014. 5. Print. 6. Vasil'ev, A. A. "Kriterii selekcii modeliej prognoza (obzor)" *Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo*

*universiteta. Ser.: Jeko-nomika i upravljenje. No. 2. Vyp. 13. Tver. TGU. 2012. 133–148. Print.*  
**6.** Romanenkov, Ju. A. and T. G. Zejniev "Metod parametriceskogo sinteza modeli Brauna na osnovе retrospektivnoj mnogokriterial'noj optimizacii" *Zbirnik naukovih prac' (galuzeve mashinobuduvannja, budivnictvo).* No. 2(41). Poltava: *PoltNTU*, 2014. 48–56. Print.

*Поступила (received) 01.12.2014*

УДК 519.816:656:504.06

**В. О. ХРУТЬБА**, канд. техн. наук, доц., НТУ, Київ;

**Г. О. ВАЙГАНГ**, ст.викладач, НТУ, Київ;

**А. С. ХРУТЬБА**, Національний природний парк "Толосіївський", Київ

## **ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ФОРМУВАННЯ ПОРТФЕЛЯ ПРОЕКТІВ ТРАНСПОРТНОГО ПІДПРИЄМСТВА**

Пропонуються методи та критерії екологічно-відповідального управління портфелем проектів транспортного підприємства. Визначено основні типи проектів портфеля проектів поводження з відходами. Наведено приклад удосконалення системи поводження з відходами транспортного підприємства за допомогою реалізації проектів сформованого портфеля проектів підприємства за критеріями еколого-економічної ефективності.

**Ключові слова:** портфель проектів, транспортне підприємство, поводження з відходами, еколого-економічні критерії.

**Вступ.** Автомобіль при експлуатації, ремонті, виведенні з експлуатації є серйозним джерелом забруднення довкілля. Автотранспортна діяльність здійснює негативний вплив на довкілля, по-перше, через технічний стан парку транспортних засобів; по-друге, через викиди шкідливих речовин і відходи, що утворюються під час технологічних процесів, технічного обслуговування та поточного ремонту автомобілів. Екологічно-відповідальне управління діяльністю транспортних підприємств реалізується через впровадження екологічних проектів та програм [1]. У зв'язку з цим задача формування раціонального портфеля проектів на основі еколого-економічних критеріїв стає особливо складною і відповідальною. Вирішення завдання формування портфеля проектів на основі еколого-економічних критеріїв дозволяє оптимізувати витрати підприємства в частині поводження з відходами, знизити екологічний податок та впровадити систему рециклінгу для використання відходів як вторинної сировини.

**Аналіз останніх досліджень та літератури.** Проблемі поводження з відходами в контексті вирішення питань раціонального природокористування і екологічної безпеки, а також залучення інвестицій в розвиток інноваційного