

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 оценок – «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 , λ –внутренний параметр прогнозной модели.

Параметрический анализ прогнозной модели вида (1) состоит в нахождении такого значения внутреннего параметра λ , 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]:

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

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 λ 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 λ_j – вещественные корни уравнения (2), $\Delta\lambda_j$ – абсолютное, а ε_λ – относительное отклонение относительно вещественного корня λ_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 $(\varepsilon_t, \varepsilon_\lambda)$, как показано на рис. 1.

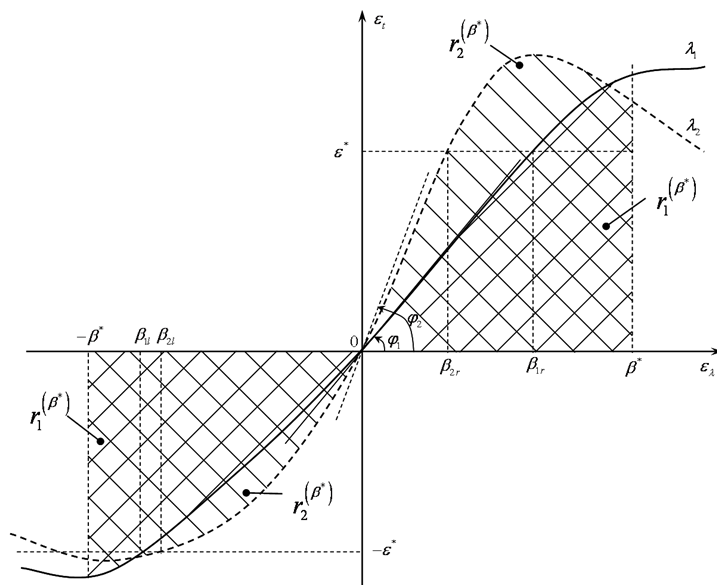


Рис. 1 – Графическая интерпретация параметрических показателей чувствительности и робастности

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

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 $\varepsilon'_t(\varepsilon_\lambda)$ в точках $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_m$:

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

где s_j – показатель чувствительности j -й прогнозной оценки, $\left. \frac{d\varepsilon_t^{(j)}(\varepsilon_\lambda)}{d\varepsilon_\lambda} \right|_{\varepsilon_\lambda=0}$

– значения производной j -й функции ретроспективной ошибки в точке $\varepsilon_\lambda = 0$, φ_j – угол наклона кривой $\varepsilon_t^{(j)}(\varepsilon_\lambda)$ 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. β_{jl}, β_{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. $r_j^{(\beta^*)} = \frac{1}{\int_{-\beta^*}^{\beta^*} |\varepsilon_t^{(j)}(\varepsilon_\lambda)| d\varepsilon_\lambda}$ – степень робастности в диапазоне $(-\beta^*; \beta^*)$,

степень близости кривой $\varepsilon_t^{(j)}(\varepsilon_\lambda)$ 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 λ . 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 λ .

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 ε^* и β^* , 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. Вартанян, В. М. Параметрический синтез прогнозной модели экспоненциального сглаживания / В. М. Вартанян, 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. Зейниев Т. Г. Постановка задачи синтеза оптимальных робастных прогнозных оценок в модели экспоненциального сглаживания / Т. Г. Зейниев, Ю. А. Романенков // Всеукраїнська науково-технічна конференція «Інтегровані комп'ютерні технології в машинобудуванні ІКТМ-2014»: Тези доповідей. – Харків.: Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. 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. Зейниев // Збірник наукових праць (галузеve машинобудування, будівництво). – Полтава: ПолтНТУ, 2014. – №2(41). – С. 48-56.

Bibliography (transliterated): 1. *Rabochaja kniga po prognozirovaniju*. I. V. Bestuzhev-Lada (otv. red.). Moscow: Mysl', 1982. Print. 2. Lukashin, Ju. P. *Adaptivnye 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 prognoznnoj modeli jeksponencial'nogo sglazhivanija." *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 prognoznnyh ocenok v modeli jeksponencial'nogo sglazhivanija" *Vseukraїns'ka naukovo-tehnichna konferencija «Integrovani*

kompiuterni tehnologii v mashinobuduvanni IKTM-2014»: Tezi dopovidej. Vol 3. Kharkiv: Nacional'nij aerokosmichnij universitet im. M. C. Zhukovs'kogo «Harkivs'kij aviacijnij institut», 2014. 5. Print.
5. Vasil'ev, A. A. "Kriterii selekcii modelej prognoza (obzor) " Vestnik Tverskogo gosudarstvennogo universiteta. Ser.: Jeko-nomika i upravlenie. No. 2. Vyp. 13. Tver. TGU. 2012. 133–148. Print.
6. Romanenkov, Ju. A. and T. G. Zejniev "Metod parametricheskogo sinteza modeli Brauna na osnove 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 “Голосіївський”, 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.