УДК 338.27:519.862.6

КРИТЕРИИ СЕЛЕКЦИИ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗА (ОБЗОР)

А.А. Васильев

Тверской государственный университет
Кафедра математики, статистики и информатики в экономике

Приведен обзор внешних (регулярности, непротиворечивости и баланса) и внутренних (абсолютных, сравнительных и качественных) критериев селекции моделей прогноза.
Ключевые слова: *абсолютный критерий точности прогноза, внешний критерий селекции, внутренний критерий селекции, качественный критерий точности прогноза, критерий баланса, критерий непротиворечивости, критерий регулярности, критерий сходимости, селективная модель, сравнительный критерий точности прогноза*.

1. Введение

Селективная модель прогноза – это комбинированная модель прогноза, в которой на каждом шаге прогнозирования организован автоматический выбор по заданному критерию селекции наилучшей модели из числа моделей, входящих в базовый набор [1, с. 121]. При этом вычисление прогнозных значений временного ряда на каждом шаге осуществляется на основе каждой индивидуальной прогностической модели, входящей в базовый набор, но в качестве прогноза используется прогнозное значение индивидуальной модели, наиболее предпочтительное на данном шаге в смысле заданного критерия селекции [1, с. 122].

Небольшие исследования точности прогноза некоторых экономических показателей (курса акций фирмы IBM, цен на свинец, цен на золото [1, с. 126-130] и курса ваучера [2]) с использованием селективных моделей показали, что: 1) точность селективных моделей в ряде случаев выше точности гибридных моделей (для некоторых характеристик точности); 2) точность селективных моделей при прогнозировании некоторых экономических показателей выше точности наиболее точных моделей их базового набора.

Актуальность и практическая значимость использования комбинированных (как селективных, так и гибридных) моделей для прогноза экономических показателей обусловлена тем, что в соответствии с теорией множественности моделей по экспериментальным данным принципиально нельзя найти единственную модель [3, с. 28].

Построение селективной модели включает [1, с. 131]: 1) выбор исходного множества индивидуальных моделей для формирования базового набора прогностических моделей; 2) выбор критерия (критериев) селекции наиболее точной индивидуальной модели.

Индивидуальные модели прогноза (упрощенные, полиномиальные, экспоненциальные, факторные, авторегрессионные, спектральные, фрактальные и другие) подробно описаны и исследованы в учебной и научной литературе. Количество публикаций, посвященных описанию и исследованию комбинированных (в том числе селективных моделей) крайне незначительно. Поэтому целью данной публикации является обзор критериев селекции, так как каждому критерию селекции соответствует, как правило, единственная селективная модель [3, с. 51].

2. Обзор критериев селекции

Каждый критерий селекции обеспечивает определенное свойство модели прогноза [3, с.3].

Критерии выбора прогностической модели делятся на внутренние и внешние.

Критерий селекции называется внутренним, если он использует те же данные, на основании которых была построена модель (сформирован прогноз) [3, с. 30].

Критерий селекции называется внешним, если он основан на новых данных, которые не использовались для построения модели [3, с. 30].

2.1. Внутренние критерии селекции

В качестве внутренних критериев селекции прогностической модели используются критерии точности точечного прогноза и производные от них критерии. Критерии точности точечного прогноза делятся на три группы: абсолютные, сравнительные и качественные [4, с. 198].

2.1.1. Абсолютные критерии точности прогноза

К абсолютным критериям точности прогноза относятся критерии, которые позволяют количественно определить величину ошибки прогноза в единицах измерения уровней ряда или в процентах [4, с. 199]. Наиболее часто используемые в настоящее время критерии данного вида приведены в табл. 1.

Критерии точности прогноза 3-9 являются обобщающими показателями точности модели [5, с. 69]. Идеальное значение всех перечисленных в табл. 1 критериев селекции равно 0 [8, с. 78].

Так как при расчете критериев SSE, RMSE и MSE каждое отклонение расчетного уровня от фактического значения возводится в квадрат, то эти показатели чувствительны к наличию больших ошибок прогнозов. При этом следует отметить, что модель, постоянно дающая средние по величине ошибки, предпочтительнее, чем модель, допускающая наряду с малыми ошибками серьезные отклонения от фактических уровней [5, с. 72].

Таблица 1

Абсолютные критерии точности прогноза

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
1	Абсолютная ошибка прогноза (для каждого момента времени)	$e_i = \hat{y}_i - y_i$, $-\infty \le e_i \le +\infty$, где y_i – фактическое значение показателя y в момент времени i; $\hat{y}_i$ – прогнозное значение показателя y на момент времени i, полученное в предыдущий момент времени	[4, с. 199]; [5, с. 69]
2	Относительная ошибка прогноза в процентах (для каждого момента времени)	$\delta_i = \frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i} \cdot 100\% = \frac{e_i}{y_i} \cdot 100\%$, $-\infty \le \delta_i \le +\infty$	[4, с. 199]; [5, с. 70]
3	Максимальная абсолютная ошибка прогноза	$e_{max} = \max\limits_{i \in \{1,\ldots,n\}} e_i$, $-\infty \le e_{max} \le +\infty$, где n - количество моментов (интервалов) времени, по которым оценивается точность прогноза	[2, с. 15]
4	Сумма квадратов ошибок (sums of squared error, SSE)	$SSE = \sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - y_i)^2 = \sum_{i=1}^{n} e_i^2$, $0 \le SSE \le +\infty$	[5, с. 71]
5	Средняя квадратическая ошибка (root mean squared error, RMSE)	$\hat{\sigma} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - y_i)^2} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i^2}$, $0 \le \hat{\sigma} \le +\infty$	[4, с. 199]; [5, с. 71]; [6, с. 79]
6	Средний квадрат ошибки (mean squared error, MSE)	$MSE = \hat{\sigma}^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - y_i)^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} e_i^2$, $0 \le MSE \le +\infty$	[6, с. 19]; [7, с. 35]

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
7	Среднее абсолютное отклонение (mean absolute derivation, MAD)	$MAD = \bar{e} =$ $= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\hat{y}_i - y_i\right| = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|e_i\right|,$ $0 \le MAD \le +\infty$	[4, с. 199]; [5, с. 69]; [6, с. 43]; [8, с. 80]
8	Средняя процентная ошибка (mean percentage error, MPE), характеризует смещение прогноза	$MPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i}\cdot 100\,\% =$ $= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{e_i}{y_i}\cdot 100\,\% = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\delta_i,$ $-\infty \le MPE \le +\infty$	[5, с. 71]
9	Средняя абсолютная ошибка в процентах (mean absolute percentage error, MAPE)	$MAPE = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|\hat{y}_i - y_i\right|}{y_i}\cdot 100\,\% =$ $= \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\frac{\left|e_i\right|}{y_i}\cdot 100\,\% = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\delta_i\right|,$ $0 \le MAPE \le +\infty$	[4, с. 200]; [5, с. 70]; [6, с. 43]; [8, с. 80]

Критерий MAPE используется для сравнения точности прогнозов любых (в том числе разнородных) объектов прогнозирования, имеющих даже разные единицы измерения. Такая универсальность, не учитывающая специфики временных рядов и особенностей прогнозных расчетов (назначения прогнозов, времени упреждения), делает этот подход достаточно “механическим” [5, с. 70-71]. Истолкование значений средней абсолютной ошибки прогноза в процентах приведено в табл. 2 [5, с. 70].

Таблица 2

Истолкование значений $MAPE$

Диапазон значений $MAPE$	Истолкование точности прогноза
$0\,\% \le MAPE < 10\,\%$	Высокая точность
$10\,\% \le MAPE < 20\,\%$	Хорошая точность
$20\,\% \le MAPE \le 50\,\%$	Удовлетворительная точность
$MAPE > 50\,\%$	Неудовлетворительная точность

Производные критерии селекции (от абсолютных критериев точности точечного прогноза) представлены в табл. 3.

Таблица 3

Производные от абсолютных критериев точности критерии селекции

№	Наименование	Формулировка критерия	Источник
1	Критерий К	Переключение на данную индивидуальную модель осуществляется тогда, когда К ее последних прогнозов являются наилучшими по сравнению с прогнозами по другим моделям, входящим в базовый набор	[1, с. 123]
2	Критерий В	Переключение на данную индивидуальную модель осуществляется тогда, когда ее экспоненциально сглаженный квадрат ошибки прогнозирования В, вычисляемый по формуле $B_t = (1-\alpha) e^2_{t-1} + \alpha e^2_\tau (t-\tau)$ (где $0 \le \alpha \le 1$ - параметр сглаживания, $e_\tau (t-\tau)$ - ошибка прогноза, сделанного в момент $(t-\tau)$ на τ шагов вперед), минимален по сравнению с аналогичным показателем для остальных моделей базового набора. При $\alpha = 1$ критерий В эквивалентен критерию К при К=1.	[1, с. 123]

При использовании критерия К следует учитывать, что, с одной стороны, в общем случае нельзя исходить только из ошибки прогнозирования на предыдущем шаге, так как из-за случайных составляющих временного ряда наиболее точный результат будет то у одной, то у другой индивидуальной прогностической модели [1, с. 123], с другой стороны, промедление с переключением с одной модели на другую может привести к снижению точности селективной модели на всем интервале прогнозирования [1, с. 124].

2.1.2. Сравнительные критерии точности прогноза

Сравнительные критерии точности прогноза – это критерии, основанные на сравнении ошибки рассматриваемого прогноза с ошибками эталонных прогнозов определенного вида. В качестве эталонных прогнозов, как правило, используются прогнозы, полученные с использованием упрощенных (наивных) моделей прогноза [4, с. 201]. Критерии данного вида приведены в табл. 4.

Таблица 4

Сравнительные критерии точности прогноза

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
1	Общая форма сравнительного критерия точности	$$K=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i^*-y_i)^2}},$$ $$-\infty\le K\le+\infty,$$ где $\hat{y}_i^*$ - прогнозное значение, полученное с использованием эталонной модели прогнозирования	[4, с. 201]
2	Коэффициент несоответствия (КН), частный случай критерия 1, в котором $\hat{y}_i^*=0$ для всех значений индекса i	$$KH=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}y_i^2}},$$ $$0\le KH\le+\infty.$$ $KH=0$ в случае совершенного прогноза (когда $\hat{y}_i=y_i$ для всех значений индекса i) и $KH=1$, когда рассматриваемая модель прогноза имеет ту же ошибку, что и эталонная модель.	[4, с. 201]; [7, с. 36]
3	Модификация коэффициента несоответствия (KH_1)	$$KH_1=\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i-y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(\overline{y}-y_i)^2}},$$ где $\overline{y}=\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i$ - среднее значение фактических значений уровней ряда за анализируемый период. Вычисляется как отношение среднеквадратической ошибки рассматриваемой модели прогноза к ошибке, которая имела бы место, если принять в качестве прогноза для каждого значения индекса i среднее значение уровня динамического ряда за анализируемый период.	[4, с. 201]; [7, с. 69]

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
		Если $KH_1 > 1$, то прогноз на уровне среднего значения дает лучший результат для данного динамического ряда, чем рассматриваемая модель прогноза [3, с. 201].	
4	Выборочный коэффициент корреляции между прогнозируе-мыми и фактическими значениями динамического ряда	$\hat{r} = \dfrac{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}}$, где $\bar{\hat{y}} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\hat{y}_i$ - среднее значение прогнозных значений уровней ряда за анализируемый период; $-1 \le \hat{r} \le 1$	[4, с. 202]; [7, с. 38-39]
5	Коэффициент детерминации (доля объясненной дисперсии) – отношение объясненной дисперсии к полной дисперсии	$R^2 = 1 - \dfrac{MSE}{\hat{\sigma}_Y^2} = 1 - \dfrac{\sum_{i=1}^{n} e_i^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2} = 1 - \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2} = \dfrac{\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$, $0 \le R^2 \le 1$, идеальное значение коэффициента детерминации равно 1	[6, с. 40]; [8, с. 27]
6	Коэффициент неравенства Тейла (Theil’s inequality coefficient)	$U = \dfrac{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}}{\sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\hat{y}_i^2} + \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}y_i^2}}$, $0 \le U \le 1$	[6, с. 51]; [8, с. 38]; [9, с. 37]

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
7	Средняя относительная ошибка по модулю	$\overline{A} = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left\lvert\frac{\hat{y}_i - y_i}{y_i}\right\rvert \cdot 100\%$, $0 \le \overline{A} \le +\infty$, качество прогноза считается хорошим, если $\overline{A} \le 5-7\%$ (в других источниках $\overline{A} \le 8-10\%$; $\overline{A} \le 12-15\%$)	[8, с. 38]

Одним из недостатков использования коэффициента корреляции в качестве измерителя точности прогнозов является то, что полная положительная корреляция не предполагает совершенного прогноза, а свидетельствует только о существенной линейной зависимости между рядами прогнозных и фактических уровней ряда, то есть если $\hat{r} = 1$, то, существуют такие константы a и b ($b > 0$), что $\hat{y}_t = a + b\,y_t$.При этом для совершенного прогноза необходимо, чтобы $a = 0$ и $b = 1$. Поэтому коэффициент корреляции наиболее пригоден для анализа точности прогнозов циклически изменяющихся уровней ряда [4, с. 202; 9, с. 37].

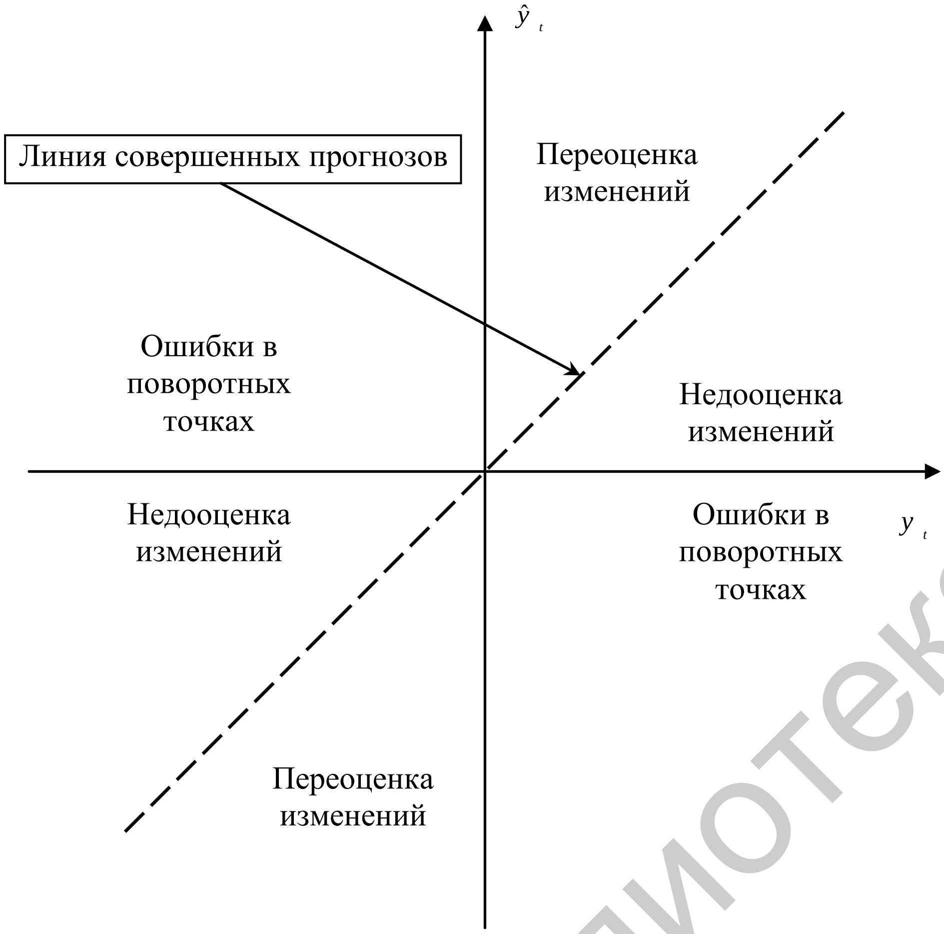
В связи с этим недостатком коэффициента корреляции как меры точности прогноза Г. Тейлом был предложенный альтернативный показатель – коэффициент расхождения между фактическим и прогнозным рядами [9, с. 37], названный впоследствии коэффициентом неравенства Тейла. Этот коэффициент так же, как и MAPE, не зависит от единицы измерения экономического показателя. Идеальное значение коэффициента неравенства Тейла равно 0 (в этом случае прогноз совершенен) [8, с. 38].

2.1.3. Качественные критерии точности прогноза

Качественные критерии точности прогноза – это критерии, которые позволяют провести анализ видов ошибок прогнозов и разложить их на какие-либо составляющие. Такой анализ особенно важен для циклически изменяющихся переменных, когда необходимо прогнозировать не только общее направление развития, но и поворотные точки цикла [4, с. 202]. Качественный анализ точности прогноза может быть проведен двумя методами: 1) графическим методом; 2) методом разложения средней квадратической ошибки прогноза на доли несоответствия.

Графический метод анализа точности прогноза заключается в построении диаграммы “прогноз – реализация”. Суть этого метода состоит в построении облака точечных прогнозов в декартовой системе координат на плоскости, в которой по одной оси откладывается фактическое значение уровня ряда, а по другой – прогнозируемое [4, с. 202]. Схематичный вид диаграммы “прогноз – реализация” показан на рис. 1, заимствованном из [4, с. 203].

Анализ диаграммы “прогноз – реализация” позволяет содержательно оценить качество различных прогнозов, рассчитать некоторые коэффициенты, характеризующие качество прогнозирования поворотных точек и выделить наиболее типичные ошибки (недооценки или переоценки изменений) [4, с. 202-203].



Р и с . 1. Диаграмма “прогноз - реализация”

Метод разложения средней квадратической ошибки прогноза на доли несоответствия предложен Г. Тейлом. Разложение средней квадратической ошибки прогноза позволяет исследовать ее природу.

Разложение Тейла на доли (коэффициенты) несоответствия имеет вид [4, с. 204; 7, с. 39]

$$U^M + U^S + U^C = 1 .$$

Характеристика долей разложения ошибок прогноза Тейла приведена в табл. 5.

Таблица 5

Качественные критерии точности прогноза

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
1	Доля смещения (доля систематической ошибки прогноза, bias proportion)	$U^M = \dfrac{(\bar{\hat{y}} - \bar{y})^2}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}$, $0 \le U^M \le 1$, идеальное значение равно 0	[4, с. 204]; [7, с. 39]; [8, с. 82]
2	Доля вариации (variance proportion)	$U^S = \dfrac{(S_{\hat{y}} - S_y)^2}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}$, где $S_{\hat{y}} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - \bar{\hat{y}})^2}$ - среднее квадратическое отклонение прогнозных значений уровней ряда за анализируемый период; $S_y = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(y_i - \bar{y})^2}$ - среднее квадратическое отклонение фактических значений уровней ряда за анализируемый период; $0 \le U^S \le 1$; идеальное значение равно 0	[4, с. 204]; [7, с. 39]; [8, с. 82]
3	Доля ковариации (covariance proportion)	$U^C = \dfrac{2(1 - \hat{r}) \cdot S_{\hat{y}} \cdot S_y}{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(\hat{y}_i - y_i)^2}$, $0 \le U^C \le 1$, идеальное значение равно 1	[4, с. 204]; [7, с. 39]; [8, с. 83]

Доля смещения показывает, насколько средняя величина прогнозируемого значения отклоняется от средней величины его фактического значения [8, с. 82-83]. Доля смещения показывает наличие ошибки в оценке центральной тенденции ($U^M > 0$, когда среднее арифметическое значение прогнозов отличается от среднего арифметического значения фактических данных; на диаграмме “прогноз - реализация” отсутствие данной ошибки означает, что центр тяжести точечных прогнозов лежит на линии совершенных прогнозов) [4, с. 204].

Доля вариации $U^S = 0$ в том случае, когда $S_{\hat{y}} = S_y$, поэтому этот показатель отражает соответствие вариации прогнозных значений вариации фактической динамики уровней ряда [4, с. 204].

Доля ковариации показывает долю несистематической ошибки в общей величине дисперсии ошибки прогноза [8, с. 82]. Когда доля ковариации равна единице, то это означает, что доля вариации и доля систематической ошибки в прогнозах равны нулю. В этом случае можно было бы сделать вывод об идеальном качестве полученных прогнозов, чего на практике, как правило, не бывает [8, с. 83].

Доля ковариации равна нулю, когда выборочный коэффициент корреляции $\hat{r}$ между прогнозными и фактическими значениями равен 1, что на диаграмме "прогноз - реализация" соответствует случаю, когда все точки лежат на одной прямой. Анализ данного критерия позволяет выделить те случаи, когда прогноз, являясь удовлетворительным по первым двум критериям, имеет взаимную компенсацию ошибок для разных наблюдений [4, с. 204].

2.2. Внешние критерии селекции

Современные теория и практика экономического прогнозирования основаны на использовании внутренних критериев селекции моделей прогноза. Однако в соответствии с теоремой неполноты Геделя (применительно к решению задачи прогнозирования) по эмпирическим данным принципиально нельзя выбрать единственную модель прогноза без привлечения некоторого внешнего дополнения [3, с. 33]. Под внешним дополнением понимается требование, предъявляемое одной частью неоднородной системы к другой ее части [3, с. 29].

В качестве внешних дополнений в задаче выбора модели прогноза используются внешние критерии селекции. Применение большинства внешних критериев селекции предполагает разделение временного ряда на две части: обучающую A (по которой производится оценивание параметров прогностической модели) и проверочную B (при помощи которой осуществляется выбор пригодной модели) [10, с. 74]. Основные внешние критерии селекции приведены в табл. 6.

Таблица 6

Внешние критерии селекции моделей прогноза

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
1	Критерий регулярности	$\Delta^2(B) = \dfrac{\sum_{i \in B} (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i \in B} y_i^2}$, $0 \le \Delta^2(B) \le \infty$, идеальное значение равно 0	[3, с. 44-45]; [10, с. 74-75]

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
2	Критерий минимума смещения (непротиворечивости)	$$n_{см}^2 = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i^A - \hat{y}_i^B)^2}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2}$$ $\left(n_{см}^2 = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i^A - \hat{y}_i^B)^2\right.$ - частный случай), $0 \le n_{см}^2 \le \infty$, идеальное значение равно 0	[10, с. 75-76]
3	Критерий точности краткосрочного прогноза	$$\Delta^2(C) = \frac{\sum_{i \in C} (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i \in C} y_i^2},$$ $0 \le \Delta^2(C) \le \infty$, идеальное значение равно 0. Значение этого критерия вычисляется по экзаменационной выборке C, которая выделяется дополнительно к обучающей A и проверочной B выборкам. При $\Delta^2(C) \le 0,5$ прогноз считается хорошим, при $0,5 < \Delta^2(C) \le 0,8$ - удовлетворительным, при $\Delta^2(C) = 1$ - соответствующим точности прогноза по среднему арифметическому уровней ряда. При $\Delta^2(C) > 1$ применять прогнозирующую модель не имеет смысла.	[10, с. 78-79]
4	Критерий точности (сходимости) пошагового интегрирования	$$I^2(N) = \frac{\sum_{i=1}^{n} (\hat{y}_i - y_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} y_i^2},$$ рекомендуется для конечно-разностных прогнозирующих моделей авторегрессионного типа	[3, с. 47-48]; [10, с. 83-84]

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
5	Критерий баланса переменных	Критерий баланса переменных применяется при одновременном прогнозе нескольких переменных. При постоянном комплексе условий и при отсутствии нарушений структуры объекта действующие на наблюдаемом интервале времени закономерности (физические или экономические зависимости переменных) сохраняются и в будущем. Согласно критерию баланса из множества моделей прогноза выбирается та, которая в определенном интервале времени лучше всего соответствует заданной закономерности. Например, критерий баланса годовых и месячных прогнозов имеет вид $$B^2 = \sum_{i=1}^{n} \left[\hat{y}_i - \sum_{j=1}^{12} \hat{y}_{ij} \right]^2,$$ где $\hat{y}_i$ - i-е прогнозное значение годового уровня ряда; $\hat{y}_{ij}$ - j-е прогнозное значение месячного уровня ряда в i-м году; $$0 \le B^2 \le \infty;$$ идеальное значение равно 0.	[3, с. 48-51]; [10, с. 79-82]
6	Комбинированные критерии	1. “Минимум смещения плюс регулярность”: $$\rho_1 = \sqrt{n_{см}^2 + \Delta^2(B)}.$$ 2. “Минимум смещения плюс баланс переменных”: $$\rho_2 = \sqrt{n_{см}^2 + B^2}.$$ 3. “Минимум смещения плюс сходимость пошагового прогноза”: $$\rho_3 = \sqrt{n_{см}^2 + I^2(N)}.$$	[3, с. 51-53]; [10, с. 85-86]

№	Наименование	Выражение для вычисления	Источник
7	Последователь-ное применение критериев	Последовательное применение критериев селекции заключается в предварительном отборе моделей прогноза на основе критерия регулярности $\Delta^2(B)$ и в выборе из оставшихся после этого моделей наиболее точной путем, например, последовательного применения критериев непротиворечивости $n^2_{см}$, точности краткосрочного прогноза $\Delta^2(C)$ и баланса B^2.	[3, с. 53]; [10, с. 86-87]

Физический смысл критерия регулярности заключается в том, что он ориентирован на выбор модели прогноза, которая будет наиболее точной на множестве будущих уровней ряда. Поэтому критерий регулярности рекомендуется использовать в качестве вспомогательного (регуляризующего) при выборе модели краткосрочного прогноза на один-два шага вперед [3, с. 45].

Критерий минимума смещения выражает требование непротиворечивости модели прогноза. Для вычисления его значения выборка уровней ряда делится на две равные части A и B, на каждой из которых производится идентификация параметров модели прогноза. Затем вычисляются прогнозные значения всех уровней ряда с использованием этих двух модификаций одной и той же модели прогноза. Истолкование критерия непротиворечивости состоит в следующем: результаты прогноза по модели, параметры которой идентифицированы по выборке A, должны как можно ближе совпадать с результатами прогноза по модели, параметры которой идентифицированы по выборке B [10, с. 75]. Другой вариант критерия непротиворечивости рассмотрен в [3, с. 45-46].

Критерий точности краткосрочного прогноза, используемый в теории самоорганизации прогнозирующих моделей в качестве внешнего критерия, на самом деле является внутренним критерием, определяемым по экзаменационной выборке.

Критерий точности (сходимости) пошагового интегрирования формально является внутренним критерием. Однако используется в качестве внешнего дополнения, так как он не требует разделения на обучающую и проверочную выборки из-за независимости друг от друга интеграла и его аргументов (интеграл и его аргументы можно рассматривать как новую информацию) [3, с. 48; 10, с. 83].

Критерий минимума смещения и разные варианты критерия баланса не всегда позволяют выбрать единственную модель прогноза. Для однозначного выбора единственной модели теория самоорганизации прогнозирующих моделей рекомендует использовать данные критерии совместно с регуляризующими критериями [10, с. 25].

Основная цель комбинирования критериев селекции или их последовательного применения заключается в предотвращении неоднозначности выбора модели прогноза [3, с. 52]. Кроме того, использование отдельных критериев селекции может оказаться неэффективным. Так, при применении критерия непротиворечивости результаты прогноза по модели, параметры которой идентифицированы по выборке A, могут практически совпадать с результатами прогноза по модели, параметры которой идентифицированы по выборке B, и быть при этом одинаково неточными [10, с. 85].

3. Выводы

Проведенный обзор критериев селекции моделей прогноза позволяет сделать следующие выводы.

1. Выбор критерия селекции модели прогноза определяется рядом факторов: типом решаемой задачи, характером изменения уровней временного ряда, множеством моделей прогноза, целью и задачами исследования.

2. Результаты исследования точности прогноза реальных экономических показателей на основе селективных моделей, построенных с использованием разных критериев селекции, фактически отсутствуют в литературе по экономическому прогнозированию. Это обусловлено тем, что исследование точности таких моделей возможно только экспериментальным путем, так как теоретический анализ их точности затруднителен в связи с тем, что переключение с одной индивидуальной модели на другую зависит от базового набора моделей и особенностей прогнозируемого временного ряда [1, с. 124].

3. Оценка целесообразности использования селективных моделей и разработка рекомендаций по их применению в практике экономического прогнозирования требуют обширных экспериментальных исследований точности прогноза разных экономических показателей на основе этих моделей в разных условиях функционирования экономических объектов.

Список литературы

1. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
2. Васильев А.А., Васильева Е.В. Последовательный одношаговый прогноз дискретных нестационарных динамических рядов из малого количества наблюдений на основе определения взвешенного среднего веера прогноза / Вопросы теории и практики автоматизированной обработки экономической информации: сб. науч. тр. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 1995. – С. 9-19.
3. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем. – Киев: Наукова думка, 1981. – 296 с.
4. Статистическое моделирование и прогнозирование : учеб. пособие / Г.А. Гамбаров, Н.М. Журавель, Ю.Г. Королев и др.; под ред. А.Г. Гранберга. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 383 с.

5. Дуброва Т.А. Прогнозирование социально-экономических процессов: учеб. пособие. – 2-е изд., испр. и доп. - М.: Маркет ДС, 2010. – 192 с.
6. Слуцкин Л.Н. Курс МВА по прогнозированию в бизнесе: учеб. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 277 с.
7. Тейл Г. Прикладное экономическое прогнозирование: монография / Пер. с англ. – М.: Прогресс, 1970. – 509 с.
8. Брюков В.Г. Как предсказать курс доллара. Эффективные методы прогнозирования с использованием Ecxel и EViews. – М.: КНОРУС; ЦИПСиР, 2011. – 272 с.
9. Тейл Г. Экономические прогнозы и принятие решений: монография / Пер. с англ. – М.: Статистика, 1971. – 488 с.
10. Ивахненко А.Г., Мюллер Й.А. Самоорганизация прогнозирующих моделей. – Киев: Техника, 1985; Берлин: ФЭБ Ферлаг Техник, 1984. – 223 с.

THE SELECTION CRITERIA OF FORECAST MODELS (REVIEW)

A.A. Vasiliev

Tver State University
Department of mathematics, statistics and economic informatics

The review considers the external (regularity, consistency and balance) and internal (absolute, comparative and qualitative) criteria for selection of forecast models.
Keywords: *absolute criterion of forecast accuracy, the external selection criterion, internal selection criteria, qualitative criteria of forecast accuracy, balance criterion, the consistency criterion, regularity criterion, the convergence criterion, the selective model, the comparative criterion of forecastaccuracy.*

Об авторе:

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой математики, статистики и информатики в экономике Тверского государственного университета, e-mail: *vasiljev-tvgu@yandex.ru*