

ВОПРОСЫ РАЗВИТИЯ ИННОВАЦИОННО-ИНВЕСТИЦИОННОГО ПОТЕНЦИАЛА ЭКОНОМИКИ

УДК 338.27:519.862.6

ОБЪЕДИНЕНИЕ ПРОГНОЗОВ НА ОСНОВЕ ОЦЕНКИ ХОДЖЕСА-ЛЕМАНА И ЕЕ МОДИФИКАЦИЙ

А.А. Васильев

Тверской государственной университет, г. Тверь

В работе предложено использовать для объединения прогнозов частных моделей прогнозирования модифицированные оценки Ходжеса-Лемана вместо традиционно используемого взвешенного арифметического среднего. Поэтому цель исследования заключалась в сравнении показателей точности прогноза гибридных моделей на основе объединения прогнозов с использованием модифицированных оценок Ходжеса-Лемана и гибридной модели на основе объединения прогнозов с использованием взвешенного арифметического среднего значения. Результаты проведенного исследования на множестве реальных временных рядов подтвердили гипотезу о том, что предложенные модели по некоторым показателям точности прогноза превосходят модель на основе взвешенного арифметического среднего значения.

***Ключевые слова:** взвешенное арифметическое среднее, винзорированная оценка Ходжеса-Лемана, объединение прогнозов, оценка Бикела-Ходжеса, оценка Ходжеса-Лемана, простое арифметическое среднее.*

Введение

В современном прогнозировании наблюдается тенденция к созданию комбинированных моделей, в частности, на основе объединения прогнозов, полученных с использованием индивидуальных моделей прогнозирования. Объединение прогнозов индивидуальных моделей имеет особую значимость при прогнозировании показателей инновационных процессов, временные ряды которых имеют короткую актуальную часть. Для таких временных рядов невозможна достоверная идентификация параметров индивидуальной модели прогнозирования.

Идея построения комбинированной модели прогнозирования на основе объединения прогнозов нескольких статистических моделей была обоснована Дж. Бэйтсом и К. Гренжером в 1969 г. в [1], которые предложили находить комбинированный прогноз в виде взвешенного арифметического среднего значения множества индивидуальных прогнозов.

Применение комбинированной модели прогнозирования на основе объединения прогнозов с использованием взвешенного арифметического среднего значения множества индивидуальных прогнозов связано со следующими проблемами: 1) выражения для вычисления весов, оптимальные по критерию минимума дисперсии ошибки комбинированного прогноза, получены в предположениях, что индивидуальные прогнозы не содержат систематической ошибки, а сами ошибки распределены в соответствии с нормальным законом с неизменяющейся во времени дисперсией [2, с. 32]; 2) опыт прогнозирования временных рядов показывает [3, с. 363], что эти допущения зачастую не выполняются; 3) на начальных этапах объединения прогнозов оптимальные значения весов не могут быть получены из-за отсутствия оценок дисперсий ошибок индивидуальных прогнозов [2, с. 32].

В связи с отмеченными обстоятельствами одно из направлений совершенствования статистических методов объединения прогнозов связано с использованием устойчивых статистических оценок. В рамках этого подхода для объединения прогнозов предложено использовать М-оценку [4, с. 49], оценку Ходжеса-Лемана и оценку Хьюбера типа усеченного среднего [5, с. 53-54].

Предметом настоящего исследования являются гибридные модели прогнозирования на основе объединения прогнозов индивидуальных моделей с использованием модификаций оценки Ходжеса-Лемана, а именно винзорированных оценок Ходжеса-Лемана и оценки Бикела-Ходжеса.

Цель исследования заключается в сравнении показателей точности прогноза гибридных моделей на основе объединения прогнозов с использованием оценки Ходжеса-Лемана и ее модификаций, с использованием взвешенного арифметического среднего значения, а также с использованием простого арифметического среднего значения, так как экспериментально установлено, что зачастую простое усреднение индивидуальных прогнозов дает лучшие результаты, чем взвешенное [6, с. 66].

1. Выражения для вычисления комбинированного прогноза

Выражение для линейной комбинации n независимых прогнозов, оптимальной по критерию минимума дисперсии ошибки комбинированного прогноза в предположениях, что частные прогнозы не содержат систематической ошибки, а дисперсии их ошибок не изменяются во времени, имеет вид [7, с. 267-269]

$$\hat{y}_T = \sum_{i=1}^n k_i \hat{y}_{i,T}, \quad (1)$$

где \hat{y}_T - прогноз показателя y на момент времени T на основе гибридной модели; $\hat{y}_{i,T}$ - прогноз показателя y на момент времени T

на основе i -й индивидуальной модели; $k_i = \frac{1}{\sigma_{\hat{y}_i}^2 \sum_{j=1}^n \frac{1}{\sigma_{\hat{y}_j}^2}}$ – вес прогноза

i -й индивидуальной модели; $\sigma_{\hat{y}_i}^2$ – дисперсия ошибки прогноза показателя y на основе i -й индивидуальной модели.

Выражение для вычисления комбинированного прогноза на основе простого арифметического среднего значения множества индивидуальных прогнозов на один интервал времени имеет вид

$$\hat{y}_T = \sum_{i=1}^n \hat{y}_{i,T} \cdot k_i$$

Выбор оценки Ходжеса-Лемана в [5] для объединения прогнозов обусловлен тем, что среднее арифметическое значение является неустойчивой статистической оценкой и наличием у оценки Ходжеса-Лемана ряда привлекательных свойств (инвариантность относительно масштаба; естественно ограниченная функция влияния больших ошибок на значение оценки; высокое значение асимптотической относительной эффективности для различных распределений вероятностей).

Выражение для комбинированного прогноза с использованием оценки Ходжеса-Лемана [8, с. 54], представляющей собой медиану средних Уолша, в обозначениях (1) имеет вид

$$\hat{y}_T^{X-L} = \underset{i,j \in B}{med} \{(\hat{y}_{i,T} + \hat{y}_{j,T})/2\}, B = \{(i, j): 1 \leq i \leq j \leq n\}, \quad (2)$$

где $\hat{y}_{1,T} \leq \hat{y}_{2,T} \leq \dots \leq \hat{y}_{n,T}$ – упорядоченные значения n прогнозов показателя y на момент времени T на основе индивидуальных моделей; B – подмножество индексов (i, j) , содержащихся в множестве $\{(i, j): 1 \leq i \leq j \leq n\}$.

Выражение для комбинированного прогноза с использованием винзорированной оценки Ходжеса-Лемана [8, с. 107] имеет вид

$$\hat{y}_T^{X-L-B} = \underset{i,j \in B}{med} \{(\hat{y}_{i,T} + \hat{y}_{j,T})/2\},$$

$$B = \{(i, j): 0 \leq j - i \leq [(1 - \gamma)(n + 1)]\},$$

где γ , $0 \leq \gamma \leq 1$, – параметр, определяющий количество используемых при вычислении медианы попарных средних; $[\cdot]$ – наибольшее целое число.

При $\gamma = 0$ винзорированная оценка Ходжеса-Лемана совпадает с обычной оценкой Ходжеса-Лемана, при $\gamma = 1$ – с медианой выборки $\hat{y}_{1,T}, \hat{y}_{2,T}, \dots, \hat{y}_{n,T}$. Винзоризация используемых при вычислении оценки Ходжеса-Лемана попарных средних направлена на исключение при вычислении медианы порядковых статистик, которые расположены далеко друг от друга в упорядоченной выборке [8, с. 107].

Выражение для комбинированного прогноза с использованием оценки Бикела-Ходжеса [9, с. 18] в обозначениях (1) имеет вид

$$\hat{y}_T^{B-X} = \underset{1 \leq i \leq n}{\text{med}} \{ (\hat{y}_{i,T} + \hat{y}_{n+1-i,T}) / 2 \}.$$

При этом сам Ходжес называл данную оценку оценкой Ф. Гальтона [8, с. 56].

2. Гибридные модели прогнозирования для исследования

В исследовании базовый набор гибридной модели формировался с использованием следующих частных моделей прогнозирования на один интервал времени вперед, которые могут применяться на начальных этапах прогнозирования:

1) модель на основе предыдущего значения показателя, предназначенная для прогнозирования стационарного временного ряда;

2) модель на основе абсолютного прироста за предыдущий интервал времени, предназначенная для прогнозирования нестационарного временного ряда с линейным трендом без сезонной составляющей;

3) модель на основе коэффициента роста за предыдущий интервал времени, предназначенная для прогнозирования нестационарного временного ряда с показательным трендом без сезонной составляющей;

4) модель на основе простого среднего значения, предназначенная для прогнозирования стационарного временного ряда;

5) модель на основе среднего абсолютного прироста, предназначенная для прогнозирования нестационарного временного ряда с линейным трендом без сезонной составляющей;

6) модель на основе среднего коэффициента роста, предназначенная для прогнозирования нестационарного временного ряда с показательным трендом без сезонной составляющей;

7) однопараметрическая модель Брауна на основе экспоненциального среднего нулевого порядка, предназначенная для прогнозирования стационарного временного ряда;

8) двухпараметрическая модель Хольта, предназначенная для прогнозирования нестационарного временного ряда с линейным трендом без сезонной составляющей.

Первые шесть моделей относятся к классу упрощенных (“наивных”), 7 и 8 модели – к классу моделей на основе экспоненциальных средних.

Более совершенные модели прогнозирования (регрессии, авторегрессии, скользящего среднего, авторегрессии проинтегрированного скользящего среднего (модель ARIMA)) в базовые наборы гибридных моделей на начальных этапах прогнозирования не могут быть включены, так как они предназначены для прогноза протяженных временных рядов. Так, например, модель ARIMA при прогнозировании на основе временных рядов, имеющих менее 50 уровней, имеет точность не выше модели Брауна [10, с. 173, 194]. Число уровней ряда для прогнозирования с использованием

модели парной линейной регрессии должно быть не меньше 6 [11, с. 168]. Поэтому на начальных этапах прогнозирования при наличии малого количества уровней ряда рекомендуется использовать самые простые модели прогнозирования [10, с. 194].

Для упрощения исследования были приняты следующие несущественные для цели исследования ограничения: 1) базовый набор моделей прогноза являлся постоянным, а не формировался на основе анализа ошибок прогноза индивидуальных моделей (при этом предварительный анализ ретроспективных значений прогнозируемого динамического ряда не производился); 2) оптимальные значения параметров сглаживания в моделях прогнозирования не вычислялись, а задавались постоянными ($\alpha = 0,3$ в модели Брауна; $\alpha = 0,3$, $\beta = 0,3$ в модели Хольта); 3) веса прогнозов моделей из базового набора рассчитывались на основе квадрата абсолютной ошибки прогноза на предыдущем шаге прогнозирования.

Начальные значения параметров в моделях на основе экспоненциального среднего задавались равными: $S_1 = y_1$ в модели Брауна; $S_1 = y_1$, $b_1 = 0$ в модели Хольта.

3. Временные ряды для оценки точности прогнозов

Для исследования точности гибридных моделей прогнозирования были использованы временные ряды, представленные на рис. 1-7. Временной ряд первого показателя взят по данным Банка России (<http://www.cbr.ru>), а остальные временные ряды по данным Федеральной службы государственной статистики России (<http://www.gks.ru>).



Р и с . 1. Курс доллара



Р и с . 2. Объем производства легковых автомобилей



Р и с . 3. Объем производства персональных компьютеров



Р и с . 4. Объем производства бензина



Рис. 5. Объем продажи хлеба



Рис. 6. Объем производства мяса

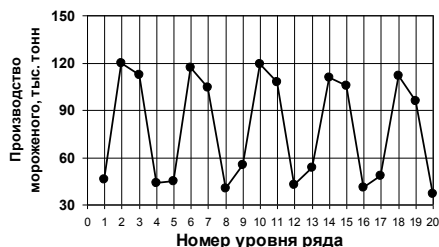


Рис. 7. Объем производства мороженого

Выбор для исследования данных временных рядов обусловлен необходимостью сравнения с результатами ранее проведенных исследований.

4. Показатели точности прогнозов

Для исследования точности прогнозов были использованы следующие показатели: 1) максимальное значение модуля относительной ошибки прогноза (δ_{max}); 2) средняя квадратическая ошибки (root mean squared error, RMSE) прогноза; 3) средняя абсолютная ошибка в процентах (mean absolute percentage error, MAPE).

Для наглядного представления результатов исследования значения перечисленных показателей были нормированы значениями соответствующих показателей для гибридной модели на основе объединения прогнозов с использованием взвешенного арифметического среднего значения.

5. Результаты исследования

Результаты исследований приведены в табл. 1-7, в которых полужирным шрифтом выделены лучшие значения показателей точности прогноза.

Таблица 1

Показатели точности прогноза курса доллара

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе взвешенного среднего	1,00	1,00	1,00
На основе простого среднего	0,90	0,89	0,86

Окончание табл. 1

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе оценки Ходжеса-Лемана	0,89	0,89	0,86
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,3$	0,89	0,89	0,89
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,4$	0,90	0,90	0,89
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,5$	0,91	0,90	0,89
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,6$	0,92	0,91	0,92
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,7$	0,92	0,93	0,94
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,8$	0,92	0,93	0,94
На основе медианы	0,92	0,93	0,94
На основе оценки Бикела-Ходжеса (Гальтона)	0,89	0,90	0,86

Таблица 2

Показатели точности прогноза объема производства автомобилей

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе взвешенного среднего	1,00	1,00	1,00
На основе простого среднего	0,96	0,95	0,92
На основе оценки Ходжеса-Лемана	0,97	0,96	0,94
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,3$	0,96	0,97	0,97
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,4$	0,95	0,96	0,97
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,5$	0,94	0,95	0,93
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,6$	0,94	0,95	0,93
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,7$	0,95	0,96	0,97
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,8$	0,99	1,01	1,02
На основе медианы	1,01	1,02	1,05
На основе оценки Бикела-Ходжеса (Гальтона)	0,91	0,95	1,00

Таблица 3

Показатели точности прогноза объема производства компьютеров

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе взвешенного среднего	1,00	1,00	1,00
На основе простого среднего	0,80	0,67	0,80
На основе оценки Ходжеса-Лемана	0,80	0,69	0,80
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,3$	0,81	0,69	0,82
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,4$	0,81	0,69	0,82
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,5$	0,80	0,69	0,80
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,6$	0,80	0,69	0,80

Окончание табл. 3

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,7$	0,81	0,69	0,82
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,8$	0,81	0,70	0,82
На основе медианы	0,85	0,72	0,86
На основе оценки Бикела-Ходжеса (Гальтона)	0,80	0,68	0,79

Таблица 4

Показатели точности прогноза объема производства бензина

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе взвешенного среднего	1,00	1,00	1,00
На основе простого среднего	0,99	1,04	1,05
На основе оценки Ходжеса-Лемана	0,99	1,04	1,06
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,3$	0,99	1,05	1,07
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,4$	0,99	1,05	1,08
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,5$	1,00	1,03	1,06
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,6$	1,00	1,02	1,04
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,7$	0,99	1,03	1,06
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,8$	0,99	1,03	1,06
На основе медианы	0,99	1,04	1,06
На основе оценки Бикела-Ходжеса (Гальтона)	0,99	1,05	1,07

Таблица 5

Показатели точности прогноза объема продажи хлеба

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе взвешенного среднего	1,00	1,00	1,00
На основе простого среднего	0,70	0,94	1,00
На основе оценки Ходжеса-Лемана	0,72	0,92	0,97
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,3$	0,75	0,93	0,98
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,4$	0,75	0,93	0,98
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,5$	0,69	0,91	0,96
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,6$	0,65	0,89	0,92
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,7$	0,69	0,91	0,94
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,8$	0,70	0,91	0,93
На основе медианы	0,75	0,91	0,92
На основе оценки Бикела-Ходжеса (Гальтона)	0,72	0,94	1,01

Таблица 6

Показатели точности прогноза объема производства мяса

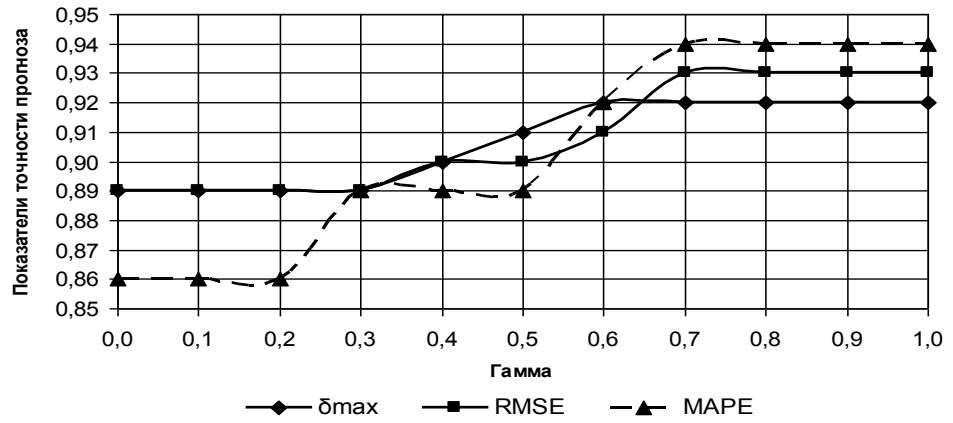
Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе взвешенного среднего	1,00	1,00	1,00
На основе простого среднего	0,85	1,22	1,11
На основе оценки Ходжеса-Лемана	0,79	1,06	1,03
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,3$	0,76	1,06	1,03
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,4$	0,76	1,05	1,03
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,5$	0,79	1,07	1,03
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,6$	0,79	1,06	1,04
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,7$	0,83	1,09	1,05
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,8$	0,83	1,09	1,05
На основе медианы	0,76	1,08	1,06
На основе оценки Бикела-Ходжеса (Гальтона)	0,84	1,11	1,06

Таблица 7

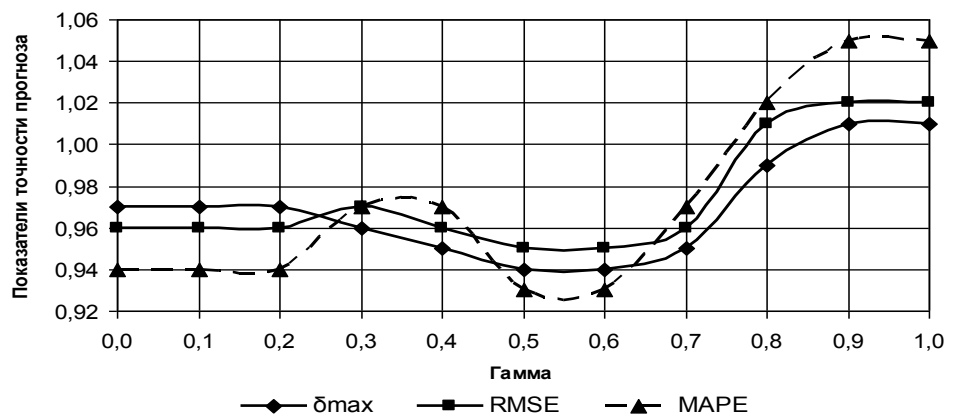
Показатели точности прогноза объема производства мороженого

Метод объединения прогнозов	Показатели точности прогноза		
	δ_{max}	RMSE	MAPE
На основе взвешенного среднего	1,00	1,00	1,00
На основе простого среднего	1,03	0,96	0,98
На основе оценки Ходжеса-Лемана	0,93	0,92	0,94
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,3$	0,95	0,92	0,95
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,4$	0,95	0,93	0,96
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,5$	0,98	0,93	0,95
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,6$	0,98	0,93	0,94
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,7$	0,95	0,93	0,96
На основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана с $\gamma=0,8$	0,92	0,92	0,94
На основе медианы	0,92	0,91	0,92
На основе оценки Бикела-Ходжеса (Гальтона)	1,00	0,93	0,96

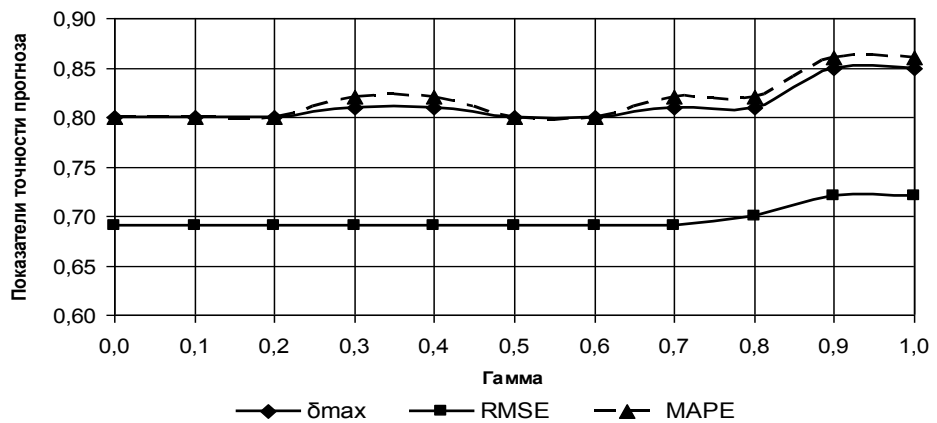
Графическое представление зависимостей показателей точности прогноза на основе комбинированной модели на основе усеченной оценки Ходжеса-Лемана от γ представлено на рис. 8-14.



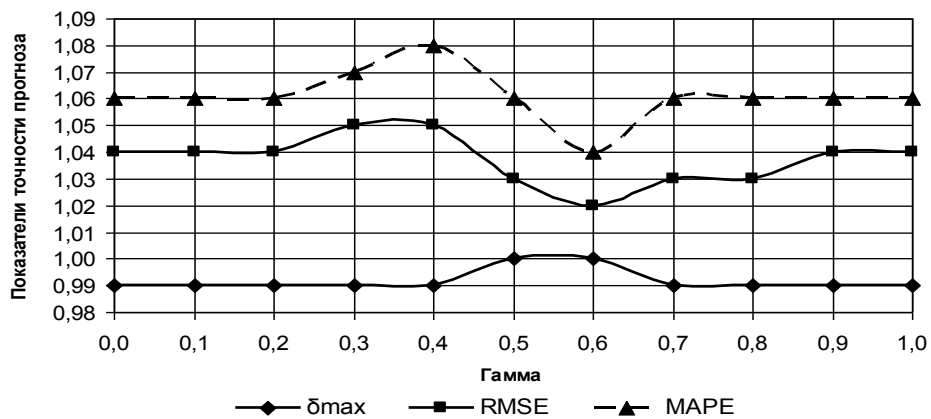
Р и с . 8. Зависимость показателей точности прогноза курса доллара от γ



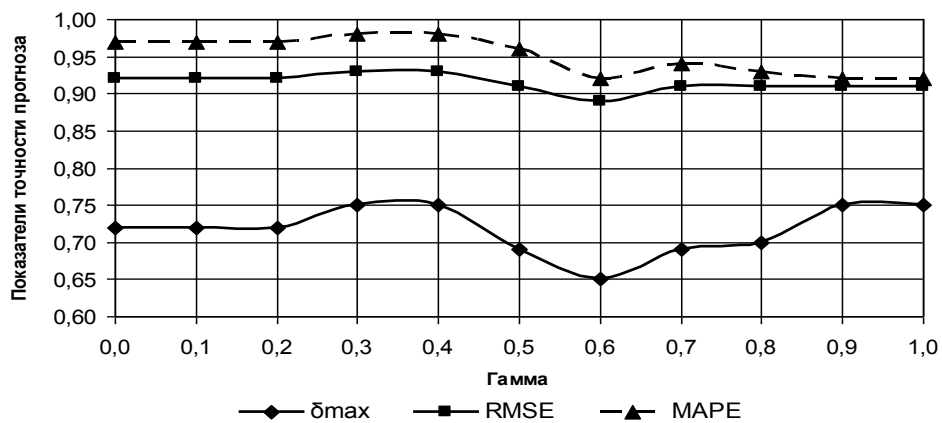
Р и с . 9. Зависимость показателей точности прогноза объема производства автомобилей от γ



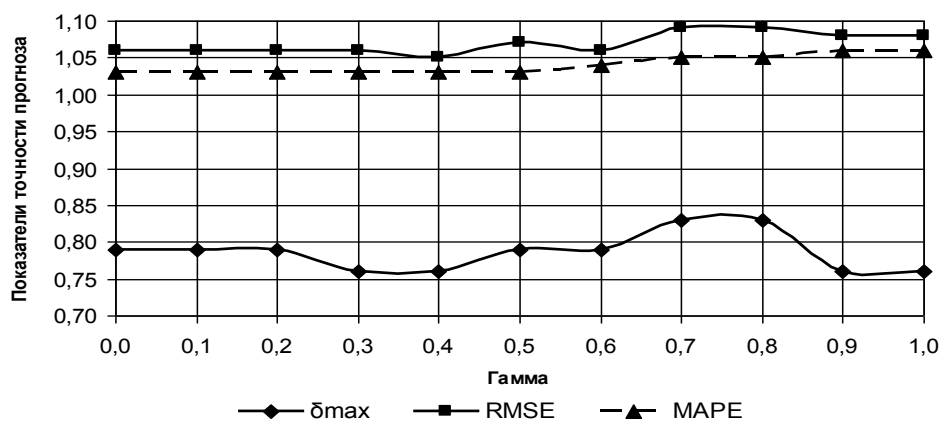
Р и с . 10. Зависимость показателей точности прогноза объема производства компьютеров от γ



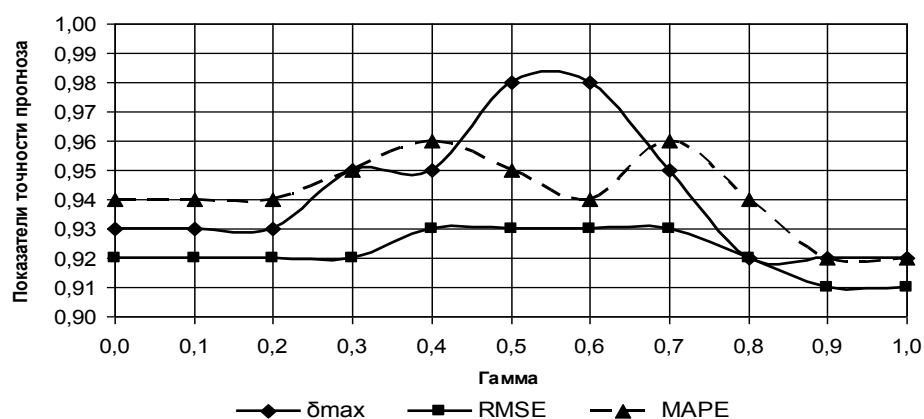
Р и с . 11. Зависимость показателей точности прогноза объема производства бензина от γ



Р и с . 12. Зависимость показателей точности прогноза объема производства хлеба от γ



Р и с . 13. Зависимость показателей точности прогноза объема производства мяса от γ



Р и с . 14. Зависимость показателей точности прогноза объема производства мороженого от γ

Выводы

Анализ табл. 1-7 и рис. 8-14 позволяет сделать следующие выводы.

1. Меньшую максимальную ошибку прогноза δ_{max} для всех рядов обеспечивает комбинированная модель на основе оценки Ходжеса-Лемана или ее модификаций (от 9 до 35% по сравнению с объединением прогнозов на основе взвешенного арифметического среднего), что может быть важнее, чем меньшее значение показателя точности прогноза на множестве интервалов прогнозирования.

2. Комбинированные модели на основе винзорированной оценки Ходжеса-Лемана также имеют лучшие значения показателя RMSE, в основном, при прогнозировании рядов, уровни которых не имеют тренда (курс доллара) или характеризуются линейным ростом с незначительной сезонностью и скачками уровней (объемы продажи автомобилей и хлеба).

3. Комбинированная модель на основе взвешенного арифметического среднего имеет лучшие значения показателей RMSE и MAPE при прогнозировании временных рядов, уровни которых характеризуются линейным ростом с незначительной сезонностью и с постоянной амплитудой колебаний (объемы производства бензина и мяса).

4. Комбинированная модель на основе медианы имеет лучшие значения показателей RMSE и MAPE при прогнозировании рядов, уровни которых характеризуются ярко выраженной сезонностью (объем производства мороженого).

5. Выбор оптимального значения параметра γ при объединении прогнозов на основе винзорированной оценки Ходжеса-Лемана позволяет повысить точность прогноза только на несколько процентов.

6. Проведенные исследования подтвердили гипотезу о том, что показатели точности комбинированного прогноза на основе оценки Ходжеса-Лемана и ее модификаций в ряде ситуаций превосходят показатели точности комбинированного прогноза на основе взвешенного арифметического среднего. Это свидетельствует о целесообразности использования оценки Ходжеса-Лемана и ее модификаций при объединении прогнозов, особенно на начальных этапах прогнозирования.

7. При выборе метода объединения прогнозов целесообразно учитывать априорную и текущую информацию о характере изменения уровней временного ряда.

8. Выбор метода объединения прогнозов также целесообразно осуществлять на основе нескольких показателей точности, так как разные методы объединения прогнозов для одного и того же временного ряда в ряде случаев обеспечивают лучшую точность по разным показателям точности.

Список литературы

1. Bates J.M., Granger C.W.J. The Combination of Forecasts. – Oper. Reser. Quart., 1969, v. 20, No. 4. P. 451-468.
2. Горелик Н.А. Статистические проблемы экономического прогнозирования / Н.А. Горелик, А.А. Френкель // Статистические методы анализа экономической динамики: уч. зап. по статистике, т. 46. – М.: Наука, 1983. – С. 9-48.
3. Армстронг Дж.С. Прогнозирование продаж / Дж.С. Армстронг // Маркетинг: энциклопедия / Под. ред. М. Бейкера; пер. с англ. – СПб.: Питер, 2002. – С. 351-368.
4. Давыдов А.А. Прогнозирование социальных явлений с помощью “нейронных” сетей / А.А. Давыдов // Социологические методы в современной социологической практике: сб. материалов Всеросс. науч. конф. памяти А.О. Крыштановского. – М.: ГУ-ВШЭ, 2008. – С. 41-49.
5. Васильев А.А. Прогнозирование в логистике на основе устойчивых гибридных моделей / А.А. Васильев, В.М. Курганов // Логистика: современные тенденции развития: материалы X междунар. науч.-практ. конф. 14, 15 апреля 2011 г.; ред. кол.: В.С. Лукинский (отв. ред.) [и др.]. - СПб.: СПбГИЭУ, 2011. – С. 52-55.

6. Брусиловский П.М. Коллективы предикторов в экологическом прогнозировании: монография. – Саратов: изд-во Сарат. ун-та, 1987. – 104 с.
7. Рабочая книга по прогнозированию: справочно-информационное издание / Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М. Мысль, 1982. – 430 с.
8. Хеттманспергер Т. Статистические выводы, основанные на рангах / Т. Хеттманспергер; пер с англ. – М.: Финансы и статистика, 1987. – 334 с.
9. Стогов Г.В. Устойчивые методы обработки результатов измерений / Г.В. Стогов, А.В. Макшанов, А.А. Мусаев // Зарубежная радиоэлектроника. – 1982. - №9. – С. 3-46.
10. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.
11. Четыркин Е.М. Статистические методы прогнозирования: монография / Е.М. Четыркин. – 2-е изд., перераб и доп. – М.: Статистика, 1977. – 200 с.

COMBINING FORECASTS BASED ON HODGES-LEMAN ESTIMATE AND ITS MODIFICATIONS

A.A. Vasil'ev

Tver State University, Tver

The research suggests to use the modified Hodges-Leman's estimates instead of traditionally used weighted arithmetical mean for combining forecasts of particular forecasting models. Thus, the objective of research is to compare accuracy rates of forecast of hybrid models based on combination of forecasts with the usage of modified Hodges-Leman's estimates and hybrid model based on combination of forecasts with the usage of weighted arithmetical mean. The results of the research performed with a set of real dynamic series confirmed the hypothesis that the suggested models exceed the model based on weighted arithmetical mean in some accuracy rates of forecast.

Keywords: *Bickel-Hodges estimate; combination of forecasts; Hodges-Leman estimate; simple arithmetical mean; weighted arithmetical mean; winsorized Hodges-Leman estimate.*

Об авторе

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой математики, статистики и информатики в экономике, Тверской государственной университет, (170000, г. Тверь, ул. Желябова, д. 33), e-mail: vasiljev-tvgu@yandex.ru

About the author

VASIL'EV Aleksandr Anatol'evich – Philosophy Doctor in Engineering Science, Associate Professor, Head of Department of Mathematics, Statistics and Informatics in Economics, Tver State University, (33, Zhelaybova St., Tver, 170000), e-mail: vasiljev-tvgu@yandex.ru

References

1. Bates J.M., Granger C.W.J. The Combination of Forecasts. *Oper. Reser. Quart.*, 1969, v. 20, No. 4. P. 451-468.
1. Gorelik N.A., Frenkel' A.A. Statisticheskie problemy jekonomicheskogo prognozirovanija. *Statisticheskie metody analiza jekonomicheskoy dinamiki: uch. zap. po statistike*, t. 46. M.: Nauka, 1983. S. 9-48.
2. Armstrong Dzh.S. Prognozirovanie prodazh. *Marketing: jenciklopedija*. Pod. red. M. Bejkera; per. s angl. SPb.: Piter, 2002. S. 351-368.
3. Davydov A.A. Prognozirovanie social'nyh javlenij s pomoshh'ju "nejronnyh" setej. *Sociologicheskie metody v sovremennoj sociologicheskoy praktike: sb. materialov Vseross. nauch. konf. pamjati A.O. Kryshstanovskogo*. M.: GU-VShJe, 2008. S. 41-49.
4. Vasil'ev A.A., Kurganov V.M. Prognozirovanie v logistike na osnove ustojchivyh gibridnyh modelej. *Logistika: sovremennye tendencii razvitija: materialy X mezhdunar. nauch.-prakt. konf. 14, 15 aprelja 2011 g.; red. kol.: V.S. Lukinskij (otv. red.) [i dr.]*. SPb.: SPbGJIeU, 2011. S. 52-55.
5. Brusilovskij P.M. Kollektivy prediktorov v jekologicheskom prognozirovanii: monografija. Saratov: izd-vo Sarat. un-ta, 1987. 104 s.
6. Rabochaja kniga po prognozirovaniju: spravochno-informacionnoe izdanie. Redkol.: I.V. Bestuzhev-Lada (otv. red.). M. Mysl', 1982. 430 s.
7. Hettmansperger T. Statisticheskie vyvody, osnovannye na rangah. Per s angl. M.: Finansy i statistika, 1987. 334 s.
8. Stogov G.V., Makshanov A.V., Musaev A.A. Ustojchivye metody obrabotki rezul'tatov izmerenij. *Zarubezhnaja radiojelektronika*. 1982. №9. S. 3-46.
9. Lukashin Ju.P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov: ucheb. Posobie. M.: Finansy i statistika, 2003. 416 s.
10. Chetyrkin E.M. Statisticheskie metody prognozirovanija: monografija. 2-e izd., pererab i dop. M.: Statistika, 1977. 200 s.
- 11.