

МАТЕМАТИКА, СТАТИСТИКА И ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭКОНОМИКЕ И УПРАВЛЕНИИ

УДК 338.27:519.862.6

ГЕНЕЗИС ГИБРИДНЫХ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ОБЪЕДИНЕНИЯ ПРОГНОЗОВ

А.А. Васильев¹

¹Тверской государственный университет, г. Тверь

В исследовании рассмотрены причины появления комбинированных моделей прогнозирования и способы их построения, проведен анализ первых методов объединения прогнозов, предложенных Дж. Бейтсом, К. Гренжером и П. Ньюболдом, а также направлений их дальнейшего совершенствования. В результате проведенного анализа обобщены рекомендации по разработке и применению гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов индивидуальных моделей, выявлены проблемы их применения и определены перспективные направления совершенствования.

Ключевые слова: *вес прогноза, гибридная модель, объединение прогнозов, прогнозирование.*

1. Введение

В современном прогнозировании наблюдается тенденция к созданию адаптивных комбинированных моделей [1, с. 239]. Комбинированная модель прогнозирования – это модель прогнозирования, состоящая из нескольких индивидуальных (частных) моделей прогнозирования, называемых базовым набором моделей [2, с. 121]. Основными типами комбинированных моделей являются селективные и гибридные модели. Селективная модель прогнозирования – это комбинированная модель, в которой на каждом шаге прогнозирования осуществляется выбор по заданному критерию одной наилучшей модели из числа моделей, входящих в базовый набор [2, с. 121]. Гибридная модель прогнозирования – это комбинированная модель, в которой прогноз формируется, как правило, как взвешенная сумма прогнозов моделей базового набора [2, с. 121].

К проблемным вопросам использования селективных моделей относятся:

1) сложность выбора наиболее предпочтительной модели в случае, когда входящие в базовый набор индивидуальные модели дают близкие прогнозные результаты [2, с. 124];

2) нерешенность вопроса регулирования инерционности переключения с одной индивидуальной модели на другую [2, с. 131];

Общим полностью нерешенным вопросом комбинированного прогнозирования является выбор множества индивидуальных моделей прогнозирования для формирования базового набора [2, с. 131].

Поэтому в качестве объекта исследования выбраны гибридные модели прогнозирования. Предметом исследования является генезис данных моделей.

Цель исследования заключается в анализе генезиса гибридных моделей прогнозирования для выявления проблем их применения и направлений совершенствования. Основными задачами исследования являются: 1) выявление причин появления комбинированных моделей прогнозирования; 2) анализ первых гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов индивидуальных моделей; 3) анализ предложений по совершенствованию гибридных моделей прогнозирования; 4) обобщение рекомендаций по построению и применению гибридных моделей прогнозирования; 5) выявление проблем применения гибридных моделей прогнозирования; 6) анализ направлений совершенствования гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов индивидуальных моделей.

2. Причины появления комбинированных моделей прогнозирования

Тенденция к созданию комбинированных моделей прогнозирования экономических показателей обусловлена следующими обстоятельствами:

1) в соответствии с теорией множественности моделей по экспериментальным данным принципиально нельзя найти единственную модель для их описания [3, с. 133];

2) это положение подтверждается практикой прогнозирования, свидетельствующей о том, что идентификация модели прогнозирования, которая наилучшим образом подходит для данного временного ряда, среди множества альтернативных моделей часто приводит к выбору группы моделей со сходными статистическими свойствами, в которой трудно отдать предпочтение какой-либо одной модели [4, с. 9-10];

3) попытка выбрать одну модель прогнозирования для временного ряда с изменяющимся уровнем и динамическими свойствами (что характерно для экономических временных рядов) приводит к выбору усредненной модели, которая формирует прогнозы с большими абсолютными ошибками и дисперсиями ошибок [2, с. 121];

4) при быстром изменении уровней ряда и его динамических свойств невозможно быстро производить анализ этой динамики и заменять одну модель прогнозирования другой [2, с. 121-122];

5) каждая из моделей прогнозирования описывает лишь одну сторону динамики анализируемого экономического процесса, отображаемого исследуемым временным рядом, и их совместное

использование позволяет точнее и полнее описать и прогнозировать эту динамику [4, с. 10];

б) любой отвергнутый из-за неоптимальности прогноз почти всегда содержит полезную независимую информацию [4, с. 31];

7) применение статистических моделей прогнозирования, асимптотически оптимальных для стационарных временных рядов, для прогнозирования экономических временных рядов (как правило, нестационарных и коротких) связано с решением проблем преобразования нестационарного временного ряда в стационарный и оценки возможности использования асимптотических прогнозных оценок для конкретного короткого ряда [4, с. 9];

8) признанием ошибочности гипотезы о возможности нахождения единственной наилучшей для конкретного временного ряда модели прогнозирования, характерной для исторически сложившегося к 1970-м годам подхода к построению моделей прогнозирования экономических временных рядов [4, с. 9, 36];

9) стремление преодолеть слабые стороны одного метода прогнозирования, используя преимущества другого метода [5, с. 262].

10) временные ряды, описывающие многие современные производственные, экономические и социально-экономические процессы, имеют короткую актуальную часть из-за изменчивости производственно-экономических отношений [6, с. 3];

11) новые процессы производственной и социальной сферы могут быть описаны только короткими временными рядами, поскольку раньше не являлись предметом статистического учета [6, с. 3].

3. Первые гибридные модели прогнозирования

Построение гибридных моделей возможно тремя способами:

1) путем объединения индивидуальных моделей прогнозирования в одну модель;

2) путем объединения прогнозов, полученных для составляющих временного ряда (тренда, циклической, сезонной, случайной);

3) путем объединения прогнозов, полученных с использованием индивидуальных моделей.

Примером гибридной модели, полученной на основе объединения моделей, является модель авторегрессии - скользящего среднего Бокса-Дженкинса и ее дальнейшие модификации.

К гибридным моделям, объединяющим прогнозы составляющих временного ряда, относятся аддитивные и мультипликативные (в частности, сезонные) модели временных рядов.

Гибридные модели, построенные первыми двумя способами, используются также в качестве индивидуальных моделей в гибридных моделях на основе объединения прогнозов.

Идея построения гибридной модели прогнозирования на основе объединения прогнозов нескольких статистических моделей обоснована Дж. Бэйтсом и К. Гренжером в 1969 г. в исследовании [7] и развита в 1974 г. П. Ньюболдом и К. Гренжером в работе [8]. Эти ученые предложили находить гибридный прогноз в виде взвешенного арифметического среднего значения множества частных (индивидуальных) прогнозов. До работ Дж. Бэйтса, К. Гренжера и П. Ньюболда идея объединения прогнозов была сформулирована для случая объединения прогнозов, полученных разными методами, например экспертным путем и на основе использования статистической модели [4, с. 10].

Основная проблема конструирования гибридной модели заключается в определении оптимальных весов для индивидуальных прогнозов, обеспечивающих минимальную ошибку комбинированного прогноза [4, с. 31-32].

Начальное значение веса при объединении двух прогнозов на основе линейной комбинации двух прогнозов вида $\hat{y}_T = k \hat{y}_{1,T} + (1 - k) \hat{y}_{2,T}$, оптимальное по критерию минимума дисперсии ошибки комбинированного прогноза в предположениях, что частные прогнозы не содержат систематической ошибки, а дисперсии их ошибок не изменяются во времени, определяется по формуле [4, с. 32]

$$k = \frac{\sigma_2^2 - \rho \sigma_1 \sigma_2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + 2\rho \sigma_1 \sigma_2},$$

где \hat{y}_T - прогноз показателя y на момент времени T на основе гибридной модели; $\hat{y}_{1,T}$ - прогноз показателя y на момент времени T на основе первой индивидуальной модели; $\hat{y}_{2,T}$ - прогноз показателя y на момент времени T на основе второй индивидуальной модели; k - вес прогноза показателя y на момент времени T на основе первой индивидуальной модели; σ_1^2 - дисперсия ошибок прогноза на основе первой индивидуальной модели; σ_2^2 - дисперсия ошибок прогноза на основе второй индивидуальной модели; ρ - коэффициент корреляции между ошибками в первом прогнозе и ошибками во втором прогнозе.

Если ошибки индивидуальных прогнозов некоррелированы (в этом случае $\rho = 0$), то начальное значение веса определяется по формуле [4, с. 32]

$$k = \frac{\sigma_2^2}{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}.$$

Дж. Бэйтс и К. Гренжер доказали в [7], что при определении веса по приведенным формулам в случае выполнения принятых при их получении допущений дисперсия ошибки комбинированного прогноза никогда не будет превышать меньшее из двух отдельных значений дисперсий ошибок прогноза по индивидуальным моделям [4, с. 32].

Однако на начальных этапах объединения прогнозов оптимальное значение веса k не может быть получено, так как не известны ни дисперсии ошибок индивидуальных прогнозов, ни коэффициент корреляции между ошибками [4, с. 32].

На последующих этапах прогнозирования к весам частных прогнозов в комбинированной модели предъявляются следующие общие требования [4, с. 33]:

1) по мере увеличения числа интервалов прогнозирования средняя величина веса должна приближаться к оптимальной величине (по критерию минимума дисперсии ошибки комбинированного прогноза) при условии, что точность прогнозов на основе индивидуальных моделей остается постоянной;

2) при постоянном изменении точности одного из прогнозов веса должны приспосабливаться к новым значениям;

3) величины весов должны незначительно колебаться вокруг оптимальной величины.

С учетом этих требований Дж. Бэйтс, К. Гренжер и П. Ньюболд предложили в [7, 8] пять вариантов получения весов для индивидуальных прогнозов, описанных в отечественной литературе в [4, с. 33-35; 9, с. 145-146]. Данные веса вычисляются на основе расчетов средних квадратов ошибки (MSE) частных прогнозов. Варианты расчета весов различаются количеством используемых уровней ряда (методом ретропрогноза или методом тестовой последовательности фиксированной длины) и наличием или отсутствием сглаживания весов методом экспоненциального сглаживания. Предложенные в [7, 8] варианты выражения для вычисления оптимальных весов при объединении двух прогнозов на основе их линейной комбинации приведены в табл. 1, составленной на основе сведений из [4, с. 33-35].

Таблица 1

Варианты расчета весов, предложенные Дж. Бэйтсом, К. Гренжером и П. Ньюболдом

Вариант	Выражение для вычисления	Комментарии
1	$k_T = \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{1,t}^2 + \sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}$	Учитываются v последних абсолютных ошибок частных прогнозов. Величина веса k_T меняется с течением времени. Изменяя величину v , можно влиять на качество полученных весов.
2	$k_T = \alpha k_{T-1} + (1-\alpha) \frac{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}{\sum_{t=T-v}^{T-1} e_{1,t}^2 + \sum_{t=T-v}^{T-1} e_{2,t}^2}$	В этом варианте дополнительно к предыдущему производится сглаживание весов методом экспоненциального сглаживания для обеспечения стабильности веса v .

Вариант	Выражение для вычисления	Комментарии
3	$k_T = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2}{\sum_{t=1}^{T-1} \beta^t e_{1,t}^2 + \sum_{t=1}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2}$	Дисперсия ошибок индивидуального прогноза оценивается не по ν последним значениям, а по всем значениям с весом β . При $\beta > 1$ больший вес придается последним ошибкам.
4	$k_T = \frac{\sum_{t=1}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2 - \sum_{t=1}^{T-1} \beta^t e_{1,t} e_{2,t}}{\sum_{t=1}^{T-1} \beta^t e_{1,t}^2 + \sum_{t=1}^{T-1} \beta^t e_{2,t}^2}$	В этом варианте дополнительно к предыдущему учитывается корреляция между ошибками индивидуальных прогнозов.
5	$k_T = \alpha k_{T-1} + (1 - \alpha) \frac{ e_{2,T-1} }{ e_{1,T-1} + e_{2,T-1} }$	Данный вариант отличается от варианта 2 используемым показателем точности прогноза. Вместо дисперсии ошибки прогноза используется модуль абсолютной ошибки прогноза.

В данной таблице приняты следующие обозначения: k_T - вес прогноза на основе первой индивидуальной модели для момента времени T ; k_{T-1} - вес прогноза на основе первой индивидуальной модели для момента времени $(T-1)$; $e_{1,t}$ - абсолютная ошибка прогноза на основе первой индивидуальной модели для момента времени t ; $e_{2,t}$ - абсолютная ошибка прогноза на основе второй индивидуальной модели для момента времени t ; α , $\alpha \in [0,1]$, - параметр сглаживания веса методом экспоненциального сглаживания.

В базовый набор индивидуальных моделей в описанной в [7] гибридной модели были включены однопараметрическая модель Брауна и модель авторегрессии - скользящего среднего Бокса-Дженкинса, а в базовый набор описанной в [8] гибридной модели - модель авторегрессии - скользящего среднего Бокса-Дженкинса, трехпараметрическая модель Хольта-Уинтерса и модель шаговой авторегрессии.

4. Совершенствование гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов

В дальнейшем развитие гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов осуществлялось в двух направлениях:

1) включение в базовый набор комбинированной модели новых (появляющихся) видов частных моделей прогнозирования;

2) совершенствование и разработка новых методов объединения прогнозов.

В рамках первого направления в базовый набор комбинированной модели стали включать, кроме статистических моделей прогнозирования (на основе регрессионного анализа, спектральных преобразований, экспоненциального сглаживания), модели прогнозирования на основе интеллектуальных технологий анализа временных рядов (модели на основе искусственных нейронных сетей, искусственных иммунных систем, нечеткой логики, перцептивного анализа, генетических алгоритмов) [6, с. 5; 10, с. 186], а также на основе вейвлет-анализа и фрактального анализа.

Искусственные нейронные сети, например, имеют значительный потенциал в создании точных моделей прогнозирования в условиях априорной неопределенности вследствие отсутствия необходимости соблюдения предположений о распределении вероятностей ошибок прогнозирования и необходимости предварительного определения взаимосвязей факторов, влияющих на прогнозируемый показатель (в сравнении со статистическими моделями) [11, с. 555]. Однако, и при прогнозировании на основе искусственных нейронных сетей рекомендуется использовать прогноз не одной нейронной сети, а комитета сетей (усредненного мнения нескольких сетей различных конфигураций), то есть рекомендуется использовать гибридную модель с базовым набором из разных искусственных нейронных сетей [12].

Основные предложения отечественных ученых по совершенствованию и разработке новых методов объединения прогнозов заключаются в следующем.

1. В 1973 г. Э.Б. Ершов предложил в [13] метод объединения индивидуальных парных линейных регрессионных моделей, в котором эти модели используются в качестве аргументов в комбинированной модели множественной линейной регрессии. Одна из разновидностей данного метода, названная автором "объединением частных прогнозов методом максимума правдоподобия", представляет собой комбинированную модель на основе объединения прогнозов, в которой веса прогнозов определяются из условия минимизации нормы вектора абсолютных ошибок комбинированного прогноза в предположении их многомерного нормального распределения. Развитие этого подхода в части выбора весов из условия минимизации нормы вектора относительных ошибок комбинированного прогноза предложено в [14, с. 151-155].

2. В 1983 г. Н.А. Горелик и А.А. Френкель в рамках комбинированной модели на основе объединения прогнозов предложили в [4, с. 38-43] метод определения весов частных прогнозов на основе факторного анализа.

3. В том же году П.М. Брусиловский и Г.С. Розенберг предложили находить комбинированный прогноз не непосредственно с использованием моделей из базового набора, а находить оптимальное сочетание частных моделей на множестве всех их возможных комбинаций из базового набора путем поиска экстремального значения выбранного показателя эффективности гибридной модели [15, с. 13]. Этот подход в дальнейшем был использован в исследовании [16, с. 9].

4. В 1984 г. Е.М. Бронштейн и П.М. Брусиловский предложили метод определения весов частных прогнозов на основе решения задачи линейного программирования [15, с. 76]. В данной задаче целевая функция представляет собой сумму произведений весовых коэффициентов на значения выбранного показателя качества прогноза, а ограничение выражает требование равенства весовых коэффициентов единице. Данный подход использован, например, в [17, с.73] при объединении прогнозов, полученных с использованием количественных и экспертных методов, и в [18, с. 89] при объединении прогнозов, полученных на основе фильтра Винера, нейронной сети и эволюционного моделирования. При этом в [17, с.73] введено дополнительное условие согласованности комбинированного прогноза с экспертными высказываниями.

5. В 2008 г. А.В. Давыденко в [16, с. 19] предложил находить оценку комбинированного прогноза двумя способами: 1) на основе байесовского подхода и процедуры вычисления прогнозной функции плотности распределения вероятностей с использованием метода Монте-Карло; 2) на основе адаптивных весов, определяемых методом оптимальной линейной фильтрации.

Все описанные методы объединения прогнозов (кроме четвертого) основаны на допущениях о независимости абсолютных ошибок прогноза и об их распределении в соответствии с нормальным законом с нулевым математическим ожиданием и неизвестной дисперсией (как для количественных, так и для экспертных моделей). Однако опыт прогнозирования экономических временных рядов показывает, что эти допущения зачастую не выполняются [19, с. 363]. Поэтому дальнейшие предложения по совершенствованию методов объединения прогнозов связаны с использованием устойчивых статистических оценок или систем нечеткой логики.

6. В 1995 г. в [20, с. 14] проведено исследование точности гибридной модели, использующей для объединения частных прогнозов их медиану (L-оценка), в сравнении с гибридными моделями на основе простого и взвешенного средних арифметических индивидуальных прогнозов, а также с селективной моделью прогнозирования. Это исследование показало, что при прогнозировании короткого нестационарного временного ряда без предварительного сглаживания его уровней точность гибридной модели на основе медианы была выше

точности сравниваемых гибридных моделей прогнозирования. При предварительном сглаживании уровней временного ряда преимущество гибридной модели на основе медианы утрачивалось.

7. В 2007 г. С.М. Ковалев в [10, с. 7-8] предложил объединять индивидуальные прогнозы на основе системы нечетких правил.

8. В 2008 г. А.А. Давыдов в [21, с. 49] предложил объединять частные прогнозы на основе робастной М-оценки.

9. В 2011 г. в [22, с. 53-54] предложено объединять индивидуальные прогнозы на основе робастной оценки Хьюбера типа усеченного среднего или R-оценки Ходжеса-Лемана.

5. Рекомендации по построению и применению гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов

Основные рекомендации по применению и построению гибридных моделей прогнозирования заключаются в следующем:

1) применение гибридной модели целесообразно, когда в базовый набор комбинированной модели входят модели с приблизительно одинаковой точностью прогноза и их селекция затруднена [2, с. 124];

2) использование гибридной модели также целесообразно, если индивидуальные модели формируют независимые друг от друга прогнозы, так как каждый из них (даже не оптимальный) почти всегда содержит некоторую полезную независимую информацию [4, с. 31];

3) объединение прогнозов считается особенно полезным, когда индивидуальные модели существенно различаются (например, взвешивание экспертных прогнозов менеджеров и прогнозов количественной модели с равными весами позволяет повысить точность объема продаж) [19, с. 363];

4) в общем случае в базовый набор должны включаться индивидуальные модели, прогнозы которых не содержат систематическую ошибку [4, с. 31];

5) в случае, когда прогнозы индивидуальных моделей содержат систематические ошибки с разными знаками, то такие прогнозы целесообразно объединять (в противном случае смещение гибридного прогноза может увеличиться) [23, с. 199];

6) в базовый набор гибридной модели следует включать индивидуальные модели, прогнозы которых могут считаться согласованными (непротиворечивыми) с заданной доверительной вероятностью (прогнозы считаются согласованными, если они принадлежат общей области, рассматриваемой как множество значений прогнозируемой переменной, обладающих наибольшей вероятностью для каждой частной модели) [24, с. 265-266];

7) формирование базового набора гибридной модели возможно двумя способами: исследователем и автоматически [2, с. 125];

8) при автоматическом формировании базовый набор предполагается изменяющимся [2, с. 126];

9) при автоматическом формировании базового набора в него целесообразно включать модели, средние квадраты ошибок прогноза которых не больше чем в 1,2-1,5 раза превосходят минимальный средний квадрат ошибок [2, с. 125 -126];

10) решение вопроса о включении индивидуальной модели прогнозирования в базовый набор должно осуществляться с учетом коррелированности прогнозов (особенно в случае, когда базовый набор формируется только из множества регрессионных моделей), так как в этом случае количество объединяемых прогнозов ограничено теоретическим пределом, за которым добавление новых прогнозов ухудшит точность гибридной модели [4, с. 10];

11) прогнозы считаются статистически независимыми, если в моделях выявления трендовых составляющих используются существенно различные функции регрессии (например, одна полиномиальная, а вторая экспоненциальная) (если в моделях выявления трендовых составляющих используются родственные функции регрессии, например, одна полиномиальная, а вторая показательная, то вопрос о независимости прогнозов остается открытым) [23, с. 198-199];

12) объединять можно только те прогнозы регрессионных моделей, которые вычислены для моделей данных, построенных на одном и том же множестве факторов (если модели построены на разных множествах факторов, например, в какую-либо регрессионную модель включены фиктивные факторы, то объединять прогнозы путем взвешивания частных прогнозов не рекомендуется) [23, с. 198];

13) комбинированный прогноз должен быть робастным (ошибки прогноза малой доли моделей, сколь значительными они бы ни были, не должны существенно влиять на точность и достоверность гибридного прогноза) [15, с. 13].

6. Проблемы применения гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов

К основным проблемам применения гибридных моделей прогнозирования относятся:

1) необходимость предварительного отбора индивидуальных моделей для обеспечения условия независимости ошибок прогноза разными моделями [14, с. 153];

2) низкая эффективность гибридных моделей при существенно различающихся дисперсиях ошибок частных прогнозов [14, с. 153];

3) отсутствие практических рекомендаций по использованию гибридных моделей для прогнозирования разных временных рядов [11, с. 552].

7. Направления совершенствования гибридных моделей прогнозирования на основе объединения прогнозов

К перспективным направлениям совершенствования гибридных моделей прогнозирования в ближайшее время можно отнести:

- 1) включение в их базовый набор имитационных моделей, моделей на основе вейвлет-анализа и фрактального анализа;
- 2) разработку и исследование методов объединения прогнозов на основе технологий интеллектуального анализа данных;
- 3) разработку и исследование методов объединения прогнозов на основе устойчивых статистических оценок (непараметрических и робастных).

8. Выводы

Результаты проведенного исследования позволяют сделать следующие общие выводы.

1. Основными причинами появления гибридных моделей являются признание ошибочности гипотезы о возможности нахождения единственной наилучшей для конкретного временного ряда модели прогнозирования и стремление преодолеть слабые стороны одного метода прогнозирования, используя преимущества другого.

2. К основным способам построения гибридных моделей прогнозирования относятся: объединение индивидуальных моделей в одну модель; объединение прогнозов, полученных для составляющих временного ряда; объединение прогнозов, полученных с использованием индивидуальных моделей.

3. Теоретические основы методов объединения прогнозов разработаны Дж. Бейтсом, К. Гренджером и П. Ньюболдом.

4. Дальнейшее развитие методов объединения прогнозов осуществлялось в рамках двух подходов: путем включения в базовый набор комбинированной модели новых видов индивидуальных моделей и путем совершенствования и разработки новых методов объединения прогнозов.

5. К перспективным направлениям совершенствования методов объединения прогнозов можно отнести объединение прогнозов на основе технологий интеллектуального анализа данных и объединение прогнозов на основе устойчивых статистических оценок.

Список литературы

1. Слуцкий Л.Н. Курс МВА по прогнозированию в бизнесе / Л.Н. Слуцкий. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2006. – 277 с.
2. Лукашин Ю.П. Адаптивные методы краткосрочного прогнозирования временных рядов: учеб. пособие / Ю.П. Лукашин. – М.: Финансы и статистика, 2003. – 416 с.

3. Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации моделей сложных систем: монография / А.Г. Ивахненко. – Киев: Наукова думка, 1981. – 296 с.
4. 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.
5. Мартино Дж. Технологическое прогнозирование: монография / Дж. Мартино; пер. с англ. – М.: Прогресс, 1977. – 591 с.
6. Демидова Л.А. Гибридные модели прогнозирования коротких временных рядов: монография / Л.А. Демидова, А.Н. Пылькин, С.В. Скворцов, Т.С. Скворцова. – М.: Горячая линия – Телеком, 2012. – 208 с.
7. Bates J.M., Granger C.W.J. The Combination of Forecasts. – Oper. Reser. Quart., 1969, v. 20, No. 4. P. 451-468.
8. Newbold P., Granger C.W.J. Experience with Forecasting Univariate Time Series and Combination of Forecasts. – J. of Royal Statistical Society. Ser. A. 1974, v. 137, No. 2. P. 131-164.
9. Френкель А.А. Прогнозирование производительности труда: методы и модели: научное изд / А.А. Френкель. – М.: Экономика, 1989. – 214 с.
10. Ковалев С.М. Гибридные нечетко-темпоральные модели временных рядов в задачах анализа и идентификации слабо формализованных процессов / С.М. Ковалев // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. тр. IV междунар. научно-практ. конф. В 2-х т. Т. 1. – М.: Физматлит, 2007. – С. 185-191.
11. Ханк Д.Э. Бизнес-прогнозирование: научно-популярное изд. / Д.Э. Ханк, Д.У. Уичерн, А.Дж. Райтс; пер. с англ. – 7 изд. – М.: Вильямс, 2003. – 656 с.
12. Прогнозирование временных рядов при помощи нейронных сетей на примере курсов валют и котировок акций [Электронный ресурс]. – Электрон. текстовые дан. – СПб.: Сайт “Стратегическое планирование и стратегическое управление”. - Режим доступа: <http://www.strategplann.ru/stati-po-ekonomike/prognozirovanie-vremennyh-rjadov-pri-pomoschi-setej-na-primere-kurosov-valjut-i-kotirovok-aktsij.html>.
13. Ершов Э.Б. Об одном методе объединения частных прогнозов / Э.Б. Ершов // Статистический анализ экономических временных рядов и прогнозирование: уч. зап. по статистике, т. XXII-XXIII. – М.: Наука, 1973. – С. 87-105.
14. Остапюк С.Ф. Модели построения комбинированного прогноза развития научно-технической сферы / С.Ф. Остапюк, М.А. Мотова // Проблемы прогнозирования. – 2004. - №1. – С. 146-156.

15. Розенберг Г.С. Экологическое прогнозирование (Функциональные предикторы временных рядов): монография / Г.С. Розенберг, В.К. Шитиков, П.М. Брусиловский. – Тольятти: Ин-т экологии Волжского бассейна РАН, 1994. – 182 с.
16. Давыденко А.В. Модели и методы комбинированного прогнозирования спроса на продукцию фирмы: автореф. дисс. ... канд. эконом. наук. – СПб.: СПбГУЭФ, 2008. – 21 с.
17. Егерова И.А. Методика комбинирования частных моделей и экспертной информации для определения мотивационной надбавки / И.А. Егерова, Б.В. Палюх // Управление большими системами. - 2006. - №14. – С. 69-77.
18. Ясинский Ф.Н. Построение гибридного метода прогнозирования энергопотребления с использованием суперкомпьютера на графических ускорителях / Ф.Н. Ясинский, А.В. Никологорская // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2010. – Вып. 4. – С. 89-91.
19. Армстронг Дж.С. Прогнозирование продаж // Маркетинг: энциклопедия / Под. ред. М. Бейкера; пер. с англ. – СПб.: Питер, 2002. – С. 351-368.
20. Васильев А.А. Последовательный одношаговый прогноз дискретных нестационарных динамических рядов из малого количества наблюдений на основе определения взвешенного среднего веера прогноза /А.А. Васильев, Е.В. Васильева // Вопросы теории и практики автоматизированной обработки экономической информации: сб. науч. тр. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 1995. – С. 9-19.
21. 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.
22. 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.
23. Минько А.А. Прогнозирование в бизнесе с помощью Excel. Просто как дважды два: научно-популярное изд. / А.А. Минько – М.: Эксмо, 2007. – 208 с.
24. Рабочая книга по прогнозированию: справочно-информационное издание / Редкол.: И.В. Бестужев-Лада (отв. ред.). – М. Мысль, 1982. – 430 с.

GENESIS OF HYBRID FORECASTING MODEL BY COMBINING BETS

A.A. Vasil'ev¹

¹Tver State University, Tver

The purpose of research is to analyze the genesis of hybrid prediction models to identify problems and their application areas of improvement. The study examined the causes of combined forecasting models and methods for constructing them, the analysis of the first methods of combining forecasts proposed by J. Bates, C. Granger and P. Newbold, as well as suggestions for further improvement. The analysis summarizes recommendations for the development and use of hybrid predictive models based on aggregate forecasts of individual models, identify problems of their application and identified areas of improvement. These areas include: 1) the inclusion in the basic set of simulation models, models based on wavelet analysis and fractal analysis, 2) development of methods for combining predictions based on data mining technology, and 3) development of methods for combining forecasts based on robust statistical evaluations.

Keywords: *association forecasts, hybrid model, prediction, weight prediction.*

Об авторах:

ВАСИЛЬЕВ Александр Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой математики, статистики и информатики в экономике, Тверской государственной университет (170100, г. Тверь, ул. Желябова, д.33), e-mail: vasiljev-tvgu@yandex.ru

About the authors:

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 (170100, г. Тверь, ул. Желябова, д.33), e-mail: vasiljev-tvgu@yandex.ru

References

1. Sluckin L.N. Kurs MBA po prognozirovaniju v biznese. M.: Al'pina Biznes Buks, 2006. 277 s.
2. Lukashin Ju.P. Adaptivnye metody kratkosrochnogo prognozirovanija vremennyh rjadov: ucheb. posobie. M.: Finansy i statistika, 2003. 416 s.
3. Ivahnenko A.G. Induktivnyj metod samoorganizacii modelej slozhnyh system: monografija. Kiev: Naukova dumka, 1981. 296 s.
4. 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.

5. Martino, Dzh. Tehnologicheskoe prognozirovanie: monografija. Per. s angl. M.: Progress, 1977. 591 s.
6. Gibrnidnye modeli prognozirovaniya korotkih vremennyh rjadov: monografija. L.A. Demidova, A.N. Pyl'kin, S.V. Skvorcov, T.S. Skvorcova. M.: Gorjachaja linija – Telekom, 2012. 208 s.
7. Bates J.M., Granger C.W.J. The Combination of Forecasts. Oper. Reser. Quart., 1969, v. 20, No. 4. P. 451-468.
8. Newbold P., Granger C.W.J. Experience with Forecasting Univariate Time Series and Combination of Forecasts. J. of Royal Statistical Society. Ser. A. 1974, v. 137, No. 2. P. 131-164.
9. Frenkel' A.A. Prognozirovanie proizvoditel'nosti truda: metody i modeli: nauchnoe izd. M.: Jekonomika, 1989. 214 s.
10. Kovalev S.M. Gibrnidnye nechetko-temporal'nye modeli vremennyh rjadov v zadachah analiza i identifikacii slabo formalizovannyh processov. Integrirovannye modeli i mjagkie vychislenija v iskusstvennom intellekte: sb. tr. IV mezhdunar. nauchno-prakt. konf. V 2-h t. T. 1. M.: Fizmatlit, 2007. S. 185-191.
11. Hank D.Je., Uichern D.U., Rajts A.Dzh. Biznes-prognozirovanie: nauchno-populjarnoe izd. Per. s angl. 7 izd. M.: Vil'jams, 2003. 656 s.
12. Prognozirovanie vremennyh rjadov pri pomoshhi nejronnyh setej na primere kursov valjut i kotirovok akcij [Jelektronnyj resurs]. – Jelektron. tekstovye dan. SPb.: Sajt "Strategicheskoe planirovanie i strategicheskoe upravlenie". Rezhim dostupa: <http://www.strategplann.ru/stati-po-ekonomike/prognozirovanie-vremennyh-rjadov-pri-pomoschi-setej-na-primere-kursov-valjut-i-kotirovok-aktsij.html>.
13. Ershov Je.B. Ob odnom metode ob#edinenija chastnyh prognozov. Statisticheskij analiz jekonomicheskikh vremennyh rjadov i prognozirovanie: uch. zap. po statistike, t. XXII-XXIII. M.: Nauka, 1973. S. 87-105.
14. Ostapjuk S.F., Motova M.A. Modeli postroenija kombinirovannogo prognoza razvitija nauchno-tehnicheskoy sfery. Problemy prognozirovaniya. 2004. №1. S. 146-156.
15. Rozenberg G.S., Shitikov V.K., Brusilovskij P.M. Jekologicheskoe prognozirovanie (Funkcional'nye prediktory vremennyh rjadov): monografija. Tol'jatti: In-t jekologii Volzhskogo bassejna RAN, 1994. 182 s.
16. Davydenko A.V. Modeli i metody kombinirovannogo prognozirovaniya sprosa na produkciju firmy: avtoref. diss. ... kand. jekonom. nauk. SPb.: SPbGUJeF, 2008. 21 s.
17. Egereva I.A., Paljuh B.V. Metodika kombinirovaniya chastnyh modelej i jekspertnoj informacii dlja opredelenija motivacionnoj nadbavki. Upravlenie bol'shimi sistemami. 2006. №14. S. 69-77.
18. Jasinskij F.N., Nikologorskaja A.V. Postroenie gibrnidnogo metoda prognozirovaniya jenergopotreblenija s ispol'zovaniem superkomp'jutera

- na graficheskikh uskoritel'jah. Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo jenergeticheskogo universiteta. 2010. Vyp. 4. S. 89-91.
19. Armstrong Dzh.S. Prognozirovanie prodazh. Marketing: jenciklopedija: Pod. red. M. Bejkera; per. s angl. SPb.: Piter, 2002. S. 351-368.
 20. Vasil'ev A.A., Vasil'eva E.V. Posledovatel'nyj odnoshagovyj prognoz diskretnyh nestacionarnyh dinamicheskikh rjadov iz malogo kolichestva nabljudenij na osnove opredelenija vzveshennogo srednego veera prognoza. Voprosy teorii i praktiki avtomatizirovannoj obrabotki jekonomicheskoy informacii: sb. nauch. tr. Tver': Tver. gos. un-t, 1995. S. 9-19.
 21. 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. Kryshantovskogo. M.: GU-VShJe, 2008. S. 41-49.
 22. 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.: SPbGIIeU, 2011. S. 52-55.
 23. Min'ko A.A. Prognozirovanie v biznese s pomoshh'ju Excel. Prosto kak dvazhdy dva: nauchno-populjarnoe izd. M.: Jeksmo, 2007. 208 s.
 24. Rabochaja kniga po prognozirovaniju: spravochno-informacionnoe izdanie. Redkol.: I.V. Bestuzhev-Lada (otv. red.). M. Mysl', 1982. 430 s.