

ОРИГИНАЛЬНАЯ СТАТЬЯ



DOI: 10.26794/2408-9303-2024-11-4-96-107
УДК 330.43;311.13(045)
JEL C32, C53, E17

Эффективность использования постоянного коэффициента в объединении прогнозов с целью повышения точности прогнозирования

А.А. Сурков

Институт экономики РАН, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

В статье рассматривается методика применения постоянного коэффициента при объединении прогнозов. На сегодняшний день существует множество вариантов построения весовых коэффициентов, и некоторые из них включают в объединение постоянный коэффициент из-за предположения о повышении с его помощью точности прогнозирования. При этом однозначного ответа на вопрос, насколько верна данная гипотеза, к сожалению, нет — в ней присутствуют как положительные, так и отрицательные стороны. **Целью** исследования является определение преимуществ и недостатков использования постоянного коэффициента при объединении прогнозов на основе имеющихся практических и теоретических данных, а также формирование единого подхода к данному вопросу. В ходе работы применялись научные методы объединения прогнозов (предложенные К. Гейнджером и Р. Раманатханом), один из которых предполагает наличие и расчет постоянного коэффициента. Полученные автором статьи практические **результаты** в целом подтвердили ценность включения в объединенный прогноз постоянного коэффициента, на основании чего сделан вывод, что использование последнего возможно, если есть уверенность, что это может повысить точность прогнозирования. В рамках исследования также определена необходимость поиска такого подхода к построению весовых коэффициентов, который бы учитывал возможность изменения постоянного коэффициента для объединения прогнозов, тем самым расширяя возможности его применения.

Ключевые слова: объединение прогнозов; прогнозирование; весовые коэффициенты; постоянный коэффициент; комбинированный прогноз; точность прогнозирования; качество прогноза

Для цитирования: Сурков А.А. Эффективность использования постоянного коэффициента в объединении прогнозов с целью повышения точности прогнозирования. *Учет. Анализ. Аудит = Accounting. Analysis. Auditing.* 2024;11(4):96-107. DOI: 10.26794/2408-9303-2024-11-4-96-107

ORIGINAL PAPER

Effectiveness of Using a Constant Coefficient in Combining Forecasts to Improve Forecasting Accuracy

A.A. Surkov

Institute of Economics RAS, Moscow, Russia

ABSTRACT

The article discusses the methodology for using a constant coefficient when combining forecasts. Today, there are many options for constructing weighting coefficients, and some of them include a constant coefficient in the combination due to the assumption that it improves forecasting accuracy. Unfortunately, there is no clear and unambiguous answer to the question of how true this hypothesis is — it has both positive and negative sides. The purpose of the study is to determine the advantages and disadvantages of using a constant coefficient when combining forecasts based on available practical and theoretical data, as well as to form a unified approach to this issue. In the course of the work, scientific methods for combining forecasts were applied (proposed by K. Granger and R. Ramanathan), one of which involves the presence and calculation of the constant coefficient. The practical results obtained by the author of the article have generally confirmed the value of including a constant coefficient in the combined forecast, on the basis of which it was concluded that the use of the latter is possible if there is confidence that it can improve the accuracy of forecasting. The study also identified

© Сурков А.А., 2024

the need to find such an approach to constructing weighting coefficients that would take into account the possibility of changing the constant coefficient for combining forecasts, thereby expanding the possibilities of its application.

Keywords: merging forecasts; forecasting; weighting coefficients; constant coefficient; combined forecast; forecasting accuracy; forecast quality

For citation: Surkov A.A. Effectiveness of using a constant coefficient in combining forecasts to improve forecasting accuracy. *Uchet. Analiz. Audit = Accounting. Analysis. Auditing*. 2024;11(4):96-107. (In Russ.). DOI: 10.26794/2408-9303-2024-11-4-96-107

ВВЕДЕНИЕ

Практически вся наша жизнь зависит от прогнозов — погоды, спроса на товары и услуги, экономических, финансовых событий и др. По этой причине в современном мире, характеризующемся обилием данных и неопределенностью, способность давать точные прогнозы имеет большое значение. Это особенно актуально, учитывая заметную роль прогнозирования и статистики наравне с учетно-аналитическими процессами в формировании информации для принятия системно обоснованных управленческих решений в интересах обеспечения уверенного экономического роста и развития экономики всей страны [1].

Зачастую на практике перед исследователем стоит вопрос выбора модели прогнозирования, что при наличии большого количества неопределенностей является решающим фактором для достижения высокой точности результата.

Такой подход, как объединение прогнозов, уже давно зарекомендовал себя как наиболее оптимальный способ избежать такого выбора, поскольку позволяет задействовать всю возможную информацию о прогнозируемом явлении, содержащуюся в частных прогнозах. Это положительно сказывается на точности прогнозирования, повышая уверенность в прогнозе. К тому же объединение прогнозов является более адаптивным подходом к изменениям в прогнозируемом процессе.

С развитием данного подхода растет и количество самих методов объединения прогнозов — при этом в качестве основы используется как простое взвешенное среднее, так и линейное программирование, нейронные сети.

Но, несмотря на разнообразие этих методов, практически не рассматривается вариант включения в объединение постоянного коэффициента, хотя его применение вполне обосновано с точки зрения повышения точности прогнозирования.

В данной научной статье мы рассмотрим влияние постоянного коэффициента (с точки зрения его преимуществ и недостатков) на эффективность

прогнозирования, а также дадим рекомендации по его использованию, на практике проверим его обоснованность.

Постоянный коэффициент может стать дополнительным фактором для повышения точности прогнозирования или же, наоборот, ухудшить ее.

Самые первые методы объединения прогнозов были основаны на простом усреднении данных. Еще Гальтон в 1906 г. отметил, что усреднение нескольких оценок фактических данных может улучшить точность относительно отдельных оценок [2]. Первым же серьезным исследованием по объединению прогнозов можно назвать работу Дж. Бейтса и К. Грейнджера 1964 г. [3], которые впервые проанализировали преимущества применения данного подхода для прогнозирования и разработали рекомендации для построения объединения, впоследствии уточненные П. Грейнджером и К. Ньюболдом [4]. С тех пор появилось достаточно много научных трудов по использованию объединения прогнозов на практике. Так, недавнее исследование в рамках конкурса М4¹ С. Макридакиса и его команды подтвердили преимущества объединения прогнозов [5]. Из 17 методов прогнозирования, показавших высокую точность результатов, 12 представляли собой объединения частных прогнозов, которые были получены по статистическим моделям.

Что касается отечественной литературы, то впервые собственные методы объединения прогнозов с целью повышения точности прогнозирования были представлены в книге А. А. Френкеля в 1972 г. (применительно к производительности труда) [6] и статье Э. Б. Ершова в 1973 г. [7]. На сегодняшний день из отечественных работ по объединению прогнозов можно выделить публикации [8, 9].

¹ Соревнование М4 — это продолжение трех предыдущих соревнований, которые проводились более 45 лет назад с целью изучения способов повышения точности прогнозирования, а также того, как такое обучение может быть применено для развития теории и практики прогнозирования.

На основе существующей практики можно выделить следующие основные преимущества этого подхода:

1. *Сокращение неточности.* Частные прогнозы компенсируют недостатки друг друга, снижая неточность прогнозирования.

2. *Повышение точности.* Объединение прогнозов увеличивает точность прогнозирования за счет извлечения из нескольких используемых для этой цели моделей всей доступной информации.

3. *Повышение надежности.* Объединяя полученные путем применения различных методов прогнозы, можно повысить их общую надежность. Даже если один или несколько из них окажутся неточными, другие прогнозы могут помочь скомпенсировать эти ошибки.

4. *Улучшенная интерпретируемость.* Объединение прогнозов способствует улучшению интерпретируемости полученного результата, поскольку позволяет исследовать причину их расхождений. Это может помочь выявить слабые стороны отдельных моделей прогнозирования и разработать стратегии для их улучшения.

В то же время у объединения прогнозов есть и свои недостатки, которые часто сочетаются с преимуществами:

1. *Сложность в реализации.* При объединении прогнозов могут возникнуть проблемы, вызванные недостаточным пониманием применяемых методов, а также наличием факторов, которые способны оказать влияние на исследуемый процесс.

2. *Необходимость в достаточных данных.* Для эффективного использования объединения прогнозов требуется наличие временных рядов достаточной длины для минимизации ошибки прогнозирования. В случае, если они будут короче, объединение прогнозов может не привести к улучшению точности прогнозирования.

3. *Потенциальное снижение точности.* В некоторых случаях объединение прогнозов способно вызвать снижение точности по сравнению с результатом, полученным с помощью лучшего частного метода прогнозирования. Это может произойти, если частные прогнозы в значительной степени коррелированы между собой или если метод объединения не подходит для конкретной задачи.

4. *Трудности в интерпретации.* Объединенные прогнозы могут быть сложнее в интерпретации, чем частные, поскольку представляют собой комбинацию нескольких прогнозов, каждый из которых может иметь свой собственный уровень неопределенности.

5. *Вычислительная нагрузка.* Эта проблема возникает в случаях, когда требуется обучение сложных моделей или обработка больших объемов данных.

Несмотря на указанные выше недостатки, для улучшения точности и надежности прогнозирования объединение нескольких прогнозов остается ценным инструментом, особенно когда они независимы и содержат достаточный объем информации.

Совершенствование анализа эффективности использования объединения прогнозов приводит к увеличению количества методов объединения, разнообразие которых заключается в подходах к построению весовых коэффициентов.

В связи с этим основной задачей становится поиск оптимальных коэффициентов для повышения точности объединения [2, 3, 10].

Можно выделить следующие основные варианты построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов [10]:

1. *Линейная комбинация.* Весовые коэффициенты вычисляются как фиксированные константы, обычно определяемые субъективно или с использованием исторических данных.

2. *Взвешенное среднее.* Весовые коэффициенты рассчитываются путем минимизации среднеквадратической ошибки.

3. *Взвешивание на основе дисперсии.* Весовые коэффициенты обратно пропорциональны дисперсии индивидуальных прогнозов.

4. *Взвешивание отношений правдоподобия.* Весовые коэффициенты основаны на отношении правдоподобия частных прогнозов относительно среднего прогноза.

5. *Самообучающиеся методы.* Весовые коэффициенты адаптируются с течением времени в зависимости от прошлых результатов прогнозирования. В качестве примера можно привести рекуррентные нейронные сети и ансамбли [11].

6. *Обучение по метаданным.* Весовые коэффициенты определяются с использованием метаданных, связанных с прогнозами, таких как источник данных или модель прогнозирования.

При этом, как заметил Дж. Армстронг, если у прогнозиста нет какой-либо дополнительной информации о частных прогнозах, то достаточно использовать простое усреднение. Оно будет все равно более эффективно по сравнению с частными прогнозами [12].

Следует отметить, что практически во всех случаях для объединения используется линейная форма объединения частных прогнозов:

$$F = \sum_{i=1}^n f_i w_i, \quad (1)$$

где F — объединенный прогноз; f_i — i -й частный прогноз, от 1 до n ; w_i — весовой коэффициент, с которым i -й частный прогноз включается в объединенный прогноз.

Основные ограничения, накладываемые на весовые коэффициенты, — это их положительность, а также то, что их сумма должна быть равна единице [13].

В связи с линейной формой объединения зачастую возникает вопрос о возможности применения постоянного коэффициента в объединении прогнозов. Если последние являются частными, то постоянный коэффициент — это заранее заданный вес (одинаковый для всех используемых частных прогнозов), применение которого может быть полезным в ряде случаев, особенно при отсутствии дополнительной информации о точности и надежности каждого частного прогноза.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПОСТОЯННОГО КОЭФФИЦИЕНТА ПРИ ОБЪЕДИНЕНИИ ПРОГНОЗОВ

Наряду с поиском оптимального метода построения весовых коэффициентов при объединении прогнозов в литературе рассматривается и возможность использования постоянного коэффициента (константы) в структуре объединения. Это в первую очередь связано с представлением объединения как линейной формы, которая очень похожа на регрессионную модель, в связи с чем возникает возможность включения в нее и постоянного коэффициента.

На данный момент не существует практических результатов, которые бы однозначно доказывали эффективность применения постоянного коэффициента в объединении прогнозов. При этом поиск подобных доказательств является достаточно активной областью исследований, и имеются разные стратегии его реализации, часть которых будет рассмотрена ниже.

Впервые о возможности использования постоянного коэффициента было заявлено в 1984 г. К. Гейнджером и Р. Раманатханом [14], представившими расчет весовых коэффициентов по трем методам (методы Гейнджера и Раманатхана): первый основывался только на минимизации ошибки прогнозирования без включения каких-либо ограничений на весовые коэффициенты;

во-втором учитывалось дополнительное ограничение на сумму весов в объединении. В третьем же методе, помимо перечисленного, предлагалось применять постоянный коэффициент. Его введение потребовало минимизации выражения вида

$$\min(x - \delta_0 l - F\delta)^T (x - \delta_0 l - F\delta), \quad (2)$$

где x — вектор фактических значений; δ_0 — постоянный член; δ служит для обозначения вектора весовых коэффициентов; l — единичный вектор.

Поиск оптимальных весовых коэффициентов и постоянного члена δ_0 будет выглядеть так:

$$\delta = \alpha - \delta_0 (F^T F)^{(-1)} F^T l, \quad (3)$$

$$\delta_0 = \frac{l^T e_A}{n - \theta}, \quad (4)$$

$$\theta = l^T F (F^T F)^{(-1)} F^T l, \quad (5)$$

где α — вектор весовых коэффициентов, полученных по второму методу Грейнджера и Раманатхана; e_A — ошибка объединенного прогноза, полученного по простому объединению, без использования постоянного коэффициента.

Практические результаты авторов показали эффективность применения константы в объединении. В среднем данный метод был точнее относительно частных прогнозов на 40% при сравнении среднеквадратических отклонений, и именно он лег в основу всех исследований по использованию постоянного коэффициента в объединении прогнозов.

Р. Клемен в 1986 г., воспользовавшись методами Грейнджера и Раманатхана, произвел практические расчеты, и оказалось, что постоянный коэффициент не всегда может способствовать повышению точности прогнозирования при объединении [15] — в своей работе ученый, напротив, ухудшил точность объединенного прогноза даже в сравнении с частными методами прогнозирования (хотя в целом допустил возможность его задействования при построении объединенного прогноза). Таких же результатов добились Дж. Тренклер и Е. Лиски, подтвердив выводы Р. Клемена [16].

Исследователи К. Хсао и С. Ван при сравнении различных вариантов объединения прогнозов применяли методы Грейнджера и Раманатхана [17] и выявили, что третий (с использованием постоянного коэффициента) не привел к увеличению

точности прогнозирования, оказавшись наименее точным. К сожалению, ученые не дали объяснения полученным результатам. Единственное, что было отмечено — это то, что постоянный коэффициент должен быть положительным и входить в объединение в качестве средства исправления смещения объединения прогнозов.

Стоит отметить и работу Н. Тери и Х. Дьюка [18]. Хотя ее целью было сравнение преимуществ использования изменяющихся весовых коэффициентов в объединении прогнозов, а основным выводом авторов явилось утверждение, что объединение прогнозов с пересчетом весовых коэффициентов дает более точные результаты в сравнении с объединением с постоянными коэффициентами. При этом Н. Тери и Х. Дьюка в качестве постоянной модели использовали как раз объединение с константой. Таким образом, можно сделать заключение, что объединение прогнозов с постоянным коэффициентом может уступать по точности моделям с изменяющимися показателями.

Вместе с тем Дж. Холменом при анализе методов Грейнджера и Раманатхана, напротив, были получены результаты, подтверждающие, что третий метод с применением постоянного коэффициента приводит к незначительному повышению точности прогнозирования [19].

А. Селаль и И. Севкет провели подробный анализ сравнения различных моделей объединения прогнозов с использованием как ограничений на веса, так и постоянного коэффициента [20]. По данным исследователей, чаще всего наиболее точным оказался метод с использованием положительной константы в объединении.

В работе же С. Гекхана (основанной все на тех же методах Грейнджера и Раманатхана) постоянный коэффициент в регрессионной модели объединения прогноза назван фактором, обеспечивающим коррекцию смещения и приводящим к поправке на погрешность частных методов прогнозирования [21]. Ученый считает, что его нельзя убирать из объединения, даже если определено, что частные прогнозы являются объективными. В практических расчетах объединение прогнозов с использованием регрессионной модели с постоянным коэффициентом привело к повышению точности прогнозирования.

Анализ работ с применением постоянного коэффициента ведет к неоднозначному заключению относительно его роли в объединении прогнозов — он может способствовать как увеличению,

так и уменьшению точности прогнозирования. Исходя из практического опыта можно выделить несколько причин, по которым включение постоянного коэффициента в объединение прогнозов может быть полезным:

1. *Учет разной точности частных прогнозов.* Точность и надежность различных моделей и методов прогнозирования могут различаться. Добавление постоянного коэффициента позволяет сгладить влияние смещенных частных прогнозов на объединение.

2. *Снижение влияния выбросов и ошибок частных прогнозов.* Иногда частные прогнозы содержат выбросы или ошибки, искажающие итоговый результат. Задействование постоянного коэффициента при объединении может помочь снизить влияние таких выбросов или ошибок, поскольку способствует уменьшению веса содержащего их прогноза в объединении по сравнению с другими, более надежными.

3. *Повышение стабильности прогнозов.* Объединение прогнозов с использованием константы способно помочь повысить стабильность объединенного прогноза. Если одна модель или метод прогнозирования временно дает неточные результаты, другие частные прогнозы благодаря постоянному коэффициенту сглаживают эту нестабильность и обеспечивают более надежный и устойчивый итоговый объединенный прогноз.

4. *Учет неизвестной информации.* Константа может быть использована для учета неизвестной информации о прогнозируемом явлении (не включенной в частные методы прогнозирования), которая способна оказать влияние на итоговый результат. Например, применительно к экономике постоянный коэффициент может отражать долгосрочную среднюю ставку безработицы или инфляцию, которые неизвестны на момент составления частных прогнозов.

В целом можно сделать основной вывод, что добавление константы окажется полезным для смещения итогового объединенного прогноза в определенную сторону, если есть информация, что частные прогнозы могут быть недостаточно точными. Например, если в объединении участвуют прогнозы, которые обычно недооценивают реальные значения, то для того, чтобы это скорректировать, возможно добавление положительного постоянного коэффициента.

Однако следует отметить, что подобное действие способно привести к искажению итогового

результата, если константа не соответствует реальным данным или характеристикам частных прогнозов. Поэтому важно оценить влияние ее добавления и убедиться, что она действительно повышает точность прогнозирования.

Выделим основные проблемы, связанные с включением постоянного коэффициента в объединение прогнозов:

1. *Неправильный выбор постоянного коэффициента.* Поиск оптимального значения постоянного коэффициента может быть сложной задачей, поскольку все зависит от конкретной ситуации. Неправильный выбор чреват искажением итогового объединенного прогноза (например, слишком большая величина константы завысит итоговое объединение по сравнению с фактическими данными).

2. *Изменение точности прогнозов.* Если точность частных прогнозов со временем меняется, использование постоянного коэффициента может привести к ухудшению их объединения. Например, если один из прогнозов становится более (или менее) точным по сравнению с другими, константа для такого объединения неэффективна, потому что уже не учитывает изменение в точности частных методов прогнозирования.

3. *Невозможность качественной оценки и интерпретируемости полученного результата.* При добавлении постоянного коэффициента сложно оценить, насколько он действительно повышает точность объединенного прогноза. Возможно, он просто компенсирует недостатки других моделей или методов прогнозирования, а не дает реальное улучшение в точности. Кроме этого, теряется и интерпретируемость полученного объединенного прогноза, поскольку связь между частными прогнозами и постоянным коэффициентом может быть менее очевидной.

Также следует отметить, что постоянный коэффициент добавляет в модель дополнительный параметр, который может оказаться избыточным, если другие независимые переменные уже учитывают его влияние. Результат при таком подходе будет сложнее сравнивать с полученными иными методами, которые обладают другой структурой.

Основным же недостатком константы в объединении прогнозов является как неточность в ее определении, так и ее постоянство относительно изменений в исследуемом процессе. Невозможность корректировки постоянного коэффициента способна оказать существенное влияние на точ-

ность объединенного прогноза. Этот недостаток особенно заметен в сравнении с весовыми коэффициентами, которые при объединении прогнозов могут адаптироваться под изменения в исходных данных. Кроме того, дальнейшее развитие объединения прогнозов связано с совершенствованием методов объединения прогнозов, которые позволяют перестраиваться со временем, то есть с изменяющимися коэффициентами. При таком подходе постоянный коэффициент будет только ухудшать результаты прогнозирования.

Исходя из анализа применения константы при объединении прогнозов, ее преимуществ и недостатков, можно сделать предположение, в каких случаях целесообразно ее использование:

1. Если есть основание полагать, что частные прогнозы, используемые в объединении, значительно отклоняются от фактических данных. В этой ситуации постоянный коэффициент может нивелировать такое отклонение.

2. Если для объединения используются прогнозы, не покрывающие всю информацию об изучаемом процессе. Такое возможно при применении простых методов прогнозирования. Постоянный коэффициент в этом случае способен стать заменителем недостающей информации. Если методы более сложные, он может покрывать внешнюю информацию, которая оказывает влияние на прогнозируемый процесс, но не учтена в частных методах прогнозирования.

3. При моделировании нелинейных процессов константа может помочь захватить линейные тенденции в данных, которые не улавливаются другими частными методами прогнозирования.

В иных же случаях такой постоянный коэффициент скорее всего приведет к искажению результата объединения и к ухудшению его точности.

ПРАКТИЧЕСКИЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПОСТОЯННОГО КОЭФФИЦИЕНТА

Рассмотрим практическое использование постоянного коэффициента при объединении прогнозов и оценим эффективность его применения.

Для этой цели возьмем временной ряд годовых данных об объемах производства электроэнергии (в млрд кВт·ч.) в России (СССР) за период с 1958 по 2023 г.² В качестве частных методов

² Данные представлены Центром макроэкономического анализа и прогнозирования ИЭ РАН [10].

прогнозирования выступали следующие: метод гармонических весов (MGV), экспоненциальное сглаживание (MEKS), экспоненциальное сглаживание с трекинг-сигналом (MAEKS) и модель Бокса — Дженкинса (ARIMA). Методами объединения прогнозов явились три метода Грейнджера и Раманатхана: как было отмечено ранее, постоянный коэффициент используется при расчете только в третьем из них [6, 10].

В ходе построения объединенного прогноза были определены весовые коэффициенты (табл. 1), достаточно близкие по значениям, полученным при расчетах всеми тремя методами.

Стоит отметить, что в первом и третьем из них нет ограничения на сумму весовых коэффициентов — оно присутствует только во втором. Но во всех трех методах весовые коэффициенты в сумме дают единицу.

Для третьего метода объединения прогнозов Грейнджера и Раманатхана был получен постоянный коэффициент, равный 1,338. Таким образом, моделью предполагалось, что полученный объединенный прогноз будет немного завышен относительно фактических данных.

Полученные ретропрогнозные результаты за период с 2010 по 2023 г. и прогноз на 2024–2026 гг. представлены в табл. 2.

Оценка точности прогнозирования для всех используемых методов проводилась на основе трех показателей: среднее квадратическое отклонение, среднее абсолютное отклонение и среднее относительное отклонение (табл. 3), которые явились оценками качества используемых моделей прогнозирования. На основе данных табл. 3 можно сделать вывод и об уровне дальнейшего прогнозирования с помощью используемых моделей.

Полученные результаты говорят о том, что использование постоянного коэффициента при объединении прогнозов может незначительно повысить точность прогнозирования, и третий метод оказался в совокупности точнее, чем первые два.

Из частных методов прогнозирования наиболее точным стал метод гармонических весов, а наименее точным — экспоненциальное сглаживание с трекинг-сигналом. Стоит определить, будет ли таким же повышение точности при объединении наиболее и наименее точного частного метода прогнозирования.

По первым двум методам объединения прогнозов Грейнджера и Раманатхана для MGV был получен вес 1,037, а для MEKS — (–0,37). По третьему же методу для MGV вес определен как 1,039, а для MEKS — (–0,38). Постоянный коэффициент равен –1,031. В табл. 4 представлены оценки точности полученных прогнозов.

Из данных табл. 4 можно определить, что постоянный коэффициент в данном объединении не привел к повышению точности прогнозирования, хотя для этого метода рассчитано наименьшее среднеквадратическое отклонение относительно частных и объединенных прогнозов производства электроэнергии.

В целом исходя из полученных практических результатов следует заключение, что постоянный коэффициент способен как повысить, так и снизить точность прогнозирования. Его применение фактически зависит от используемых частных прогнозов (и их точности). Но в любом случае такой объединенный прогноз с использованием постоянного коэффициента будет более точным, чем отдельные частные, используемые в объединении.

Таблица 1 / Table 1

Весовые коэффициенты при объединении прогнозов методами Грейнджера и Раманатхана /
Weighting coefficients when combining forecasts using the Granger and Ramanathan methods

Метод объединения / The merger method	Частные прогнозы / Private forecasts			
	MGV	MEKS	MAEKS	ARIMA
1-й метод	1,061	–0,049	0,068	–0,080
2-й метод	1,062	–0,049	0,067	–0,080
3-й метод	1,067	–0,050	0,073	–0,088

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

Таблица 2 / Table 2

Результаты построения частных и объединенных прогнозов производства электроэнергии за период с 2010 по 2025 г., млрд кВт·ч / Results of constructing private and combined forecasts of electricity production for the period from 2010 to 2025, billion kWh

Год / Year	Факт / Fact	MGV	MEKS	MAEKS	ARIMA	1-й метод / 1st method	2-й метод / 2nd method	3-й метод / 3rd method
2010	1037,8	1034,558	1027,974	985,764	976,17	1036,545	1036,273	1036,938
2011	1055,0	1049,274	1048,923	1037,967	1041,89	1049,436	1049,124	1049,643
2012	1069,0	1059,896	1069,098	1068,508	1080,64	1058,703	1058,367	1058,796
2013	1059,0	1064,440	1085,187	1085,501	1084,89	1063,551	1063,202	1063,701
2014	1064,0	1065,968	1075,443	1064,122	1060,15	1066,172	1065,845	1066,426
2015	1068,0	1072,660	1071,999	1062,898	1062,42	1073,176	1072,856	1073,45
2016	1091,0	1087,020	1071,500	1066,649	1070,94	1088,011	1087,699	1088,322
2017	1094,0	1097,825	1092,058	1099,359	1103,95	1098,057	1097,721	1098,313
2018	1115,0	1108,000	1100,301	1104,104	1104,71	1108,712	1108,379	1109,031
2019	1121,0	1113,250	1121,414	1129,461	1127,54	1113,152	1112,796	1113,421
2020	1090,0	1104,200	1131,851	1134,579	1132,49	1102,994	1102,622	1103,179
2021	1159,0	1144,153	1139,005	1135,404	1143,56	1144,209	1143,866	1144,526
2022	1170,0	1173,516	1168,506	1169,155	1172,09	1173,938	1173,584	1174,331
2023	1178,0	1173,105	1173,007	1171,906	1179,61	1172,870	1172,510	1173,206
2024	—	1187,081	1194,175	1195,323	1201,13	1186,537	1186,164	1186,874
2025	—	1201,057	1211,176	1213,574	1219,16	1200,337	1199,955	1200,681
2026	—	1215,033	1228,177	1231,825	1237,18	1214,137	1213,746	1214,487

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

ВЫВОДЫ

Учитывая проведенный анализ и полученные на практике данные, можно сделать вывод, что постоянный коэффициент в объединении прогнозов действительно способен повысить качество прогнозирования, поскольку позволяет учесть структурные изменения и необходимость корректировки объединенного прогноза относительно его отклонений.

При этом на практике применяется в основном метод построения весовых коэффициентов Грейнджера и Раманатхана, который позволяет использовать постоянный коэффициент в структуре объединения.

Этот метод предоставляет надежное математическое основание для вычисления объединенного прогноза с постоянным коэффициентом. Анализ фактических данных показывает, что объединение прогнозов на его основе может усилить точность прогнозирования по сравнению с расчетами, выполненными с применением частных прогнозов. Это относится и к тем случаям, когда добавление постоянного коэффициента не приводит к повышению точности объединения в сравнении с объединением без него.

Как результат, подтверждается ценность использования в объединенном прогнозе постоянного коэффициента. Основными аргументами

Таблица 3 / Table 3

Оценка точности частных и объединенных прогнозов производства электроэнергии за период с 1958 по 2022 г., млрд кВт·ч / Assessment of the accuracy of individual and combined forecasts of electricity production for the period from 1958 to 2022, billion kWh

Метод прогнозирования / Forecasting Method	Среднее квадратическое отклонение, млрд кВт·ч (MSE) / Forecasting Method Standard Error, billion kWh (MSE)	Среднее абсолютное отклонение, млрд кВт·ч (MAE) / Mean Absolute Error, billion kWh (MAE)	Среднее относительное отклонение, % (MAPE) / Mean Relative Error, % (MAPE)
MGV	7,225	4,841	0,660
MEKS	28,198	18,811	2,750
MAEKS	27,690	18,402	2,683
ARIMA	20,406	13,942	1,700
1-й метод	7,081	4,805	0,564
2-й метод	7,085	4,827	0,565
3-й метод	7,063	4,805	0,563

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

Таблица 4 / Table 4

Оценка точности частных и объединенных прогнозов производства электроэнергии за период с 1958 по 2022 г., млрд кВт·ч / Assessment of the accuracy of individual and combined forecasts of electricity production for the period from 1958 to 2022, billion kWh

Метод прогнозирования / Forecasting Method	Среднее квадратическое отклонение, млрд кВт·ч (MSE) / Forecasting Method Standard Error, billion kWh (MSE)	Среднее абсолютное отклонение, млрд кВт·ч. (MAE) / Mean Absolute Error, billion kWh (MAE)	Среднее относительное отклонение, % (MAPE) / Mean Relative Error, % (MAPE)
MGV	7,225	4,841	0,660
MEKS	28,198	18,811	2,750
1-й метод	7,131	4,851	0,561
2-й метод	7,135	4,850	0,561
3-й метод	7,122	4,862	0,570

Источник / Source: составлено автором / compiled by the author.

в пользу данного вывода служат необходимость корректировки объединенного прогноза относительно фактических данных, а также нивелирование недостатка исходной информации по исследуемому процессу в объединении. Такой подход достаточно прост в реализации и может быть применен в различных областях.

Однако следует отметить, что задействование константы может негативно сказаться на точ-

ности и надежности объединенного прогноза, так как необходимо принимать во внимание ряд ограничений. Постоянный коэффициент не способен учитывать изменения, тренды или сезонность данных, что может привести к неточным прогнозам. Кроме того, при его использовании не рассматриваются случайные отклонения, и, если они имеют значительное влияние, качество прогноза может снизиться.

С учетом вышесказанного можно утверждать, что основным направлением развития должен быть поиск метода построения динамичного постоянного коэффициента, пересчет которого (или даже обнуление) на отдельных пошаговых прогнозах будет нивелировать большую часть перечисленных недостатков.

В целом же в зависимости от предметной области и поставленной задачи необходимо всесторонне оценивать преимущества и недостатки постоянного коэффициента в объединенном прогнозе и принимать отдельно решение о его использовании в каждом конкретном случае.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Эскиндаров М.А., Салин В.Н., Мельник М.В., Михненко О.Е. Конвергенция экономического и статистического учета и анализа в социальной сфере. *Учет. Анализ. Аудит*. 2024;11(2):6–23. DOI: 10.26794/2408–9303–2024–11–2–6–23
2. Френкель А.А., Сурков А.А. Определение весовых коэффициентов при объединении прогнозов. *Вопросы статистики*. 2017;12:3–15.
3. Bates J. M., Granger C. W. J. The combination of forecasts. *Operational Research Quarterly*. 1964;4(20):451–468. DOI: 10.2307/2982011
4. Newbold P., Granger C. W. J. Experience with forecasting univariate time series and the combination of forecasts. *Journal of the Royal Statistical Society*. 1974;137:131–164. DOI: 10.2307/2344546
5. Makridakis, S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. The M4 competition: Results, findings, conclusion and way forward. *International Journal of Forecasting*. 2018;4(34):802–808. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2018.06.00
6. Френкель А.А. Математические методы анализа динамики и прогнозирования производительности труда. М.: Экономика; 1972. 190 с.
7. Ершов Э.Б. Об одном методе объединения частных прогнозов. *Ученые записки по статистике*. 1973; XXII–XXIII:87–105.
8. Стырин К. Прогнозирование инфляции в России методом динамического усреднения моделей. *Деньги и кредит*. 2019;1:3–18. DOI: 10.31477/rjmf.201901.03
9. Сурков А.А. Объединение экономических прогнозов с использованием экспертной информации. *Статистика и экономика*. 2019;5:4–14. DOI: 10.21686/2500–3925–2019–5–4–14
10. Френкель А.А., Сурков А.А. Объединение прогнозов — эффективный инструмент повышения точности прогнозирования. М.: URSS; 2023. 200 с.
11. Lazcano A., Herrera P. J., Monge M. A Combined model based on recurrent Neural Networks and graph convolutional networks for financial time series forecasting. *Mathematics*. 2023;1(11). DOI: 10.3390/math11010224
12. Armstrong J. S. Combining Forecasts. *International Series in Operations Research & Management Science*. 2001;30:417–439. DOI: 10.1007/978–0–306–47630–3
13. Сурков А.А. Так ли плохи отрицательные веса в объединении прогнозов? *Статистика и экономика*. 2023;4:4–11. DOI: 10.21686/2500–3925–2023–4–4–11
14. Granger C. W. J., Ramanathan R. Improved methods of combining forecasts. *Journal of Forecasting*. 1984;3:197–204. DOI: 10.1002/for.3980030207
15. Clemen R. T. Linear constraints and the efficiency of combined forecasts. *Journal of Forecasting*. 1986;1(5):31–38. DOI: 10.1002/for.3980050104
16. Trenkler G., Liski E. P. Linear constraints and the efficiency of combined forecasts. *Journal of Forecasting*. 1986;3(5):197–202. DOI: 10.1002/for.3980050306
17. Hsiao C., Wan S. K. Is there an optimal forecast combination? *Journal of econometrics*. 2014;2(178):294–309. DOI: 10.1016/j.jeconom.2013.11.003
18. Terui N., Dijk H. K. Combined forecasts from linear and nonlinear time series models. *International Journal of Forecasting*. 2002;3(18):421–438. [https://doi.org/10.1016/S 0169–2070\(01\)00120–0](https://doi.org/10.1016/S 0169–2070(01)00120–0)
19. Holmen J. S. A note on the value of combining short-term earnings forecasts: A test of Granger and Ramanathan. *International Journal of Forecasting*. 1987;2(35):239–243.
20. Celal A., Sevket I. G. An empirical analysis of the accuracy of SA, OLS, ERLS and NRLS combination forecasts. *International Journal of Forecasting*. 1991;1(8):27–43.

21. Gökhan S. The combination of forecasts: An application of a time-varying simple weighting method to inflation forecasts in Turkey. *International Research Journal of Applied Finance*. 2022;3(2):270–301.

REFERENCES

1. Eskindarov M. A., Salin V. N., Melnik M. V., Mikhnenko O. E. Convergence of economic and statistical accounting and analysis in the social sphere. *Uchet. Analiz. Audit. = Accounting. Analysis. Auditing*. 2024;11(2):6–23. (In Russ.). DOI: 10.26794/2408–9303–2024–11–2–6–23
2. Frenkel A. A., Surkov A. A. Determination of weighting coefficients when combining forecasts. *Voprosy statistiki = Statistics questions*. 2017;12:3–15. (In Russ.).
3. Bates J. M., Granger C. W. J. The combination of forecasts. *Operational Research Quarterly*. 1964;4(20):451–468. DOI: 10.2307/2982011
4. Newbold P., Granger C. W. J. Experience with forecasting univariate time series and the combination of forecasts. *Journal of the royal statistical society*. 1974;137:131–164. DOI: 10.2307/2344546
5. Makridakis, S., Spiliotis E., Assimakopoulos V. The M4 competition: Results, findings, conclusion and way forward. *International Journal of Forecasting*. 2018;4(34):802–808. DOI: 10.1016/j.ijforecast.2018.06.00
6. Frenkel A. A. Mathematical methods for analyzing the dynamics and forecasting labor productivity. Moscow: *Ekonomika*; 1972. 190 p. (In Russ.).
7. Ershov E. B. About one method for combining partial forecasts. *Uchenye zapiski po statistike = Scientific notes on statistics*. 1973; XXII–XXIII:87–105. (In Russ.).
8. Styurin K. Forecasting inflation in Russia using the method of dynamic averaging of models. *Dengi i kredit = Money and credit*. 2019;1:3–18. (In Russ.). DOI: 10.31477/rjmf.201901.03
9. Surkov A. A. Combining economic forecasts using expert information. *Statistika i ekonomika = Statistics and economics*. 2019;5:4–14. (In Russ.). DOI: 10.21686/2500–3925–2019–5–4–14
10. Frenkel A. A., Surkov A. A. Forecast fusion is an effective tool for improving forecasting accuracy. Moscow: URSS; 2023. 200 p. (In Russ.).
11. Lazcano A., Herrera P. J., Monge M. A Combined model based on recurrent Neural Networks and graph convolutional networks for financial time series forecasting. *Mathematics*. 2023;11(11). DOI: 10.3390/math11010224
12. Armstrong J. S. Combining forecasts. *International Series in Operations Research & Management Science*. 2001;30:417–439. DOI: 10.1007/978–0–306–47630–3
13. Surkov A. A. Are negative weights bad for combining forecasts? *Statistika i ekonomika = Statistics and economics*. 2023;4:4–11. (In Russ.). DOI: 10.21686/2500–3925–2023–4–4–11
14. Granger C. W. J., Ramanathan R. Improved methods of combining forecasts. *Journal of Forecasting*. 1984;3:197–204. DOI: 10.1002/for.3980030207
15. Clemen R. T. Linear constraints and the efficiency of combined forecasts. *Journal of Forecasting*. 1986;1(5):31–38. DOI: 10.1002/for.3980050104
16. Trenkler G., Liski E. P. Linear constraints and the efficiency of combined forecasts. *Journal of Forecasting*. 1986;3(5):197–202. DOI: 10.1002/for.3980050306
17. Hsiao C., Wan S. K. Is there an optimal forecast combination? *Journal of econometrics*. 2014;2(178):294–309. DOI: 10.1016/j.jeconom.2013.11.003
18. Terui N., Dijk H. K. Combined forecasts from linear and nonlinear time series models. *International Journal of Forecasting*. 2002;3(18):421–438. [https://doi.org/10.1016/S 0169–2070\(01\)00120–0](https://doi.org/10.1016/S 0169–2070(01)00120–0)
19. Holmen J. S. A note on the value of combining short-term earnings forecasts: A test of Granger and Ramanathan. *International Journal of Forecasting*. 1987;2(35):239–243.
20. Celal A., Sevkett I. G. An empirical analysis of the accuracy of SA, OLS, ERLS and NRLS combination forecasts. *International Journal of Forecasting*. 1991;1(8):27–43.
21. Gökhan S. The Combination of forecasts: An application of a time-varying simple weighting method to inflation forecasts in Turkey. *International Research Journal of Applied Finance*. 2022;3(2):270–301.

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРЕ / ABOUT THE AUTHOR

Антон Александрович Сурков — кандидат экономических наук, старший научный сотрудник Центра макроэкономического анализа и прогнозирования, Институт экономики РАН, Москва, Россия

Anton A. Surkov — Cand. Sci. (Econ.), Senior Researcher at the Center for Macroeconomic Analysis and Forecasting, Institute of Economics RAS, Moscow, Russia

<https://orcid.org/0000-0002-2464-5853>

surkoff@inbox.ru

Конфликт интересов: автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

Conflicts of Interest Statement: The author has no conflicts of interest to declare.

Статья поступила в редакцию 22.07.2024; после рецензирования 07.08.2024; принята к публикации 22.10.2024.

The article was submitted on 22.07.2024; revised on 07.08.2024 and accepted for publication on 22.10.2024.

Автор прочитал и одобрил окончательный вариант рукописи.

The author read and approved the final version of the manuscript.