



DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2020.4.9>

UDC 519.862.6
LBC 22.172

Submitted: 06.10.2020
Accepted: 21.10.2020

DEVELOPMENT OF FORECASTING MODELS SUITABLE FOR METAL TRADING COMPANIES

Karen G. Paytyan

Volgograd State University, Volgograd, Russian Federation;
Analytics and Risk Management Department, EOS Group, EOS LLC, Moscow, Russian Federation

Abstract. The volume of world metal consumption is one of the main indicators of the state of economy as a whole. This is explained by the fact that such an industry as construction presents a great demand for these products. At the same time, the volume of construction is growing along with the economy growth, because a healthy market attracts more investment. Therefore, the state of the global metal market is one of the indicators of the state of the global economy as a whole, and the challenges facing this industry are relevant for the entire world market. One of them is forecasting metal prices to make right business decisions. The article presents a practical task that shows the need for forecasting. At the next step, the author developed a criterion for the quality of forecasting, if satisfied, we can talk about the applicability of the model in practice. On a randomly selected time interval, the quality of common statistical forecasting models, such as the pair regression equation and linear models, is analyzed. New models have also been developed that are based both on a technical analysis of exchange quotations of metal prices and on a fundamental one. At the final step, the results of all the models presented in the work were compared with the criterion of applicability developed in practice by the author and the most promising of them were selected.

Key words: standard statistical models for forecasting time series, “slow” and “fast” moving averages, futures contract price, fair futures price, actual futures price, forecast model quality criterion, proportion of correctly predicted price directions, average relative forecast error.

Citation. Paytyan K.G. Development of Forecasting Models Suitable for Metal Trading Companies. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekonomika* [Journal of Volgograd State University. Economics], 2020, vol. 22, no. 4, pp. 99-109. (in Russian). DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2020.4.9>

УДК 519.862.6
ББК 22.172

Дата поступления статьи: 06.10.2020
Дата принятия статьи: 21.10.2020

РАЗРАБОТКА ПРИГОДНЫХ ДЛЯ МЕТАЛЛОТОРГОВЫХ КОМПАНИЙ МОДЕЛЕЙ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ

Карен Гаврушевич Пайтян

Волгоградский государственный университет, г. Волгоград, Российская Федерация;
Департамент аналитики и риск-менеджмента EOS Group ООО «ЭОС», г. Москва, Российская Федерация

Аннотация. Объем мирового потребления металлов выступает одним из основных показателей состояния экономики в целом. Объясняется это тем, что такая отрасль, как строительство, предъявляет большой спрос на данную продукцию. При этом объем строительства растет вместе с ростом экономики, ведь здоровый рынок привлекает больше инвестиций. Следовательно, состояние мирового рынка металлов является одним из индикаторов развития мировой экономики в целом, а задачи, стоящие перед данной отраслью, актуальны для всего мирового рынка. Одна из них – прогнозирование цен на металлы для принятия верных бизнес-решений. В статье рассмотрена практическая задача, которая показывает необходимость прогнозирования. На следующем шаге автором разработан критерий качества прогнозирования, при удовлетворении которому можно говорить о применимости модели на практике. На случайно выбранном отрезке времени проанализировано качество распространенных статистических моделей прогнозирования, таких как уравне-

ние парной регрессии и моделей, сводящихся к линейным. Также были разработаны новые модели, которые основаны как на техническом анализе биржевых котировок цен на металлы, так и на фундаментальном. На конечном шаге результаты всех представленных в работе моделей были сопоставлены с разработанным автором критерием применимости на практике и выбраны наиболее перспективные из них.

Ключевые слова: стандартные статистические модели прогнозирования временных рядов, «медленная» и «быстрая» скользящие средние, цена фьючерсного контракта, справедливая фьючерсная цена, фактическая фьючерсная цена, критерий качества прогнозной модели, доля правильно спрогнозированных направлений движения цены, средняя относительная ошибка прогнозирования.

Цитирование. Пайтрян К. Г. Разработка пригодных для металлоторговых компаний моделей прогнозирования // Вестник Волгоградского государственного университета. Экономика. – 2020. – Т. 22, № 4. – С. 99–109. – DOI: <https://doi.org/10.15688/ek.jvolsu.2020.4.9>

Введение

На протяжении долгого времени рынок металлов занимает ведущие позиции в экономике нашей страны. При этом доля России в мировых запасах никеля составляет более трети, а по производству этого металла вовсе занимает первое место [Корнеева, 2016, с. 38], что позволяет полностью обеспечивать внутренний спрос. Также это делает Россию крупнейшим экспортером и игроком на мировом рынке цветных металлов [Агалакова и др., 2017].

С другой стороны, по результатам первого полугодия 2018 г. экспорт металлов составляет 10,6 % в общей структуре экспорта и занимает второе место после минеральных продуктов (нефть, нефтепродукты, газ и т. д.). [Аналитический центр ...]. Данный факт говорит о том, что экспортная торговля металлами играет важную роль и для внутренней экономики страны, делая существенный вклад в ВВП.

При экспортной торговле также обеспечиваются валютные поступления в бюджет. Это позволяет экономике страны быть более гибкой и эффективно реагировать в короткие сроки на негативные изменения на мировом рынке. Также диверсификация денежной массы между несколькими валютами является экономически более выгодным. Для подтверждения смоделируем простой пример. Предположим, что некая страна имеет денежную массу X . Рассмотрим два варианта: 1) денежная масса хранится только в местной валюте x_1 ; 2) денежная масса распределена между местной и иностранной валютами x_1 и x_2 . Пусть курс местной валюты в иностранной составляет y , тогда $x_2 = y \cdot x_1$, а $\frac{x_1}{y}$ – вы-

ражение местной валюты в иностранной. Сравним между собой денежную массу, приведенную к местной валюте, до и после увеличения курса для обоих вариантов. Пусть X вся денежная масса в местной валюте для первого варианта; для второго варианта половина хранится в местной, другая половина – в иностранной. Тогда в начальный момент времени $X = \frac{0,5 \cdot X}{y} + 0,5 \cdot X$. Пусть в следующий момент времени курс иностранной валюты вырос и составляет теперь $x_2 = (y + k) \cdot x_1$. Тогда приведем денежную массу для второго варианта к местной валюте:

$$\left(\frac{0,5 \cdot X}{y}\right) \cdot (y + k) + 0,5 \cdot X = \left(\frac{0,5 \cdot X}{y}\right) \cdot y + 0,5 \cdot X + \left(\frac{0,5 \cdot X}{y}\right) \cdot k = X + \left(\frac{0,5 \cdot X}{y}\right) \cdot k.$$

Согласно сделанным предположениям, величина $\left(\frac{0,5 \cdot X}{y}\right) \cdot k > 0$. Можно сделать вывод о том, что диверсификация денежной массы в разных валютах в данном случае была более выгодной. В условиях меняющихся курсов валют такой подход хранения денежной массы позволяет государству быть более гибким и сосредоточить больше инструментов регулирования экономического состояния.

Все сделанные выводы и приведенные факты показывают актуальность задач, стоящих перед металлоторговыми компаниями, в масштабах экономики страны. Успешность фирм данного сектора достигается за счет принятия верных бизнес-решений. В свою очередь, для достижения этих целей необходим максимально точный прогноз будущей конъюнктуры рынка или будущих цен на металлы, в частности никеля.

Основные тенденции в прогнозировании

На практике для прогнозирования используют различные модели, которые в свою очередь имеют разную точность. При этом выбор модели зависит от конкретной цели исследователя. Логичны методы прогнозирования цен, построенные на зависимости от соотношения спроса и предложения на рассматриваемый товар. Однако некоторые авторы не останавливаются на выборе и разработке одной, а строят несколько моделей, сравнивают между собой их качество и выявляют лучшую для поставленной задачи [Турунцева и др., 2016] либо приходят к выводу, что с помощью комбинирования прогнозных моделей можно улучшить качество прогноза [Берзлев, 2012].

При этом, если говорить о выборе конкретной модели, не встречающейся в классической эконометрической теории, для прогнозирования биржевых котировок, часто можно встретить работы, где авторы предлагают различные модификации нейронных сетей, подчеркивая перспективность данного аппарата [Солдатов, 2015]. Однако также встречаются и работы, в которых для прогнозирования используются классические эконометрические модели, такие как уравнение регрессии. Так, например, в работе [Денисенко и др., 2015] построены модели прогнозирования цены на медь. Авторы предлагают несколько факторов, от которых зависит цена на данный металл, и строят уравнение регрессии, которое описывает зависимость цены на медь от данных факторов.

Тем не менее остается открытым вопрос о достаточной точности прогнозирования, чтобы при принятии решения можно было полагаться на разработанную модель. В большинстве работ на первый взгляд получены качественные модели, но с полной уверенностью невозможно сказать, успешно она проявит себя на практике или нет.

Постановка задачи

Рассмотрим механизм осуществления экспортной сделки. Контрагенты заключают

между собой договор на поставку определенной партии товара. На практике в среднем с этого момента до момента поставки проходит 14 дней. При этом стоимость партии будет рассчитана исходя из цены на момент поставки. Следовательно, в момент заключения контракта компании известны лишь издержки (себестоимость товара на складе). При этом стоимость партии через 14 дней, а следовательно, выручка и прибыльность данной сделки неизвестны. Тогда перед экспортером металла встает выбор: заключать или нет данный контракт, так как сделка может оказаться как прибыльной, так и убыточной? Точный прогноз цены на 14 дней вперед станет инструментом в процессе принятия решения.

Таким образом, в каждый момент решение принимается на основе полученного прогноза. Если ожидается рост цены, то сделку целесообразно совершить, и наоборот. Отметим, что чем хуже качество прогноза, тем больше доля неверно принятых решений. Это ведет к увеличению вероятности получения убытка на любом отрезке времени.

Для решения данной практической задачи будет рассмотрено прогнозирование биржевых котировок цен на никель. Во-первых, никель входит в состав многих сплавов, соответственно, как составной элемент, влияет на их цену. Во-вторых, цены большинства основных видов цветных металлов имеют сильную корреляционную связь как между собой, так и с ценой на никель. Таким образом, для наглядности было решено рассматривать прогнозирование цен на никель.

Критерий качества прогнозирования

В первую очередь при построении моделей необходимо определить конечную точку в рамках поставленной задачи. Другими словами, насколько точным должен быть построенный прогноз, к какой погрешности необходимо стремиться.

В качестве одного из показателей точности моделей будем использовать среднюю ошибку прогнозирования:

$$\bar{A} = \frac{1}{N} \cdot \frac{\sum_{t=1}^N |\hat{y}_{t+T} - y_{t+T}|}{y_{t+T}} \cdot 100\%, \quad (1)$$

где \hat{y}_{t+T} – прогнозное значение в момент времени t на T шагов вперед; y_{t+T} – фактическое значение временного ряда в момент времени $t + T$; N – количество прогнозных значений [Оценка точности...].

Помимо данного показателя будет рассмотрен такой показатель, как доля правильно спрогнозированных направлений движения цены для N прогнозных значений (P_N). Его максимальное значение – 100 %. Чем ближе P_N к максимальному значению, тем качественнее модель.

В теории принято считать, что при значении средней ошибки аппроксимации, не превышающей 10 %, модель можно считать качественной [Шихалёв, 2015, с. 32]. В нашем случае для определения необходимого уровня качества будем исходить из конкретной цели построения моделей – обеспечение успешной торговли. То есть точность прогноза должна быть достаточной, чтобы применение соответствующей модели обеспечивало прибыль компании на любом отрезке времени. Так как речь идет о мировой торговле, то необходим прогноз биржевых котировок цен на никель.

Очевидно, что прибыль за рассматриваемый период времени будет положительна в том случае, если на этом отрезке количество прибыльных сделок будет больше количества убыточных. Заключенная сделка принесет прибыль в случае верного прогнозирования будущего тренда металлотрейдером. Компания будет в прибыли на каком-то отрезке времени, если доля правильно спрогнозированных направлений движения цены будет больше 50 % ($P_N > 50\%$). Найдем критерии средней ошибки прогнозирования, при которых соблюдается данное условие.

Рассмотрим такую величину, как среднее абсолютное значение темпа прироста за период упреждения прогноза:

$$\bar{T} = \frac{\sum_{t=1}^N \left| \frac{y_{t+T} - y_t}{y_t} \right|}{N} \cdot 100\%, \quad (2)$$

где T – длина периода упреждения, с которой будет делаться прогноз.

Выдвинем гипотезу: если $\bar{A} \leq \bar{T}$, то доля правильно спрогнозированных направлений движения цены будет больше 50 %. При принятии решения о заключении сделки могут быть следующие исходы: 1) при росте цены направление предсказано верно, будет получена прибыль; 2) при росте цены направление предсказано неверно, имеет место недополученная прибыль; 3) при спаде цены направление спрогнозировано верно, убыточная сделка не будет совершена; 4) при спаде цены спрогнозирован рост, заключенная сделка принесет убыток металлотрейдеру. Таким образом, мы имеем два благоприятных исхода и два неблагоприятных.

Рассмотрим формулы (1) и (2) показателей качества прогнозных моделей без усреднения, то есть для одной операции прогнозирования:

$$A = \frac{|\hat{y}_t - y_t|}{y_t}, \quad (3)$$

$$T = \frac{|y_t - y_{t-i}|}{y_{t-i}}. \quad (4)$$

Для каждого из четырех исходов необходимо сравнить между собой A и T . Для этого приведем формулы (3) и (4) к наименьшему общему знаменателю:

$$A = \frac{|\hat{y}_t - y_t| \cdot y_{t-i}}{y_t \cdot y_{t-i}}, \quad (3.1)$$

$$T = \frac{|y_t - y_{t-i}| \cdot y_t}{y_t \cdot y_{t-i}}. \quad (4.1)$$

В первом исходе $y_t > y_{t-i}$; $\hat{y}_t > y_{t-i}$, при этом может быть как $\hat{y}_t < y_t$, так и $\hat{y}_t > y_t$. Тогда имеет место соотношение $y_{t-i} < \hat{y}_t < y_t$. Исходя из данных неравенств, однозначно поставить знак неравенства в формулах (3.1) и (4.1) не представляется возможным. Тогда для первого исхода, когда правильно спрогнозирован фактический рост цены и в этом случае сделка будет прибыльной, имеет место как $A < T$, $A = T$, так и $A > T$.

Второй исход характеризуется неравенством: $\hat{y}_t < y_{t-i} < y_t$. Очевидно, что $y_t > y_{t-i}$, то есть один из множителей, стоящих в числителе T , больше, чем в числителе дроби A , но при этом, с другой стороны, $|y_t - y_{t-i}| < |\hat{y}_t - y_t|$.

Аналогично первому исходу это говорит о том, что имеет место как $A < T$, $A = T$, так и $A > T$.

Третьему исходу соответствуют неравенства: $y_t < y_t < y_{t-i}$ или $\hat{y}_t < y_t < y_{t-i}$. Распишем множители числителей формул (3.1) и (4.1). Для первого неравенства $|\hat{y}_t - y_t| < |y_t - y_{t-i}|$ и $y_{t-i} > y_t$. Однозначно поставить знак неравенства между A и T нельзя. Для второго неравенства между $|\hat{y}_t - y_t|$ и $|y_t - y_{t-i}|$ однозначно поставить знак неравенства также нельзя, но при этом $y_{t-i} > y_t$. Тогда для третьего исхода может быть как $A < T$, $A = T$, так и $A > T$.

Наконец, четвертый исход характеризуется неравенством $y_t < y_{t-i} < \hat{y}_t$. Тогда $|\hat{y}_t - y_t| > |y_t - y_{t-i}|$ и $y_{t-i} > y_t$. Это говорит о том, что $A > T$.

Рассмотрим соотношения между A и T для каждого исхода (таблица 1).

Опираясь на таблицу 1 можно сказать, что если $A < T$, то вероятность правильно спрогнозировать направление движения цены составляет 2/3, при этом обратная вероятность данного события равна 1/3. Аналогичные результаты будут получены, если $A = T$. При $A > T$ вероятность правильно спрогнозировать направление движения цены равна обратной вероятности данного события и равна 1/2.

В таком случае, согласно закону больших чисел, у модели, средняя ошибка прогнозирования которой не больше среднего абсолютного темпа прироста за период упреждения ($\bar{A} \leq \bar{T}$) на каком-либо отрезке времени, доля правильно спрогнозированных направлений движения цены больше 50 % ($P > 50\%$). Как было сказано выше, только в этом случае металлотрейдер сможет извлекать прибыль. Тогда критерий качества прогнозирования имеет вид $\bar{A} \leq \bar{T}$.

Теперь рассмотрим случайно выбранный отрезок времени. Пусть это будет период с 22 января по 12 июня 2015 года. Если, как условились, период упреждения составляет 14 дней, то $T = 5,78\%$. Таким образом, было найдено значение, которое на приведенном от-

резке времени не должна превышать средняя ошибка прогнозирования модели. В этом случае ее можно было использовать на практике для извлечения положительной прибыли на приведенном периоде времени.

Применение статистических моделей прогнозирования

Рассмотрим, какие практические результаты в рамках поставленной задачи показывают широко распространенные статистические модели прогнозирования временных рядов. В их число входят линейная модель, модели, сводящиеся к линейным (полиномы 2-й, 3-й, 4-й и других степеней), гиперболическая, показательная и степенная модели. Модели с сезонной составляющей рассмотрены не будут, так как они уместны при анализе более долгосрочной динамики цен, а не 14 дней.

Аналитический вид моделей представлен в таблице 2, где a, a_0, a_1, a_j – коэффициенты моделей. Для линейной модели они определяются с помощью метода наименьших квадратов (далее – МНК), при котором находят такие коэффициенты, чтобы сумма квадратов отклонений расчетных значений по модели от фактических была минимальна [Афанасьев, 2001]. Остальные модели сначала приводятся к линейному виду путем замены переменных, а потом применяют к полученной функции МНК.

На рассматриваемом отрезке времени наиболее качественной из приведенных оказалась гиперболическая модель ($\bar{A} = 7,19\%$, $P_N = 48,54\%$). Средняя ошибка прогнозирования меньше – 5,78 %, это отражается в величине P_N . Несмотря на то что данные модели теоретически показывают неплохие результаты, с практической точки зрения в рамках конкретной задачи их точность не позволяет их применять.

Таблица 1

Соотношение между A и T в зависимости от исхода

Тренд предсказан верно		Тренд предсказан неверно	
Цена поднялась	Цена опустилась	Цена поднялась	Цена опустилась
$A < T, A > T$ или $A = T$	$A < T, A > T$ или $A = T$	$A < T, A > T$ или $A = T$	$A > T$

Примечание. Составлено автором.

Это является сигналом к разработке иных, более точных моделей.

Модель прогнозирования биржевых цен на никель путем комбинирования «медленной» и «быстрой» скользящих средних

Учитывая тот факт, что нас интересует прогнозирование биржевых котировок цен на никель, рассмотрим классический подход к анализу при биржевой торговле. Применение скользящих средних при построении индикаторов и сигналов к покупке или продаже актива описано во многих учебных пособиях, которыми пользуются трейдеры (см., например: [Швагер, 2001]).

В основе модели лежат «медленная» и «быстрая» скользящие средние. Скользящая средняя, длина активного участка (периода сглаживания) которой меньше, называется «быстрой». Соответственно, вторая – «медленная». Основной принцип заключается в том, что при восходящем тренде «быстрая» скользящая средняя выше «медленной», и наоборот. Согласно сформировавшейся тенденции, выявленной с помощью скользящих средних, ожидается рост цены или ее спад. Преимущество данного подхода в сравнении с выделением тренда заключается в том, что при изменении тенденции тренд меняется не сразу и он не выявляет более мелкие колебания. Предложенный подход не имеет приведенных недостатков.

Положение средних относительно друг друга при смене тренда изменяется не сразу, поэтому в модель были включены дополнительные сигналы. Пусть $s(t)$ – значение «быстрой» скользящей средней в момент времени t ; $l(t)$ – значение «медленной». Тогда обозначим $\Delta s(t) = s(t) - s(t-1)$ и $\Delta l(t) = l(t) - l(t-1)$. Данные величины характеризуют коэффициенты угла наклона соответствующих графиков. Так как при смене тренда разница между скользящими средними уменьшается, были разработаны следующие сигналы:

если $\begin{cases} s(t) > l(t); \\ \Delta s(t) > \Delta l(t); \end{cases}$ то прогнозируем рост цены в будущем;

если $\begin{cases} s(t) < l(t); \\ \Delta s(t) < \Delta l(t); \end{cases}$ то ожидаем спад цены;

в противном случае ожидается, что цена существенно не изменится.

Если ожидается рост цены, то прогнозное значение будет получено путем сложения цены в настоящий момент времени со средним положительным изменением цены за последний месяц. В случае сигнала о падении цены из значения в настоящий момент времени вычитается среднее отрицательное изменение цены за последний месяц. В ином случае цена остается без изменений.

Данная модель более качественная в сравнении со стандартными статистическими. Ее результаты на рассматриваемом периоде следующие: ($\bar{A} = 5,71\%$, $P_N = 67,05\%$). Очевидно, что средняя ошибка для этой модели уже удовлетворяет разработанному

Таблица 2

Вид моделей

Название модели	Вид
Линейная модель	$y_t = a_0 + a_1 \cdot t$
Полином 2-й степени	$y_t = a_0 + \sum_{j=1}^2 a_j \cdot t^j$
Полином 3-й степени	$y_t = a_0 + \sum_{j=1}^3 a_j \cdot t^j$
Полином 4-й степени	$y_t = a_0 + \sum_{j=1}^4 a_j \cdot t^j$
Показательная модель	$y_t = a \cdot b^t$
Гиперболическая модель	$y_t = a + \frac{b}{t}$
Степенная модель	$y_t = a \cdot t^b$

Примечание. Составлено автором.

критерию. Более того, $P_N > 50\%$, что в очередной раз подтверждает правильность разработанного критерия. Таким образом, уже можно говорить о том, что найдена модель, которая могла бы быть успешно применена на рассматриваемом периоде.

Модель прогнозирования цены никеля на товарном рынке с учетом цены фьючерсного контракта на его поставку

На следующем шаге улучшения качества прогнозирования цен на никель было решено использовать не только технический анализ, но и фундаментальный. В основе предлагаемой модели лежит предположение о том, что основным инструментом определения будущего значения является фьючерсная цена актива. Формирование фьючерсной цены происходит под влиянием инвесторов. В зависимости от их намерений инвестировать в данный товар или нет и определяется изменение цены вследствие изменения спроса на него.

Фьючерсом называют договор на покупку или продажу актива в определенном количестве в конкретный момент времени в будущем. Разделяют справедливую и фактическую цену фьючерса [Курс лекций ...]. Пусть покупателю нужен товар в определенном количестве в конкретный период времени в будущем. Тогда он будет выбирать из трех вариантов: приобрести товар сейчас и хранить его до необходимого момента времени, при этом он понесет затраты на хранение и альтернативные издержки в виде банковской процентной ставки по депозиту и т. д.; купить фьючерс на данный товар сейчас и получить его в будущем в необходимый момент времени; приобрести товар в нужный момент в будущем, при этом неизвестно, какая на него сформируется цена. Справедливая цена фьючерса устанавливается на уровне, при котором затраты покупателя в первом и втором вариантах будут равны. Фактическая же цена – та, которая фактически установилась на рынке и соответствует затратам третьего варианта.

Тогда формула справедливой цены имеет вид

$$F_{0,t} = y_0 \cdot \left(1 + r \cdot \frac{t}{360}\right), \quad (5)$$

где $F_{0,t}$ – справедливая цена фьючерса на поставку тонны никеля в момент времени t ; y_0 – цена тонны никеля в данный момент времени; r – величина банковского процента по депозитам, а также цена хранения тонны никеля за год в долях от стоимости этого товара.

Аналогично рассмотрим формулу фактической цены фьючерса:

$$F_{0,t}^f = y_0 \cdot \left(1 + r \cdot \frac{t}{360} + k_{0,t}\right), \quad (6)$$

где $k_{0,t}$ – величина, на которую отличаются справедливая и фактическая цены, или ожидание инвесторов в данный момент относительно будущей цены никеля на физическом рынке.

Рассмотрим ожидание инвесторов относительно будущей цены актива на физическом рынке. Из формул (5) и (6) очевидно, что она отражает разницу между фактической и справедливой ценами на фьючерсный контракт. Также предполагается, что $k_{0,t}$ отражает фундаментальные изменения на рынке, так как это обобщенный показатель, представляющий ожидание инвесторов относительно будущей цены актива. Инвесторы всегда подробно изучают интересующие их рынки и строят прогнозы, как правило основываясь на фундаментальном анализе.

Тогда для прогноза цены никеля необходимо найти $k_{0,t}$. Для этого требуется оценить справедливую цену фьючерсного контракта с максимально возможной точностью, а именно оценить стоимость хранения товара и проценты по депозитным ставкам, подставив соответствующие значения в формулу (5). Зная фактическую и справедливую цены, найдем $k_{0,t}$:

$$\begin{aligned} F_{0,t}^f &= y_0 \left(1 + r \cdot \frac{t}{360}\right) + y_0 \cdot k_{0,t} \Rightarrow \\ \Rightarrow k_{0,t} &= \frac{F_{0,t}^f}{y_0} - \frac{F_{0,t}}{y_0} = \frac{F_{0,t}^f - F_{0,t}}{y_0}. \end{aligned}$$

Тогда прогноз в момент времени 0 на T шагов вперед по данной модели будет иметь вид

$$\hat{y}_{0+T} = y_0 \cdot (1 + k_{0,t}). \quad (7)$$

На рассматриваемом отрезке времени результаты модели следующие: $\bar{A} = 5,57\%$, $P_N = 67,05\%$. Качество данной модели тоже удовлетворяет разработанному критерию, что позволяет применить ее на практике. Также интересен тот факт, что модели технического и фундаментального анализа в конкретном рассматриваемом примере показали приблизительно одинаковый результат.

Улучшение результатов прогнозных моделей путем усреднения их прогнозных значений

Анализ ряда ошибок прогнозирования описанных выше моделей показал, что каждая из них имеет отрезки времени, на которых показано высокое качество, и отрезки времени, где точность неудовлетворительная. Следовательно, теоретически в каждый момент прогнозирования можно выбрать модель, которая покажет наилучший результат из имеющихся.

С другой стороны, при расчете прогнозного значения могут участвовать сразу все модели, разработанные исследователем, а не какая-нибудь одна, выбранная по какому-либо критерию. При этом есть возможность сделать результаты имеющихся моделей точнее. Пусть имеется k моделей прогнозирования. Тогда если в качестве прогноза рассматривать среднее прогнозное значение всех k моделей, то есть вероятность, что результат будет точнее результата наилучшей из них, при этом он не будет хуже самой неточной из моделей.

Предположим для простоты, что $k = 2$. Рассмотрим ошибки для одной операции прогнозирования:

$$A_i = \frac{|\hat{y}_{i+T}^i - y_{i+T}|}{y_{i+T}} \cdot 100\%, \quad (8)$$

где $i = 1, 2$ обозначает модель прогнозирования, значение которой участвует в усреднении.

Также рассмотрим величину

$$A = \frac{|\bar{y}_{i+T} - y_{i+T}|}{y_{i+T}} \cdot 100\%, \quad (9)$$

где $\bar{y}_{i+T} = \frac{\sum_{i=1}^k \hat{y}_{i+T}^i}{k}$, то есть это среднее прогнозных значений.

Остатки после прогнозирования у двух моделей одновременно могут быть положительными, отрицательными или разного знака. Рассмотрим случай с одинаковыми знаками остатков для одной операции прогнозирования. Пусть они положительные и модель 1 точнее модели 2. Тогда $y_{i+T} < \hat{y}_{i+T}^1 < \bar{y}_{i+T} < \hat{y}_{i+T}^2$, а из формул (8) и (9) следует, что $A_1 < A < A_2$. Аналогично в случае того, что точнее окажется вторая модель, имеет место соотношение $A_2 < A < A_1$. То есть в этом случае видно, что при усреднении результаты однозначно не будут хуже самого неточного прогноза.

В случае с разными знаками остатков имеет место следующая ситуация. Пусть по абсолютной величине остатки приблизительно равны. Тогда верно соотношение $\hat{y}_{i+T}^1 < \hat{y}_{i+T} < \hat{y}_{i+T}^2$, при этом $|\hat{y}_{i+T}^1 - y_{i+T}| \approx |\hat{y}_{i+T}^2 - y_{i+T}|$, значит, $y_{i+T} \approx \bar{y}_{i+T}$. Тогда $A < A_1 \approx A_2$. Таким образом, здесь видно, что результаты моделей однозначно стали точнее.

Теперь рассмотрим случай, когда остатки от прогнозирования двумя моделями имеют разные знаки, а также разные по абсолютной величине.

В таком случае может быть два варианта: 1) $|\hat{y}_{i+14}^1 - y_{i+14}| < |\bar{y}_{i+14} - y_{i+14}| < |\hat{y}_{i+14}^2 - y_{i+14}|$ или $|\hat{y}_{i+14}^2 - y_{i+14}| < |\bar{y}_{i+14} - y_{i+14}| < |\hat{y}_{i+14}^1 - y_{i+14}|$, тогда $A_1 < A < A_2$ или $A_2 < A < A_1$ соответственно, то есть улучшены результаты только самого неточного из двух прогнозов;

2) $|\bar{y}_{i+14} - y_{i+14}| < |\hat{y}_{i+14}^1 - y_{i+14}| < |\hat{y}_{i+14}^2 - y_{i+14}|$ или $|\bar{y}_{i+14} - y_{i+14}| < |\hat{y}_{i+14}^2 - y_{i+14}| < |\hat{y}_{i+14}^1 - y_{i+14}|$, при этом $A < A_1 < A_2$ или $A < A_2 < A_1$ соответственно, то есть имеет место однозначное улучшение качества прогнозирования.

Выше была рассмотрена одна операция прогнозирования. И в этом случае видно, что однозначно качество прогноза, полученного при усреднении прогнозных значений двух моделей, будет не хуже самого неточного. Так же возможно улучшить результаты самой точной. При этом увеличение количества моделей, прогнозных значения которых усредняются, а также увеличение самого ряда прогнозных значений (больше одной операции прогнозирования) ведут к более точному прогнозу.

На пути к улучшению результатов прогнозирования с помощью усреднения прогноз-

ных значений был сделан еще один шаг. Если в описанном случае имело место простое усреднение, то следующим этапом станет взвешенное усреднение прогнозных значений моделей, то есть в данном случае прогнозное значение имеет вид

$$\hat{y}_{t+14}^{\text{вз}} = \frac{\sum_{i=1}^k w_i \cdot \hat{y}_{t+14}^i}{k}, \quad (10)$$

где w_i – вес, присваиваемый при усреднении i -й модели.

При этом они находятся таким образом, чтобы минимизировать среднюю ошибку прогнозирования:

$$w_i = \arg \min A = \arg \min \frac{\left| \frac{\sum_{i=1}^k w_i \cdot \hat{y}_{t+14}^i}{k} - y_{t+14} \right|}{y_{t+14}}. \quad (11)$$

На практике веса w_i можно найти в программе Microsoft Excel при помощи оператора «Поиск решений». Вероятность однозначного улучшения результатов прогнозирования

при взвешенном усреднении больше, чем при простом. Это объясняется тем, что веса оптимальны.

Заключение

Рассмотрим теперь результаты прогнозирования на 14 дней вперед биржевых котировок цен на никель всех моделей на выбранном изначально случайном отрезке времени (с 22 января по 12 июня 2015 г.).

Результаты моделей представлены на рисунке: на вертикальной оси расположена средняя ошибка прогнозирования, на горизонтальной – доля правильно спрогнозированных направлений движения цены. Полный список моделей пронумерован на рисунке, они также отмечены точками на координатной плоскости, их координаты соответствуют результатам.

Если координаты точности модели попали в выделенную область $ABCD$, то, следовательно, модель может быть применена на практике и на рассматриваемом периоде времени она принесла бы положительную прибыль. Ведь в этой области выполняются два

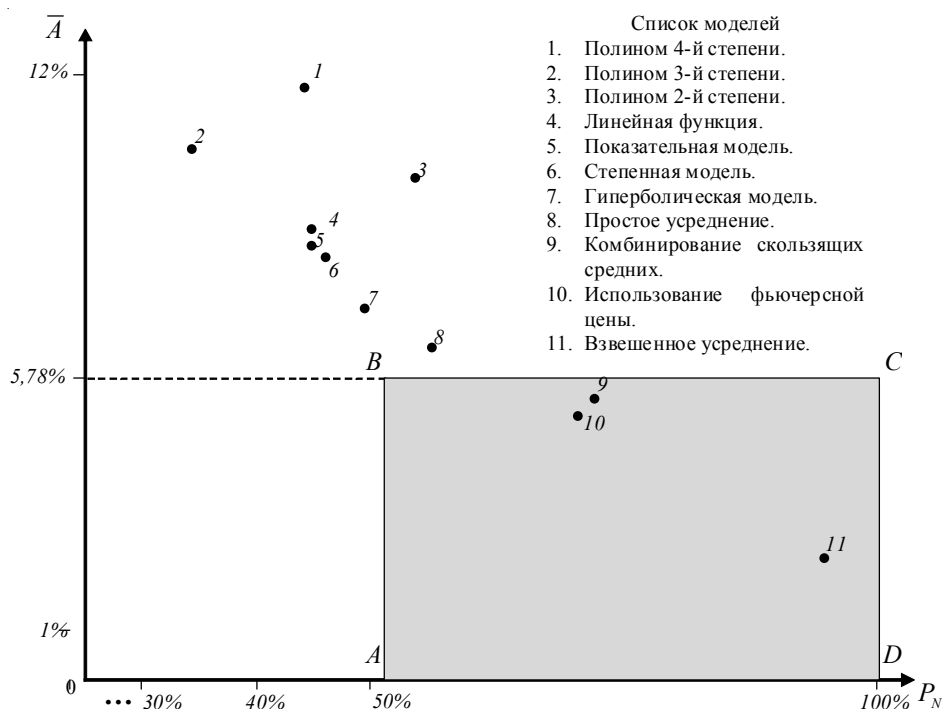


Рисунок. Результаты моделей

Примечание. Составлено автором.

условия: $\bar{A} \leq \bar{T} (\bar{A} \leq 5,78\%)$ и $P_N \geq 50\%$. Согласно рисунку, в эту область попали 3 модели: комбинирование скользящих средних, использование фьючерсной цены при прогнозировании и взвешенное усреднение прогнозных значений. Таким образом, можно утверждать, что они принесли бы прибыль на рассматриваемом отрезке времени, если металлотрейдер при принятии решения о заключении сделки руководствовался бы прогнозными значениями, полученными по какой-либо из этих трех моделей.

Также можно сказать о том, что разработанный критерий качества сработал. Как видно на рисунке, только для двух моделей из восьми, средние ошибки которых превышают \bar{T} , доля верно спрогнозированных направлений движения цены оказалась более 50%. При этом абсолютно для всех моделей, у которых $\bar{A} \leq \bar{T}$ мы видим, что $P_N \geq 50\%$. Таким образом, данный критерий не сработал для 2 моделей из 11 приведенных на рассматриваемом отрезке. Следовательно, на основе этого определенного примера видно, что данных критерий сработает с вероятностью 0,8, а это довольно неплохо.

Иными словами, если для модели $\bar{A} \leq \bar{T}$, то с вероятностью 0,8 она принесет прибыль на рассматриваемом отрезке. Это хороший результат, если учитывать тот факт, что изначально не было понятно, к какому качеству необходимо стремиться. Также интересен тот факт, что если посмотреть на рисунок, то визуально видно, что точки на координатной плоскости стремятся к тому, чтобы лежать на одной прямой. Это указывает нам на сильную корреляционную связь между \bar{A} и \bar{T} (коэффициент корреляции составляет $-0,91$).

Таким образом, были найдены модели, использование которых обеспечит прибылью металлоторговые компании в рамках поставленной задачи.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Агалакова, А. В. Современное состояние и особенности деятельности предприятий цветной металлургии / А. В. Агалакова, А. В. Алиева // Наука и образование сегодня. – 2017. – № 6 (17). – С. 47–50.
- Аналитический центр при правительстве Российской Федерации. Бюллетень о текущих тенденциях российской экономики. Динамика внешней торговли. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/17665.pdf> (дата обращения: 06.04.2020). – Загл. с экрана.
- Афанасьев, В. Н. Анализ временных рядов и прогнозирование : учебник / В. Н. Афанасьев, М. М. Юзбашев. – М. : Финансы и статистика, 2001. – 228 с.
- Берзлев, А. Ю. Разработка комбинированных моделей прогнозирования с кластеризацией временных рядов по методу ближайшего соседа / А. Ю. Берзлев // АСУ и приборы автоматики. – 2012. – № 161. – С. 51–59.
- Денисенко, М. А. Методы прогнозирования цен на медь / М. А. Денисенко, С. А. Кечин, М. С. Пикин // Вестник университета. – 2015. – № 12. – С. 168–172.
- Корнеева, Д. В. Задачи и инструменты конкурентной политики в Российской металлургии за прошедшие четверть века / Д. В. Корнеева // Вестник Московского университета. Серия 6, Экономика. – 2016. – № 3. – С. 35–67.
- Курс лекций «Фьючерсы и опционы». – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: http://polbu.ru/futures_lectures/ch18_all.html (дата обращения: 06.04.2020). – Загл. с экрана.
- Оценка точности и надежности прогнозов. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <http://www.econstep.ru/apsteps-533-1.html> (дата обращения: 06.04.2020). – Загл. с экрана.
- Солдатова, О. П. Исследование погрешности прогнозирования котировок акций при помощи модели нечеткой нейронной сети Ванга-Менделя / О. П. Солдатова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2015. – № 4 (36). – С. 17–26.
- Турунцева, М. Ю. Оценка качества краткосрочных прогнозов российских внешнеторговых показателей и мировых цен на некоторые виды сырья / М. Ю. Турунцева, Е. Астафьева // Научный вестник ИЭП им. Гайдара.ру. – 2016. – № 2. – Электрон. текстовые дан. – Режим доступа: <https://pps.ranepa.ru/Publication2/2016/688e95da-d5bf-e611-80d0-005056a06105/57bb448ea6bec.pdf> (дата обращения: 06.04.2020). – Загл. с экрана.
- Швагер, Д. Технический анализ. Полный курс / Д. Швагер. – М. : Альпина Паблишер, 2001. – 768 с.
- Шихалёв, А. М. Регрессионный анализ. Парная линейная регрессия / А. М. Шихалёв. – Казань : Казан. ун-т, 2015. – 46 с.

REFERENCES

- Agalakova A.V., Alieva A.V. Sovremennoe sostojanie i osobennosti dejatel'nosti predpriyatij cvetnoj metallurgii [Current State and Features of the Activity of Non-Ferrous Metallurgy Enterprises]. *Nauka i obrazovanie segodnja*, 2017, no. 6 (17), pp. 47-50.
- Analiticheskij centr pri pravitel'stve Rossijskoj Federacii. B'ulleten' o tekushhijh tendencijah rossijskoj jekonomiki. Dinamika vneshnej trgovli* [Analytical Center Under the Government of the Russian Federation. Bulletin of Current Trends in Russian Economy. The Dynamics of Foreign Trade]. URL: <https://ac.gov.ru/archive/files/publication/a/17665pdf> (accessed 6 April 2020).
- Afanas'ev V.N., Juzbashev M.M. *Analiz vremennyh rjadov i prognozirovanie: uchebnik* [Time Series Analysis and Forecasting: A Textbook]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2001. 228 p.
- Berzlev A.Ju. Razrabotka kombinirovannyh modelej prognozirovanija s klasterizaciej vremennyh rjadov po metodu blizhajshego soseda [Development of Combined Forecasting Models with Clustering of Time Series Using the Nearest Neighbor Method]. *ASU i pribory avtomatiki*, 2012, no. 161, pp. 51-59.
- Denisenko M.A., Kechin S.A., Pikin M.S. Metody prognozirovanija cen na med' [Copper Price Prediction Methods]. *Vestnik universiteta*, 2015, no. 12, pp. 168-172.
- Korneeva D.V. Zadachi i instrumenty konkurentnoj politiki v Rossijskoj metallurgii za proshedshie chetvert' veka [Tasks and Instruments of Competition Policy in Russian Metallurgy over the Past Quarter Century]. *Vestnik Moskovskogo universiteta. Serija 6. Jekonomika* [Moscow University Economics Bulletin], 2016, no. 3, pp. 35-67.
- Kurs lekcij «F'juchersy i opciony»* [Lecture Course "Futures and Options"]. URL: http://polbu.ru/futures_lectures/ch18_all.html (accessed 6 April 2020).
- Ocenka tochnosti i nadezhnosti prognozov* [Assessment of Accuracy and Reliability of Forecasts]. URL: <http://www.econstep.ru/apsteps-533-1.html> (accessed 6 April 2020).
- Soldatova O.P. Issledovanie pogreshnosti prognozirovanija kotirovok akcij pri pomoshhi modeli nechetkoj nejronnoj seti Vanga-Mendelja [Investigation of the Error in Predicting Stock Quotes Using the Wang-Mendel Model of a Fuzzy Neural Network]. *Izvestija vysshijh uchebnyh zavedenij. Povolzhskij region. Tehnicheskie nauki* [University Proceedings. Volga Region. Social Sciences. Technical Sciences Series], 2015, no. 4 (36), pp. 17-26.
- Turunceva M.Ju., Astaf'eva E. Ocenka kachestva kratkosrochnnyh prognozov rossijskijh vneshnetorgovyh pokazatelej i mirovyh cen na nekotorye vidy syr'ja [Assessing the Quality of Short-Term Forecasts of Russian Foreign Trade Indicators and World Prices for Certain Types of Raw Materials]. *Nauchnyj vestnik IJeP im. Gajdara.ru*, 2016, no. 2. URL: <https://pps.ranepa.ru/Publication2/2016/688e95da-d5bf-e611-80d0-005056a06105/57bb448ea6bec.pdf> (accessed 6 April 2020).
- Shvager D. *Tehnicheskij analiz. Polnyj kurs* [Technical Analysis. Full Course]. Moscow, Alpina Publisher, 2001. 768 p.
- Shihaljov A.M. *Regressionnyj analiz. Parnaja linejnaja regressija* [Regression Analysis. Pairwise Linear Regression]. Kazan, Kazanskiy universitet, 2015. 46 p.

Information About the Author

Karen G. Paytyan, Candidate for a Degree, Department of Applied Informatics and Mathematical Methods in Economics, Volgograd State University, Prosp. Universitetsky, 100, 400062 Volgograd, Russian Federation; Analyst, Analytical Reports Division, Analytics and Risk Management Department, EOS Group, EOS LLC, Tverskaya St, 12, Bld. 9, 125009 Moscow, Russian Federation, karenchik-90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4807-2535>

Информация об авторе

Карен Гаврушевич Пайтян, соискатель кафедры прикладной информатики и математических методов в экономике, Волгоградский государственный университет, просп. Университетский, 100, 400062 г. Волгоград, Российская Федерация; аналитик отдела аналитической отчетности, Департамент аналитики и риск-менеджмента EOS Group ООО «ЭОС», ул. Тверская, 12, стр. 9, 125009 г. Москва, Российская Федерация, karenchik-90@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4807-2535>