

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ЦЕНООБРАЗОВАНИЯ НА РЫНКЕ МЕТАЛЛОВ

**М. Г. Тиндова, И. М. Кублин**

*ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.», г. Саратов, Россия*

*Рецензент д-р экон. наук, профессор С. П. Спиридонов*

**Ключевые слова:** алюминий; временной ряд; корреляция; объемы производства; рынок; ценообразование.

**Аннотация:** Проведен анализ существующих методов оценки ценообразования, определены узловые достоинства и недостатки каждого подхода, а также представлены выводы относительно изученности проблемы формирования стоимости алюминия на рынке. Проанализированы тенденции развития алюминиевого рынка при современных экономических отношениях с помощью математических методов и направления развития, а также возможные решения. Представлен системный подход к анализу проблем ценообразования на алюминий в мире с учетом конъюнктуры рынка. Выявлены ключевые подходы к ценообразованию, которые в совокупности с результатами комплексного анализа дают возможность определить критерии установления цены и провести оценку возможности применения методов ценообразования на мировом рынке алюминия.

Рынок алюминия более сбалансированный по отношению к другим рынкам цветных металлов, так как увеличение объемов производства согласуется с динамикой спроса.

Отрасль по производству алюминия является значимой для промышленности и занимает ведущее место среди других отраслей металлургии, в том числе относящихся к цветной. Объемы производства алюминия непрерывно увеличиваются, так как спрос на данную продукцию в мире не снижается. К тому же потребление и производство алюминия на мировом рынке с каждым годом только растет. Мировой рост производства алюминия имел тенденцию развития и составлял 7 % в год. Отметим, что период с 2008 по 2017 гг. объем рынка алюминия в мире вырос более чем на 30 %.

---

Тиндова Мария Геннадьевна – кандидат экономических наук, доцент кафедры «Прикладная математика и системный анализ»; Кублин Игорь Михайлович – доктор экономических наук, профессор кафедры «Экономика и маркетинг», e-mail: ikublin@mail.ru, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный технический университет имени Гагарина Ю. А.», г. Саратов, Россия.

В структуре производства алюминия ведущее место занимает Китай, который в 2017 г. произвел 35,7 млн т, что составило приблизительно 58 % рынка. В России объемы производства алюминия составляют 3,6...3,8 млн т в год. В настоящее время РФ находится на втором месте по доле мирового рынка, а ее добыча и производство увеличиваются. В первом полугодии 2020 г. объем произведенного алюминия составил более 1 867 тыс. т, сохранив практически объемы производства на уровне первого полугодия 2019 г.

Самым крупным предприятием по производству алюминия является Братский алюминиевый завод, который производит 30 % российского алюминия и 4 % мирового. Основными потребителями алюминия традиционно являются промышленно развитые страны (лидер среди которых Китай), поскольку он используется в таких отраслях как авиационная, электротехническая, автомобильная, строительство, химическая и пищевая промышленность [1].

На мировом рынке динамика цен на алюминий находится во внимании производителей, дилеров и специалистов торгово-сырьевых бирж, а также связана с конъюнктурой мирового рынка.

Проведем анализ ценообразования алюминия на мировом уровне и построим модели, связанные с прогнозом стоимости алюминия. В качестве объекта исследования рассмотрим временной ряд ежедневной стоимости алюминия на Лондонской товарно-сырьевой бирже за период с 01.01.1990 по 01.02.2018 гг. (рис. 1) [2].

В мире существует несколько товарно-сырьевых бирж, торгующих металлами, которые расположены в регионах с крупнейшим спросом на них: в Китае – Шанхайская фьючерсная биржа (SHFE), Северной Америке – Чикагская товарная биржа (CME), однако крупнейшей в мире биржей по торговле металлами в целом и алюминием, в частности, является Лондонская биржа металлов (LME), которая начала продавать алюминий в 1978 г.

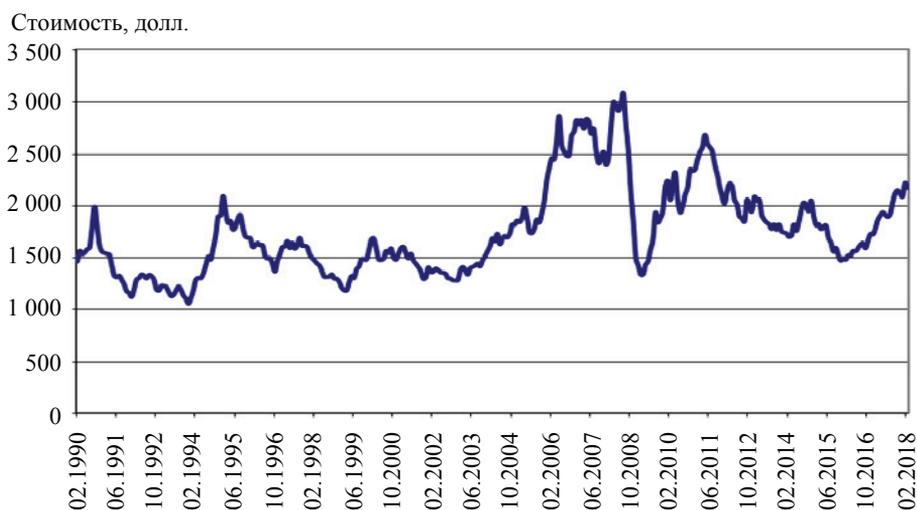


Рис. 1. Динамика стоимости алюминия с 01.01.1990 по 01.02.2018 гг.

Проведем корреляционный анализ по отношению цены алюминия к основным макроэкономическими показателями, с учетом курса доллара и ценой на нефть марки Brent. Отметим, что цена на алюминий снижается с ростом курса доллара ( $r_{\text{алюм, \$}} = -0,573$ ) и растет с увеличением цены на нефть ( $r_{\text{алюм, Brent}} = 0,423$ ). По результатам анализа динамики цен можно утверждать, что существует вовлеченность алюминия в глобальный рынок металлов, а также возможность использования цены в качестве доминирующего критерия проводимой оценки рынка. Из вышесказанного можно сделать вывод о целесообразности построения ряда моделей, отвечающих ценообразованию на алюминий.

Анализ приведенного рисунка демонстрирует, что в период с IV квартала 2005 по I квартал 2013 гг. цена алюминия завышена, что можно объяснить существенным превышением спроса над предложением. Данный временной период характеризуется резким скачком развития китайской, да и в целом азиатской экономик. Отметим, что в рассматриваемый временной отрезок времени увеличились производственные издержки, связанные с изменением цен на энергоресурсы и сырье. Обследование показало, что с 2014 г. происходят флуктуации, связанные со стоимостью алюминия на мировых площадках. Ведущие эксперты объясняют данный факт снижением объемов потребления в экономиках Китая, США и ЕС – главных потребителей алюминия.

Для проверки поведения рынка алюминия используем компонентный анализ временного ряда. Проверим высказанную гипотезу  $H_0$  и как наличие структурных изменений влияет на ценообразование. Из приведенной диаграммы видно, что изменения цены совершались два раза, а именно в IV квартале 2005 г. ( $t = 64$ ) и II квартале 2009 г. ( $t = 78$ ) (см. рис. 1).

Поэтому вводим две фиктивные переменные наклона:

$$z_1 = \begin{cases} 1, & 64 < t < 78 \\ 0 & \end{cases}; \quad (1)$$

$$z_2 = \begin{cases} 1, & t \geq 78 \\ 0 & \end{cases}, \quad (2)$$

которые в модель вводятся мультипликативно, и строим регрессию

$$y = 1445,98 + 1,81t + 12,7z_1 + 3,27z_2 + \varepsilon, \quad (3)$$

где  $\varepsilon$  – погрешность.

В приведенной системе коэффициент детерминации одинаков  $R^2 = 0,771$ , а все другие параметры существенны по критериям Фишера и Стьюдента. Важность коэффициентов структурных изменений ценообразования в формуле демонстрирует, что выдвинутую гипотезу  $H_0$  можно принять, так как действительно, при формировании цены на алюминий, наблюдались структурные изменения.

Приведенный факт дает возможность в качестве уравнения тренда применить кусочно-гладкую функцию. В результате на временном отрезке с I квартала 1990 по IV квартал 2005 гг. наиболее применимым уравнением является квадратичная регрессия, где

$$y_{ч1} = 1483,5 - 4,78t + 0,12t^2 \quad (4)$$

при  $R^2 = 0,636$ , а все параметры существенны по критериям Стьюдента и Фишера. Для интервала с I квартала 2006 по II квартал 2009 гг. – также квадратичная функция

$$y_{ч2} = -104\,364 + 3\,068,8t - 21,9t^2, \quad (5)$$

где  $R^2 = 0,631$  и параметры значимы. Для интервала с III квартала 2009 по II квартал 2018 гг. – показательная функция

$$y_{ч3} = 2\,798,08e^{-0,004t}, \quad (6)$$

где  $R^2 = 0,876$  и параметры значимы;  $e$  – основание натурального логарифма.

Таким образом, общее уравнение тренда в процессе ценообразования алюминия имеет вид:

$$y = \begin{cases} 1483,5 - 4,78t + 0,12t^2, & 0 \leq t \leq 64, \\ -104364 + 3068,8t - 21,9t^2, & 64 \leq t \leq 78, \\ 2798,08e^{-0,004t}, & t \geq 78. \end{cases} \quad (7)$$

Анализ автокорреляционной функции говорит об отсутствии сезонности в процессе ценообразования меди ( $f(\tau = 1) = 0,92$ ;  $f(\tau = 2) = 0,79$ ;  $f(\tau = 3) = 0,68$ ;  $f(\tau = 4) = 0,62$ ;  $f(\tau = 5) = 0,56$ ). Ошибка аппроксимации здесь составляет  $A = 11,03\%$ .

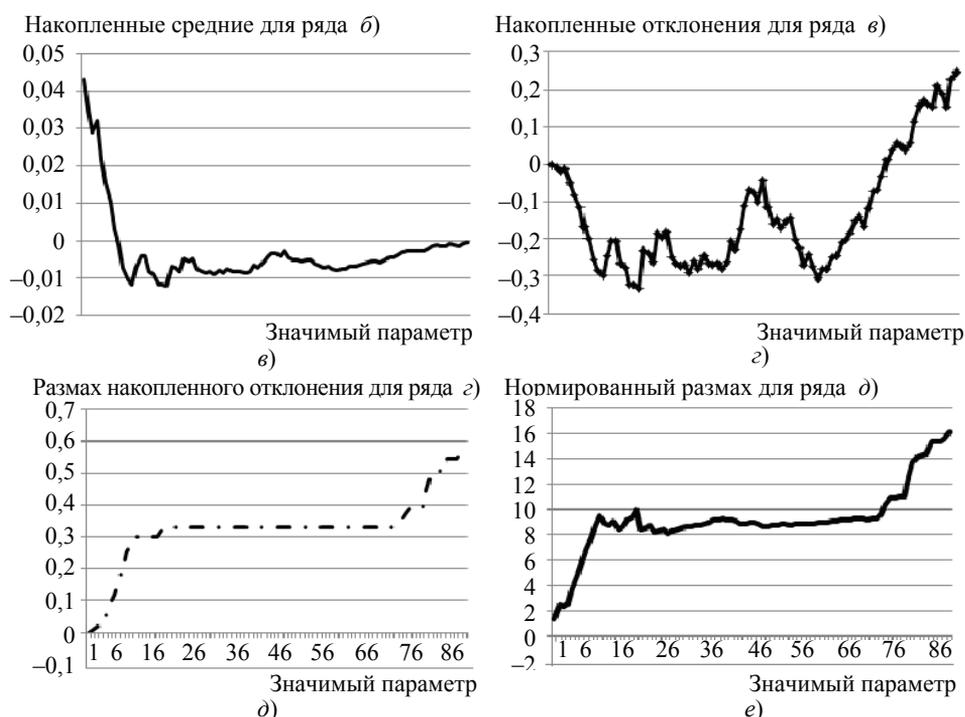
Анализ рынка показал, что для моделирования ценообразования на алюминий не требуется использование всей информационной базы данных, а только приблизительно за период в 10 лет [3]. Для выяснения поведения цены на алюминий используем закон распределения Парето. Возьмем для анализа в качестве объекта мониторинга цену алюминия на Лондонской товарно-сырьевой бирже во временной период с декабря 2010 по май 2018 гг., то есть будем рассматривать 90 значений (рис. 2, а).

На начальном этапе необходимо продемонстрировать, что рассматриваемый процесс отличается от нормального распределения (закон Парето). Для этого исследуем основные показатели закона распределения стоимости алюминия, а именно среднее значение стоимости, стандартное отклонение от базовой цены, асимметрию и эксцесс [4].



**Рис. 2. Диаграмма временных рядов (начало):**

а – исходные данные  $y_i$ ; б – ряд нормированных и центрированных приращений исходного ряда  $\Delta Y_i$



**Рис. 2. Окончание:**

в – накопленные средние для  $\Delta Y_i$  за  $n$  периодов; г – накопленные отклонения для  $\Delta Y_i$ ;  
 д – размах накопленного отклонения за  $n$  периодов;  
 е – нормированный размах накопленного отклонения за  $n$  периодов

Из представленных в табл. 1 данных видно, что на всех интервалах времени распределение существенно различается от нормального. Об этом свидетельствуют небольшие отрицательные асимметрии и значительные плотности в окрестности среднего значения, а также в области хвостов.

Таблица 1

**Основные характеристики частного распределения  
динамики стоимости алюминия**

Период времени, год	Среднее значение	Стандартное отклонение	Асимметрия	Экссесс
2011	2407,76	55,54	-0,664	-0,645
2012	2028,38	34,95	0,142	-0,922
2013	1856,06	30,73	1,248	0,644
2014	1870,93	37,14	0,031	-1,605
2015	1670,69	38,74	-0,169	-1,742
2016	1604,34	22,32	0,399	-0,572
2017	1980,31	34,73	0,135	-1,363
Январь – Май 2018	2211,95	34,91	-0,622	-0,193
Весь период	1938,77	29,74	0,608	-0,139

Следовательно, возможно использование хаотических систем, например применение фрактального моделирования.

Рассмотрим R/S-анализ временного ряда по месяцам. Для перехода к выстраиванию фрактальной модели в целях проведения R/S-анализа, целесообразно преобразовать исходный ряд. При этом следует провести детерминированные приращения цен

$$\Delta y_i = \ln\left(\frac{y_{i+1}}{y_i}\right), \quad (8)$$

которые возможно подвергать рассмотрению как прибыль от инвестирования в алюминий.

Далее необходимо провести нормирование и центрирование значений  $\Delta y_i$  по формуле

$$\Delta Y_i = \frac{\Delta y_i - \bar{\Delta}}{\sqrt{D}}, \quad (9)$$

где  $\bar{\Delta}$  – среднее значение для  $\Delta y_i$ ;  $D$  – дисперсия для  $\Delta y_i$ .

Расчеты показали, что среднее значение составило  $\bar{\Delta} = -0,0002$ ,  $D = 0,0013$ . Полученные данные представлены на рис. 2, б.

Для проведения непосредственно R/S-анализа необходимо определить средние накопленные значения

$$M_t = \frac{1}{t+1} \sum_{u=0}^t \Delta Y_u, \quad (10)$$

при  $t = 0, 1, \dots, n - 2$  (рис. 2, в), так как при нахождении конечных разностей, число уровней исследуемого ряда сокращается на 2 порядка, а также накопленное отклонение (рис. 2, г)

$$X_t = \sum_{u=0}^t (\Delta Y_u - M_u). \quad (11)$$

Определим размах накопленного отклонения  $R_t = \max(M_t) - \min(M_t)$ , который можно интерпретировать как накопленное отклонение от среднего уровня прибыли от вложения финансовых средств в алюминиевую отрасль. На рисунке 2, д, представлены полученные значения.

Определим стандартное отклонение

$$S_t = \sqrt{\frac{\sum_{u=0}^t (\Delta Y_u - M_u)^2}{t+1}} \quad (12)$$

и нормированный размах накопленного отклонения за  $n$  периодов

$$R/S_t = \frac{R_t}{S_t}. \quad (13)$$

Из рисунка 2, е, видно, что представляет собой накопленная прибыль от вложения инвестиций в алюминиевую отрасль.

Затем проведем сравнение полученной функции с функцией Херста

$$R/S = aN^H, \quad (14)$$

которая показывает возникшие отклонения исследуемого процесса от случайного блуждания ( $H = 0,5$ ). Отличие  $H$  от  $0,5$  демонстрирует отсутствие независимости наблюдений, то есть любое наблюдение несет память обо всех случившихся предшествующих событиях. Приведенная зависимость носит долговременный характер, и она теоретически может сохраняться постоянно, в отличие от кратковременной или «марковской» памяти [5].

Влияние, которое оказывает настоящее на будущее, можно выразить корреляционным соотношением

$$C = 2^{2H-1} - 1, \quad (15)$$

где  $C$  – мера корреляции;  $H$  – показатель Херста.

Если  $H = 0,5$ , то ряд случайных событий некоррелирован. При  $C = 0$  настоящее не оказывает влияние на перспективу. При  $0 < H < 0,5$  ряд будет называться эргодическим. Если в предшествующий период система демонстрировала рост, то в последующем временном периоде, скорее всего, будет наблюдаться снижение. Устойчивость подобного поведения может зависеть от того как  $H$  близко к  $0$ . Чем ближе  $H$  к  $0$ , тем ближе  $C$  к  $-0,5$ , то есть наблюдается отрицательная корреляция. Если  $H$  находится в пределах от  $0,5$  до  $1$ , то ряд будет являться трендоустойчивым или персистентным и в этом случае он сохранит тенденцию в перспективе. Чем  $H$  и  $C$  ближе к  $1$ , тем сильнее будет выражен тренд ряда [6].

Анализ рис. 2, *e*, позволяет предположить, что длиной среднего цикла является 24 месяца. С целью моделирования и анализа отношений между переменными можно построить алгоритм регрессии внутри среднего цикла  $H = 0,802 \pm 0,078$  и по всей выборке  $H = 0,388 \pm 0,03$ .

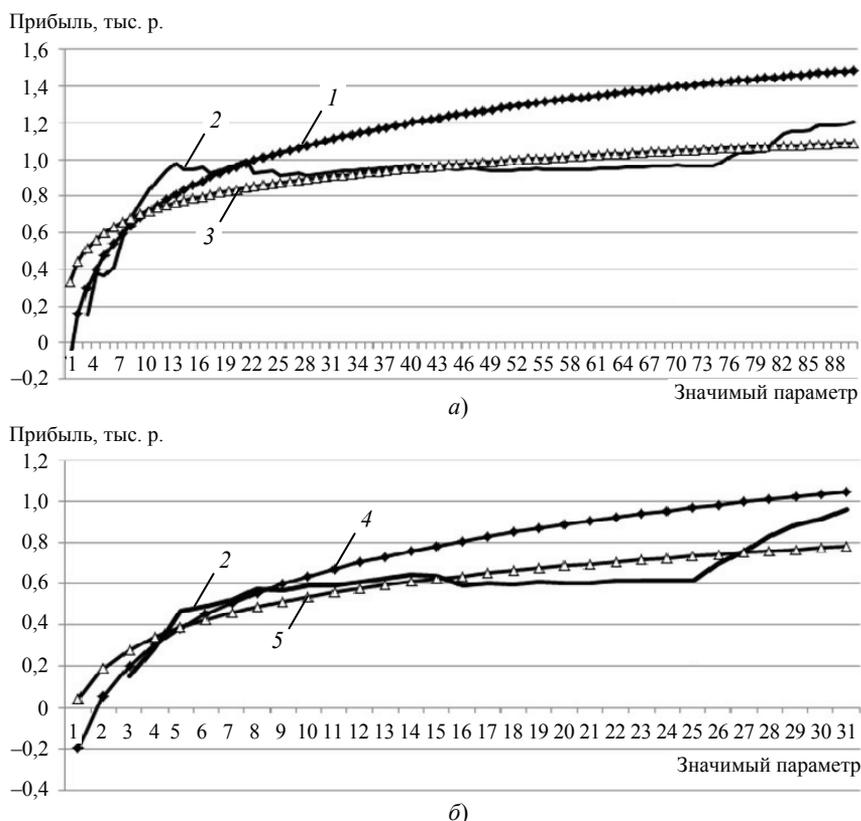
Следует отметить, что второй случай соответствует случайному блужданию (табл. 2), то есть наблюдения становятся независимыми, а эффект памяти рассеивается. В этой связи, средняя длина цикла, который определяет стоимость алюминия, соответствует диапазону в 24 месяца.

На рисунке 3, *a*, показаны результаты, которые демонстрируют, что процесс с долговременной памятью наблюдается в продолжение 24 месяцев. Далее точки на диаграмме графика демонстрируют случайные блуждания, а при  $H = 0,5$  диаграмма графика резко уклоняется от первоначально заданной траектории, соответствующей  $H = 0,8$ .

Таблица 2

### Описание регрессии по интервалам

Описание регрессии	Регрессия по интервалу $t$			
	24 месяца	90 месяцев	8 кварталов	31 квартал
Константа	-0,0837	0,3312	-0,1967	0,0417
Коэффициент при $\lg(t) H$	0,8029	0,3883	0,8359	0,4970
$R^2$	0,8210	0,6552	0,9145	0,7330
Стандартная ошибка	0,0781	0,0300	0,1040	0,0580



**Рис. 3. R/S-анализ месячных (а) и квартальных (б) прибылей от вложения в алюминий:**  
 $1 - -0,084 + 0,802 \log(t)$ ;  $2 - \log R/S$ ;  $3 - -0,331 + 0,388 \log(t)$ ;  
 $4 - -0,197 + 0,836 \log(t)$ ;  $5 - -0,042 + 0,497 \log(t)$

Проводя рассуждения по аналогии с использованием R/S-анализа IV квартала 2010 по II квартал 2018 гг., приходим к выводу, что процесс, связанный с долговременной памятью, может наблюдаться предположительно в продолжение восьми кварталов, то есть 24 месяцев (см. рис. 3, б).

Согласно данным табл. 2, внутри среднего цикла  $H = 0,835 \pm 0,1$ , по всей выборке  $H = 0,497 \pm 0,06$ , формируется примерно равная оценка, соответствующая случайному блужданию.

Снижение показателя Херста с увеличением длины рассматриваемого интервала демонстрирует независимость наблюдений при эффекте рассеивания памяти.

Из вышеизложенного следует, что применяемая модель оценки стоимости алюминия должна быть построена с учетом данных за последние 24 месяца или восемь кварталов, когда сохраняется оказываемое долгосрочное влияние рыночных факторов.

Используя показательный тренд, получаем прогноз стоимости алюминия на несколько периодов 2018 года [7]:

- по месяцам:
- август:  $y = y(t = 93) = 2\,430,74$  р.;
- сентябрь:  $y = y(t = 94) = 2\,470,57$  р.;
- октябрь:  $y = y(t = 95) = 2\,511,04$  р.; ошибка аппроксимации  $A = 2,04\%$ ;

- по кварталам:
- III квартал:  $y = y(t = 32) = 2\,421,79$  р.;
- IV квартал:  $y = y(t = 33) = 2\,541,23$  р.; ошибка аппроксимации  $A = 1,23\%$ , тогда как в модели, построенной по всем значениям,  $A = 11,03\%$ .

Для формирования эффективных решений с применением экономико-математических методов определены специфические особенности структуры ценообразования с учетом мировых цен на алюминий. Предложенный подход к определению цен на алюминий обеспечит принятие решения в сфере ценообразования и даст возможность нарастить объемы производства с учетом конъюнктуры данного рынка [8].

Исследования показали, что среднее значение длины цикла стоимости алюминия составила 24 месяца. Таким образом в течение данного временного периода система имеет связь с начальными данными и обладает долгосрочной памятью.

Отметим, что равная длина цикла определена при проведении анализа на двух разнообразных диапазонах приращения. К тому же показатель Херста оказался приблизительно равным в обоих эпизодах. Данный факт свидетельствует об однородности длины цикла. При этом утрата памяти системой случается в среднем каждые 24 месяца.

По результатам применения представленных вариантов можно сделать вывод:

- не имеет значения, какое число наблюдений учитывается и за какой временной период;
- фрактальное распределение аддитивно, и каждый интервал времени имеет в своем распоряжении достаточное число заключенных в него информационных данных.

#### *Список литературы*

1. Мировой рынок алюминия: тенденции развития, перспективы и ключевые проблемы / Д. А. Чернавина, Е. А. Чернавин, А. В. Фаллер, М. Ю. Зданович // Молодой ученый. – 2018. – № 17 (203). – С. 206 – 210.
2. Тиндова, М. Г. Системный подход к анализу ценообразования меди / М. Г. Тиндова // Экономические исследования и разработки. – 2018. – № 10. – С. 35 – 42.
3. Верещагина, Л. С. Регулирование процесса управления оплатой труда при производстве конкурентной продукции промышленным предприятием в рыночных условиях хозяйствования / Л. С. Верещагина, И. М. Кублин, Э. Е. Воронин // Вестник Саратовского государственного социально-экономического университета. – 2018. – № 3 (72). – С. 49 – 54.
4. Толстяков, Р. Р. Основные факторы формирования информационной экономики : дис. ... канд. экон. наук : 08.00.01 / Толстяков Роман Рашидович. – Тамбов, 2003. – 165 с.
5. Волошин, И. П. Построение математической модели конфликта угроз и комплексной системы защиты информации в информационно-коммуникационных сетях / И. П. Волошин // Информационная безопасность регионов. – 2017. – № 2 (27). – С. 5 – 8.
6. Тиндова, М. Г. Фрактальная модель оценки стоимости золота / М. Г. Тиндова // Управление риском. – 2017. – № 1 (81). – С. 29 – 32.
7. Бурмистрова, И. К. Рынок B2B – современные формы сотрудничества и развития / И. К. Бурмистрова, И. М. Кублин // Наука и общество. – 2018. – № 2 (31). – С. 9 – 13.

8. Толстяков, Р. Р. Системный подход к результативности стратегического управления предприятием / Р. Р. Толстяков, Р. Г. Гучетль // Социально-экономические явления и процессы. – 2014. – Т. 9, № 5. – С. 68 – 75.

#### References

1. Chernavina D.A., Chernavin Ye.A., Faller A.V., Zdanovich M.Yu. [The world aluminum market: development trends, prospects and key problems], *Molodoy uchenyy* [Young scientist], 2018, no. 17 (203), pp. 206-210. (In Russ.)
2. Tindova M.G. [A systematic approach to the analysis of copper pricing], *Ekonomicheskkiye issledovaniya i razrabotki* [Economic research and development], 2018, no. 10, pp. 35-42. (In Russ., abstract in Eng.)
3. Vereshchagina L.S., Kublin I.M., Voronin E.Ye. [Regulation of the wage management process in the production of competitive products by an industrial enterprise in market conditions of management], *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo sotsial'no-ekonomicheskogo universiteta* [Bulletin of the Saratov State Social Economic University], 2018, no. 3 (72), pp. 49-54. (In Russ., abstract in Eng.)
4. Tolstyakov R.R. *PhD Dissertation (Economics)*, Tambov, 2003, 165 p. (In Russ.)
5. Voloshin I.P. [Construction of a mathematical model of the conflict of threats and a complex system of information protection in information and communication networks], *Informatsionnaya bezopasnost' regionov* [Information security of regions], 2017, no. 2 (27), pp. 5-8. (In Russ., abstract in Eng.)
6. Tindova M.G. [Fractal model for assessing the value of gold], *Upravleniye riskom* [Risk management], 2017, no. 1 (81), pp. 29-32. (In Russ., abstract in Eng.)
7. Burmistrova I.K., Kublin I.M. [B2B market - modern forms of cooperation and development], *Nauka i obshchestvo* [Science and society], 2018, no. 2 (31), pp. 9-13. (In Russ.)
8. Tolstyakov R.R., Guchetl' R.G. [A systematic approach to the effectiveness of strategic management of an enterprise], *Sotsial'no-ekonomicheskkiye yavleniya i protsessy* [Socio-economic phenomena and processes], 2014, vol. 9, no. 5, pp. 68-75. (In Russ., abstract in Eng.)

---

### Some Aspects of Price Formation in the Metal Market

M. G. Tindova, I. M. Kublin

*Yuri Gagarin State Technical University of Saratov, Saratov, Russia*

**Keywords:** aluminum; time series; correlation; volume of production; market; pricing.

**Abstract:** The analysis of existing methods of pricing is carried out, the key advantages and disadvantages of each approach are identified, and conclusions are presented regarding the study of the problem of forming the cost of aluminum in the market. Trends in the development of the aluminum market in modern economic relations are analyzed using mathematical methods and directions of development, as well as possible solutions. A systematic approach to the analysis of the problems of pricing for aluminum in the world, taking into account the market conditions, is presented. The key approaches to pricing have been identified, which, together with the results of a comprehensive analysis, make it possible to determine the criteria for setting prices and assess the possibility of applying pricing methods in the global aluminum market.

---

© М. Г. Тиндова, И. М. Кублин, 2021