

ОТРАСЛЕВЫЕ И МЕЖОТРАСЛЕВЫЕ КОМПЛЕКСЫ

Для цитирования: Иванова Т. А., Трофимова В. Ш., Калитаев А. Н., Степанов Д. Г. Математическое моделирование ценового диапазона закупа лома черных металлов для металлургических предприятий РФ // Экономика региона. — 2018. — Т. 14, вып. 1. — С. 137-149

doi 10.17059/2018-1-11

УДК 669.054.8:338.5:51-77

Т. А. Иванова^{а)}, В. Ш. Трофимова^{а)}, А. Н. Калитаев^{а)}, Д. Г. Степанов^{б)}

^{а)} Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова (Магнитогорск, Российская Федерация; e-mail: jun275@mail.ru)

^{б)} АО «Профит» (Магнитогорск, Российская Федерация)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕНОВОГО ДИАПАЗОНА ЗАКУПА ЛОМА ЧЕРНЫХ МЕТАЛЛОВ ДЛЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПРЕДПРИЯТИЙ¹

При формировании ценового предложения для регионов при закупе лома черных металлов для металлургических заводов важно понимание границ наиболее вероятных значений цены и географии закупа. Для этих целей авторами разработана математическая «модель аукционных закупок», позволяющая оценить верхнюю границу региональных цен лома у ломозаготовителей с учетом ценовой конкурентной борьбы между ломопотребителями. В модели при формировании цены учитываются территориальные диспропорции спроса и предложения на лом в регионах, расходы на транспортировку лома от заготовителя до потребителя, уровень цен на лом в «экспортных окнах». Нижняя граница цены рассчитывается по экспортному паритету. Результаты расчетов представляют собой оценки диапазонов региональных цен и межрегиональных потоков лома. Данный подход в опубликованных работах российских и зарубежных ученых не рассматривался. Для выполнения расчетов было разработано программное обеспечение. Основными источниками данных послужили база данных ОАО «РЖД» о железнодорожных перевозках лома черных металлов между станциями РФ, справочники железнодорожных тарифов между железнодорожными станциями РФ, статистические данные по ценам на металлолом вида 3А в «экспортных окнах». В статье представлены формальная структура модели аукционных закупок, алгоритм ее реализации и результаты расчетов. Уровень цен, рассчитанный по модели аукционных закупок, можно использовать в менеджерской практике как потенциально самый высокий уровень цены, который может быть достигнут в условиях конкурентной борьбы потребителей лома в ситуации, когда невозможно вести переговоры. Предложенная методика позволяет металлургическому предприятию обосновывать и реализовать дифференцированный подход к формированию региональных цен на металлолом и определять структуру регионов закупа лома.

Ключевые слова: цена, верхняя граница цены, экспортный паритет, математическое моделирование, конкуренция, спрос, предложение, лом черных металлов, металлургические предприятия, региональная структура закупок

Введение

Одним из инструментов ценовой политики металлургических заводов при закупках лома черных металлов является дифференцирован-

ный подход к установлению цен на металлолом в различных регионах страны. При формировании ценового предложения для региона лицам, принимающим решения, приходится оперировать диапазоном цен, позволяющим получить представление об области допустимых значений цены, и точечным значением цены как окончательным результатом оценки.

¹ © Иванова Т. А., Трофимова В. Ш., Калитаев А. Н., Степанов Д. Г. Текст. 2018.

Точечные оценки стоимости лома не дают представления о границах диапазона цен как области принятия решений. В связи с этим представляет интерес оценка границ интервала, в котором может находиться цена. Рыночная цена лома формируется в результате переговоров между ломозаготовителями и ломопотребителями, поэтому ценовой диапазон можно рассматривать как область пересечения интересов продавца и покупателя. Нижняя граница будет соответствовать минимальной цене, по которой продавец согласен продать свой товар, а верхняя граница — максимальной цене, по которой покупатель согласен будет купить товар. Очевидно, что сделка состоится, если цена находится в пределах диапазона. Имея информацию о границах наиболее вероятной цены, продавец и покупатель получают возможность обоснования принимаемых решений, более точного ценового позиционирования, соответствующего их ожиданиям [1].

В свете вышеизложенного целями работы являются оценка ценового диапазона закупа лома черных металлов и формирование региональной структуры закупа лома для металлургических предприятий РФ.

В рамках поставленной цели были решены следующие задачи:

- выполнение теоретико-информационного анализа разработок в области математического обеспечения расчетов ценового диапазона закупа лома черных металлов;
- разработка методики формирования диапазона региональных цен на металлолом и региональной структуры закупа лома;
- разработка математической модели («модели аукционных закупок»), позволяющей оценить верхнюю границу региональных цен лома у ломозаготовителей с учетом ценовой конкурентной борьбы между ломопотребителями;
- разработка логической структуры входных данных для математического моделирования и выходных данных результатов моделирования;
- разработка программного обеспечения.

Анализ разработок в области математического обеспечения расчета диапазона цен закупа лома черных металлов

Среди наиболее часто применяемых на практике подходов оценки интервалов цен можно выделить: экономический, статистический (на основе уровня текущих цен) и технократический подходы.

При экономическом подходе нижняя граница цены оценивается продавцом как цена, покрывающая затраты и позволяющая получить приемлемую для данного сектора экономики прибыль, а верхняя граница должна соответствовать минимальной ожидаемой прибыли покупателя. Однако на рынке металлолома, являющемся рынком потребителя, данный подход не работает. Закупочные цены в регионе в пределах от минимума до максимума формируются исходя из закупочных цен металлургических предприятий и устанавливаются на усмотрение покупателя [1]. Кроме того, российский рынок металлолома является экспортоориентированным, поэтому ломозаготовители при установлении цен на лом ориентируются на закупочные цены лома экспортеров.

Статистический подход определяет границы цены как доверительный интервал математического ожидания цены при неизвестной дисперсии. Ширина интервала характеризует степень возможной близости выборочной оценки среднего значения цены лома в регионе к неизвестному значению средней генеральной совокупности и объясняется не конъюнктурой рынка, а случайной природой цен. Она будет зависеть от цен в регионе и объема выборки, то есть широкий интервал может быть получен и для регионов, в которых число закупающих лом потребителей невелико при невысокой дисперсии цены, и для регионов с большой дисперсией цен заводов при относительно большом объеме выборки [2].

В рамках подхода, основанного на уровне текущих цен, диапазон цен составляют значения выборки цен сопоставимых операций между нижним и верхним квартилем такого диапазона [3]. Значения нижнего и верхнего квартиля являются соответственно минимальным и максимальным значениями диапазона цен. В качестве исходных данных для расчетов используются коммерческие предложения организаций, при закупе металлолома — это региональные цены на лом определенного вида, выставляемые металлургическими предприятиями. Проблемы использования данного подхода связаны с недостаточностью и качеством информации о ценах, выставляемых в регионах металлургическими предприятиями конкурентами.

В рамках технократического подхода оценку интервала цены строят на основе математической модели процесса или объекта. Математические модели представляют схематичное отражение влияния различных факто-

ров на уровень цены. Они базируются на построении неких схем, фиксирующих определенные зависимости и учитывающих конкретные факторы, оказывающие как положительное, так и отрицательное влияние. В научных публикациях по моделированию процесса ценообразования встречаются разнообразные примеры: рассматривается модель ценовой конкуренции авиакомпаний, основанная на теории бифуркаций динамических систем [4], модель конкуренции нескольких провайдеров облачных услуг, привлекающих и обслуживающих запросы, генерируемые клиентами [5], модель ценообразования на рынке централизованного теплоснабжения, основанная на теории EVA-ценообразования и учитывающая уникальные характеристики услуг различных поставщиков и отдачу от инвестиций [6], строится динамическая модель ценообразования для крупномасштабной реальной дорожной сети с учетом распределения трафика [7], выстраивается стратегия ценообразования для предприятий вторичной металлургии на рынке электронного лома на олигополистическом рынке на основе моделей антагонистических игр [8] и др. В других работах [9, 10] решается задача моделирования региональных цен и межрегиональных поставок на рынке металлолома Соединенных Штатов. Вычисляются цены для двух сортов лома черных металлов (*low-residual scrap* — оборотный лом в производственной деятельности металлургических предприятий и *high-residual scrap* — амортизационный лом, источником которого являются вышедшие из употребления изделия из стали у населения) в каждом регионе США (пространственная структура цен). Распределение лома для конкретного потребителя осуществляется на основе логистической модели выбора, на основании цен поставщиков лома. При этом учитывается пространственное распределение спроса и предложения лома. Кроме того, рассчитываются межрегиональные потоки металлолома и чувствительность равновесных значений цен к изменениям на рынке металлолома (появление или уход крупных потребителей и пр.) Предложенная в работе модель имеет ряд допущений, которые могут не работать на рынках металлолома других стран: модель рынка — совершенная конкуренция, логистическая модель выбора для пространственного распределения лома, основанная на идее гетерогенности в поведении агентов на рынке [11–15], модель для определения соотношения потребления лома первого и второго видов, предположение о пропорциональном соответ-

ствии численности населения региона и объемов предложения лома второго вида в данном регионе и квадратичной формой зависимости объемов предложения от цены лома. Кроме того, слабыми местами модели являются необходимость подбора параметров (B , a) для каждого отдельного периода времени, а также то, что в модели не учитываются сезонные изменения объемов спроса и предложения металлолома. Вопросам пространственного равновесия ценообразования посвящено много исследований, начиная с модели Хотеллинга [16]. Вопросами существования равновесия в формальных пространственных моделях занимались Аспремонд Габзевич, Тиссен [17], Пальма и др. [11–15], Шеппард, Хайнинг, Пламмер [18] и др.

Таким образом, из рассмотренных подходов для построения интервальной оценки цены металлолома на российском рынке можно использовать подход на уровне текущих цен и технократический подход. При подходе, основанном на уровне текущих цен, диапазон цен будет отражать существующую ситуацию на рынке лома. Применение математических моделей позволяет получить альтернативную оценку ценового диапазона, учитывающую заложенные в механизм модели факторы. То есть применение математических моделей позволяет исключить влияние иррационального поведения игроков на рынке лома и получить обоснование высоких или низких цен на лом в регионах.

В работе рассматривается построение интервальной оценки цены на основе математической модели. При формировании ценового диапазона нижнюю границу цены металлолома предлагается оценивать по экспортному паритету для заготовителя, исходя из равенства цен на внутреннем и внешнем рынках. То есть цена по экспортному паритету рассматривается как минимальный уровень цен на лом, на который ориентируются ломозаготовители-продавцы. Верхняя граница должна отражать максимальный уровень цены, который может дать покупатель-ломопотребитель. На практике при формировании ценовых предложений ломопотребители ориентируются на сложившийся в регионе закупка лома уровень конкуренции. Если уровень спроса ниже или равен уровню предложения, то обычно цены устанавливаются на уровне нижней границы. Если спрос превышает предложение, то в результате конкурентной борьбы между ломопотребителями происходит рост цены. Уровень, до которого отдельный ломопотребитель мо-

жет наращивать цены, устанавливается индивидуально исходя из средней закупочной цены на лом для металлургического завода, стоимости доставки от изготовителя до завода, от условий предлагаемых ломозаготовителями в других регионах, от уровня потребностей металлургического завода. Авторами была разработана математическая «модель аукционных закупок», имитирующая процесс ценовой конкурентной борьбы металлургических предприятий за объемы лома в регионах с учетом описанных выше факторов. Данный подход в опубликованных работах российских и зарубежных ученых не рассматривался [19].

Описание методики формирования диапазона региональных цен на металлолом и региональной структуры закупа и математической «модели аукционных закупок»

Механизм формирования максимального уровня цен на лом для изготовителей состоит в имитации процесса конкурентной борьбы за объемы лома между потребителями и основывается на соотношении спроса и предложения на лом, отталкиваясь от цен экспортного паритета для изготовителей с учетом доставки до потребителей. В модели заложен механизм взаимного влияния цен соседей-ломозаготовителей. В ходе итерационных расчетов цены у ломозаготовителей повышаются с некоторым шагом в зависимости от выбранных параметров моделирования. Рост цены для изготовителя остановится, когда спрос на его запасы будет предъявлен только со стороны единственного потребителя. Критерием остановки итерационного процесса моделирования является достижение равновесия на рынке, то есть ситуация, когда для большей части ломозаготовителей рост цен прекратится. Ценовой диапазон для закупа лома по регионам РФ формируется как диапазон между нижним уровнем цены — цена, рассчитанная по экспортному паритету и верхним уровнем цены — цена по экспортному паритету плюс прибавка, рассчитанная по «модели аукционных закупок». В модели также формируется оптимальная с точки зрения индивидуальных интересов каждого ломопотребителя региональная структура закупа лома для при каждом уровне цен в виде перечня ломозаготовителей, предлагающих наиболее выгодные цены закупа лома с учетом доставки.

Описание математической «модели аукционных закупок» и процесса моделирования на ее основе. Исходные данные: n — число изготовителей; m — число потребителей лома; $V^{\text{зар}}$

— объем запасов лома у изготовителя, t ; $V^{\text{потр}}$ — объем потребностей ломопотребителя, t ; тарифы на перевозку между изготовителями и потребителями; тарифы на перевозку между изготовителями и изготовителями; $c_i^{\text{ЭП}}$ — начальные цены изготовителей, рассчитанные по определению экспортного паритета, рассчитываются по формуле:

$$c_i^{\text{ЭП}} = \max_{1 \leq k \leq 5} \{ CP_k - T_{i,k} \}, i = 1, \dots, n, \quad (1)$$

где $T_{i,k}$ — тарифы на перевозку между i -м изготовителем и k -м «экспортным окном»; i — номер ломозаготовителя; n — число ломозаготовителей; k — номер экспортного окна; CP_k — приведенная цена за лом вида ЗА для k -го порта — экспортного окна в рублях, рассчитывается по правилу:

$$CP_k = (PP_k - Tax - CC_k)R + PTS, k = 1, \dots, 5, \quad (2)$$

где PP_k — цена в порту отправки k (без фрахта); Tax — пошлина в бюджет РФ; CC_k — стоимость услуг по перевалке груза; R — курс доллара в руб.; PTS — надбавка за вид лома.

Шаг 1. Итерационный процесс расчета коэффициентов спроса на лом для каждого изготовителя.

1. Для каждого отдельного потребителя лома определяется оптимальный план закупа, учитывающий только его интересы, то есть решается задача минимизации стоимости закупа лома для данного потребителя. В расчетах цена лома за тонну для потребителя определяется как цена лома у изготовителя плюс тариф на перевозку от изготовителя до потребителя. Для первого шага используется цена лома у изготовителя, рассчитанная по определению «экспортного паритета» $c_i^{\text{ЭП}}$ и исходные объемы запасов изготовителей, для последующих шагов — скорректированная цена, рассчитанная на предыдущей итерации c_i (шаг 2) и скорректированные объемы запасов изготовителей (п. 4 шага 1).

2. Вычисляется суммарный спрос на лом $V_i^{\text{спроса}}$ каждого из n изготовителей со стороны m потребителей на основе оптимальных планов закупа найденных в п. 1 шага 1.

3. Находится коэффициент $k_i = \frac{V_i^{\text{спроса}}}{V_i^{\text{зар}}}$, где

$i = 1, \dots, n$, $V_i^{\text{спроса}}$ — суммарный спрос на лом для i -го изготовителя; $V_i^{\text{зар}}$ — объем запасов лома i -го изготовителя.

4. Проверка условия остановки итерационного процесса расчета коэффициентов. При равенстве суммарных объемов запасов и потребностей лома проверяется отсутствие ко-

эффициентов меньше 1, означающее полное удовлетворение запросов ломопотребителей. При выполнении условия переходим к шагу 2, в противном случае у заготовителей с коэффициентами больше 1 исходные объемы делятся на k_j , у остальных заготовителей исходные объемы сохраняются и переходим к п. 1 шага 1.

Шаг 2. Корректировка цен ломозаготовителей.

1. Проверка условия остановки итерационного процесса пересчета цен ломозаготовителей: равенство единице коэффициентов у всех заготовителей. При выполнении условия итерационный процесс останавливается и моделирование цен завершается. При невыполнении условия пересчитываются цены заготовителей, согласно пп. 2, 3 шага 2 и осуществляется переход к шагу 1.

2. Изменение цены Δ_i для i -го заготовителя рассчитывается в зависимости от соотношения спроса и предложения k для самого заготовителя и ближайших к нему n_i соседей заготовителей ($j = 1, \dots, n_i$), находящихся в радиусе R , по итерационной формуле (3).

$$\Delta_i^j = \begin{cases} \Delta_i^{j-1} + (-1)^{\frac{1 - \text{sign}(k_j - 1)}{2}} \cdot d_{ij}, & \text{если } (k_j - 1)\Delta_i^{j-1} < 0; \\ (-1)^{\frac{1 - \text{sign}(k_j - 1)}{2}} \cdot \max(d_{ij}; |\Delta_i^{j-1}|), & \text{если } (k_j - 1)\Delta_i^{j-1} \geq 0; \\ \Delta_i^{j-1}, & \text{если } k_j = 1; \end{cases} \quad j = 1, \dots, n_i, \quad (3)$$

$\Delta_i = \Delta_i^{n_i}$ — суммарное изменение цены лома для i -го заготовителя с учетом влияния спроса и предложения соседей заготовителей; $\Delta_i^0 = 0$; Δ_i^j — промежуточное значение для вычисления изменения цены Δ_i ; d_{ij} — изменение цены i -го заготовителя под влиянием соотношения спроса и предложения у заготовителя j , оценивается по правилу (4):

$$d_{ij} = \begin{cases} \text{delta} \cdot (k_j - 1) \cdot e^{-\frac{(\text{tar}_{ij})^2}{2(\frac{R}{2,5})^2}}, & \text{если } k_j > 1; \\ \text{delta} \cdot (\frac{1}{k_j} - 1) \cdot e^{-\frac{(\text{tar}_{ij})^2}{2(\frac{R}{2,5})^2}}, & \text{если } 0,1 < k_j < 1; \\ \text{delta} \cdot 5 \cdot e^{-\frac{(\text{tar}_{ij})^2}{2(\frac{R}{2,5})^2}}, & \text{если } k_j < 0,1; \end{cases} \quad j = 1, \dots, n_i, \quad (4)$$

где delta — шаг изменения цены, руб.; tar_{ij} — тарифное расстояние между заготовителем i и заготовителем j ; R — радиус (тарифное рассто-

яние), в пределах которого учитывается влияние соотношения спроса и предложения на соседних заготовителей, n_i — количество соседей заготовителей, находящихся в радиусе R i -го заготовителя.

3. Пересчет цены лома заготовителей с учетом изменения цены Δ_i , при условии, что цена не может опускаться ниже цены по «экспортному паритету» по правилу (5):

$$c_i = \begin{cases} c_i^{\text{стар.}} + \Delta_i, & \text{если } c_i^{\text{стар.}} + \Delta_i > c_i^{\text{ЭП}}; \\ c_i^{\text{ЭП}}, & \text{если } c_i^{\text{стар.}} + \Delta_i \leq c_i^{\text{ЭП}}, \end{cases} \quad (5)$$

где $c_i^{\text{стар.}}$ — цена c_i рассчитанная на предыдущей итерации.

Параметры модели delta и R настраиваются с учетом следующих рекомендаций:

— delta — прибавка к цене, приходящаяся на единичное изменение коэффициента: чем она меньше, тем точнее результат моделирования, но при этом увеличивается общее время работы алгоритма;

— R — радиус влияния цены ломозаготовителя на цены его соседей: больший радиус вовлекает в процесс изменения цен большее количество соседних заготовителей и может дестабилизировать процесс нахождения равновесной цены.

На практике при решении задач большой размерности с сотнями ломозаготовителей и десятками ломопотребителей возникла необходимость обеспечения сходимости алгоритма и снижения времени расчетов. С этой целью в модель вводится допущения, приводящие к появлению погрешности:

— на шаге 1 п. 4 при проверке условий остановки итерационного процесса расчета коэффициентов условие отсутствия коэффициентов меньше единицы заменяется на проверку количества заготовителей с коэффициентом, равным нулю, их должно быть меньше 3 % от числа заготовителей. Чем ближе к нулю этот параметр, тем точнее расчеты, но вместе с тем увеличивается время расчетов. Ослабление условия приводит к появлению в системе на каждом шаге итерации «задвоенных» объемов потребления, то есть объемов, которые учитываются в потреблении нескольких ломопотребителей;

— на шаге 2 п. 1 выполняются фиксированное число итераций и апостериорный выбор оптимального номера итерации на моменте стабилизации цен. То есть при проверке условия остановки итерационного процесса пересчета цен ломозаготовителей вместо равенства единице коэффициентов у всех заготовителей остановка осуществляется по достижению за-

данного числа итераций, и затем выбирается итерация, в соответствии с которой определяются цены на лом у всех ломозаготовителей. Критерий выбора итерации: количество ломозаготовителей с коэффициентами, равными единице, должно быть больше 75 % от всего количества заготовителей, и прирост количества станций с единичным коэффициентом за один шаг должен быть максимальным. Такой критерий выбора номера итерации позволяет выбрать момент остановки итерационного процесса определения цены, когда в процессе наблюдается стабилизация цен, то есть цены перестают существенно меняться, и обеспечивает достижение локального минимума функции общих издержек на закуп лома в целом по РФ. Для гарантии того, что найдется номер итерации, отвечающий заданным требованиям, в алгоритм заложена возможность снижения процента станций с коэффициентом единица ниже 75 %.

В условиях допущений общая погрешность расчета цены равна сумме погрешностей предшествующих итераций.

Для конкретизации математической постановки задачи уточним, какие данные являются исходными и какие факторы имеют значимое влияние на результаты моделирования.

Оценка реальной потребности металлургических предприятий в металлоломе и возможных объемов заготовки лома ломозаготовителями представляет отдельную, достаточно сложную задачу, выходящую за рамки данного исследования. Поэтому объемы запасов лома у заготовителей и объемы потребностей ломопотребителей определяются на основе фактических данных о закупках. В исследовании рассматриваются объемы лома, перевозимого железнодорожным транспортом, поскольку единственным перевозчиком грузов железнодорожным транспортом в РФ является ОАО «РЖД» и оно формирует полную базу данных об объемах отгрузки металлолома, пунктах отправления и получения и организациях — отправителях и получателях и т. д. Железнодорожным транспортом перевозится по оценке ИА «Металл-курьер» за 2015 г. порядка 77 % от общего объема собираемого лома РФ. Данные о перевозках лома водным и автотранспортом в расчетах не учитывались из-за, во-первых, отсутствия единой всероссийской базы данных по этим перевозкам, во-вторых, потому что тарифы на перевозку автомобильным и речным видом транспорта ниже тарифов на перевозку железнодорожным транспортом, поэтому данные объемы лома не

могут быть переориентированы на доставку железнодорожным транспортом. В качестве ломопотребителей и ломозаготовителей выступают железнодорожные станции. При такой постановке задачи учитывается конкуренция между металлургическими предприятиями — основными ломопотребителями, поскольку доставка лома всем предприятиям производится на одну ближайшую к предприятию железнодорожную станцию.

Количество ломозаготовителей (n) принимается равным числу станций отправления лома по базе ОАО «РЖД», количество ломопотребителей (m) — числу станций получения лома. По базе железнодорожных перевозок лома за выбранный период по каждой станции отправления и станции получения определяются агрегированные объемы лома, и принимаются за объемы запасов ($V^{\text{заг}}$) и потребностей соответственно ($V^{\text{потр}}$).

Задача решалась только для части потоков лома, которая поставляется заготовителями, не являющимися дочерними структурами металлургических предприятий (независимые поставщики), поскольку предполагается, что объемы лома, везущиеся дочерними предприятиями, не могут быть перераспределены.

Кроме объемов перевозимого лома, в качестве исходных данных использовались справочники железнодорожных тарифов 10–01 между железнодорожными станциями РФ, статистические данные по ценам на металлолом вида 3А в «экспортных окнах» (морские порты: Санкт-Петербург, Новороссийск, Ростов-на-Дону, Владивосток и пограничный переход на границе с Белоруссией), стоимость услуг в экспортном окне по перевалке металлолома, курс доллара, данные о дочерних предприятиях металлургических заводов, занимающихся ломозаготовкой, котировки закупочных цен на лом вида 3А для ряда отдельных металлургических предприятий в регионах РФ.

Динамика ломозаготовки имеет годовую цикличность: большие объемы в теплое время года, заготовка зимних запасов летом и осенью и малые объемы в зимние месяцы. Поэтому расчеты проводятся ежемесячно с учетом изменяющихся потребностей и запасов.

На основе результатов расчетов в разрезе железнодорожных станций рассчитывались средневзвешенные стоимостные показатели по регионам РФ и формировались отчеты для основных металлургических заводов.

Для реализации работы алгоритма и выполнения предобработки исходных данных и формирования отчетов было разработано про-

граммное обеспечение [20]. В качестве инструментальных средств разработки программного обеспечения использовался Microsoft Office Excel 2007 (язык программирования Visual Basic for Application). Программное обеспечение представляет собой надстройку MS Office Excel (файл формата *.xlam). Исходная информация хранится в СУБД Oracle Database 10g на сервере. Связь между программой и базой данных осуществляется с помощью технологии ADO (в роли провайдера используется Oracle

OLE DB Provider), предназначенной как для локальных баз данных, так и для файл-серверных и клиент-серверных баз данных. В процессе разработки ПО для работы с запросами SQL и программными единицами PL/SQL использовался Oracle SQL Developer — 4.1.1.

Результаты

Результаты моделирования цен на лом 3А на основе «модели аукционных закупок» проиллюстрируем на примере расчетов за

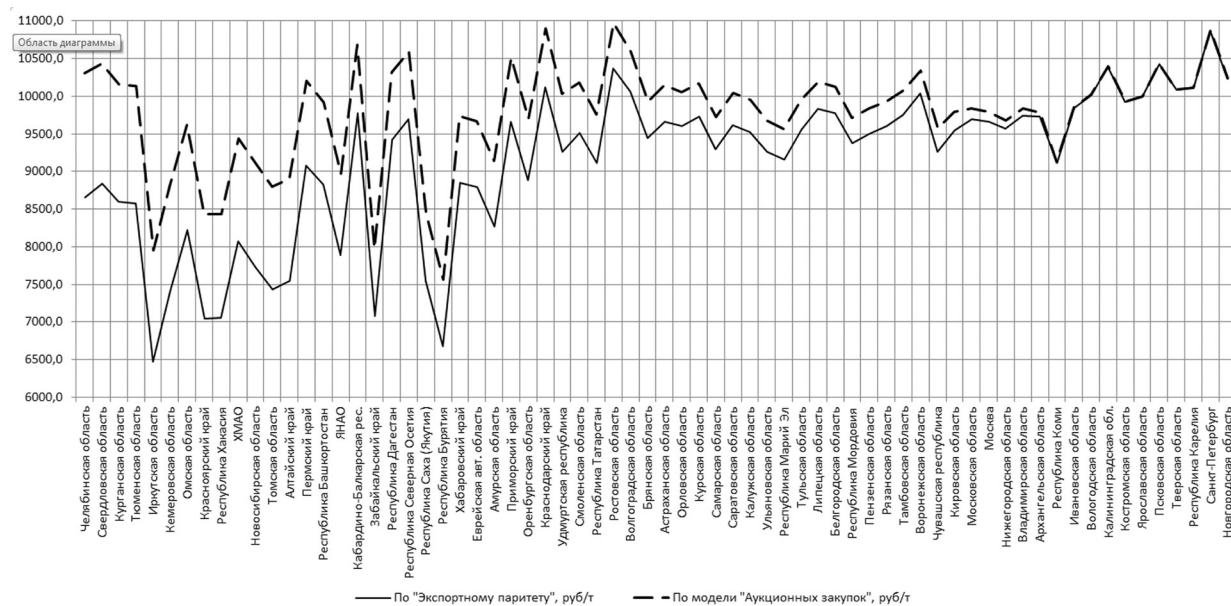


Рис. 1. Средневзвешенные цены без доставки на лом в регионах РФ по экспортному паритету, по «модели аукционных закупок», май 2015 г.



Рис. 2. Распределение регионов РФ по ширине интервала, между ценой, рассчитанной по экспортному паритету и по «модели аукционных закупок», руб/т, май 2015 г.

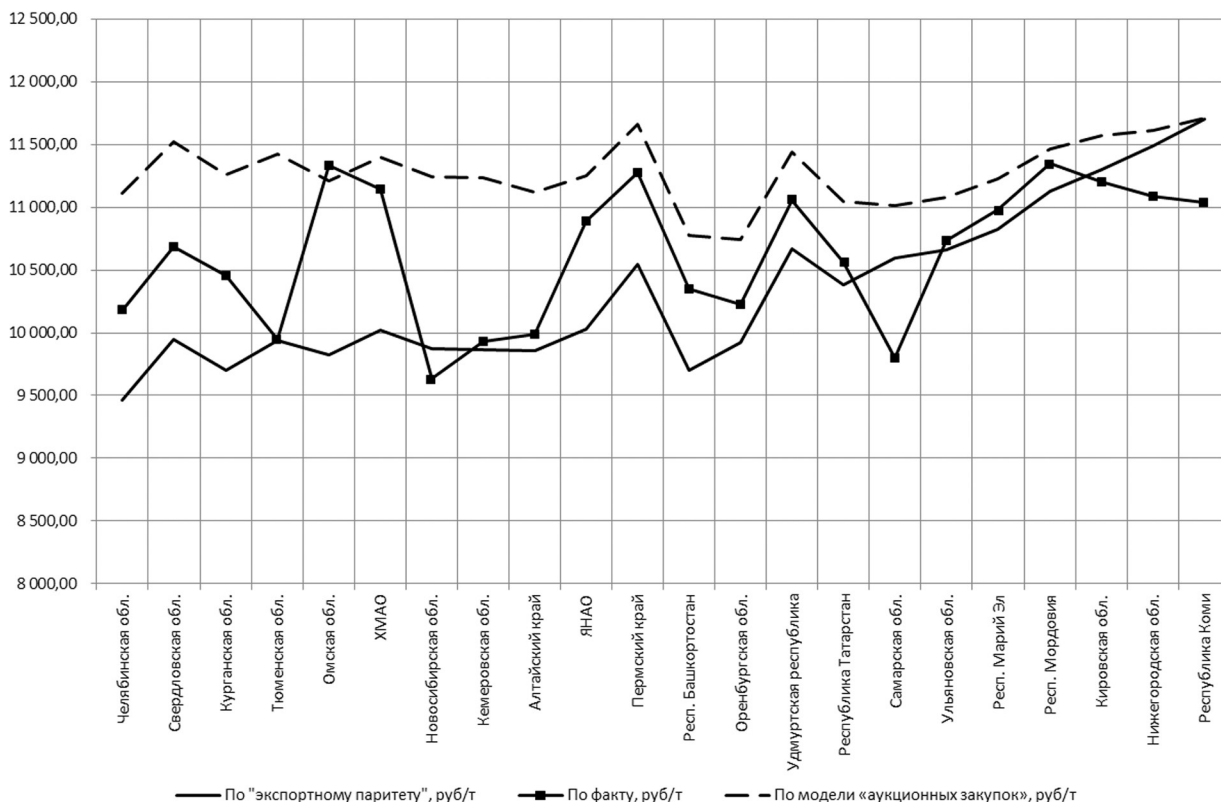


Рис. 3. Средневзвешенные цены с доставкой на лом в регионах по экспортному паритету, по факту и по «модели аукционных закупок» для ПАО «ММК», май 2015 г.

май 2015 г. в целом для РФ и для ПАО «ММК» в частности.

На рисунке 1 отражено распределение средневзвешенных закупочных цен по регионам РФ по расчетному месяцу: цены, вычисленные по экспортному паритету, и максимальный уровень цен лома по «модели аукционных закупок». Ширина интервала между ценой по

экспортному паритету и «моделью аукционных закупок» характеризует возможный уровень разогревания цен при столкновении интересов покупателей. Поэтому наибольшая ширина интервала наблюдается в Челябинской, Свердловской, Курганской и др. областях, в которых спрос на лом значительно превышает предложение (рис. 2).

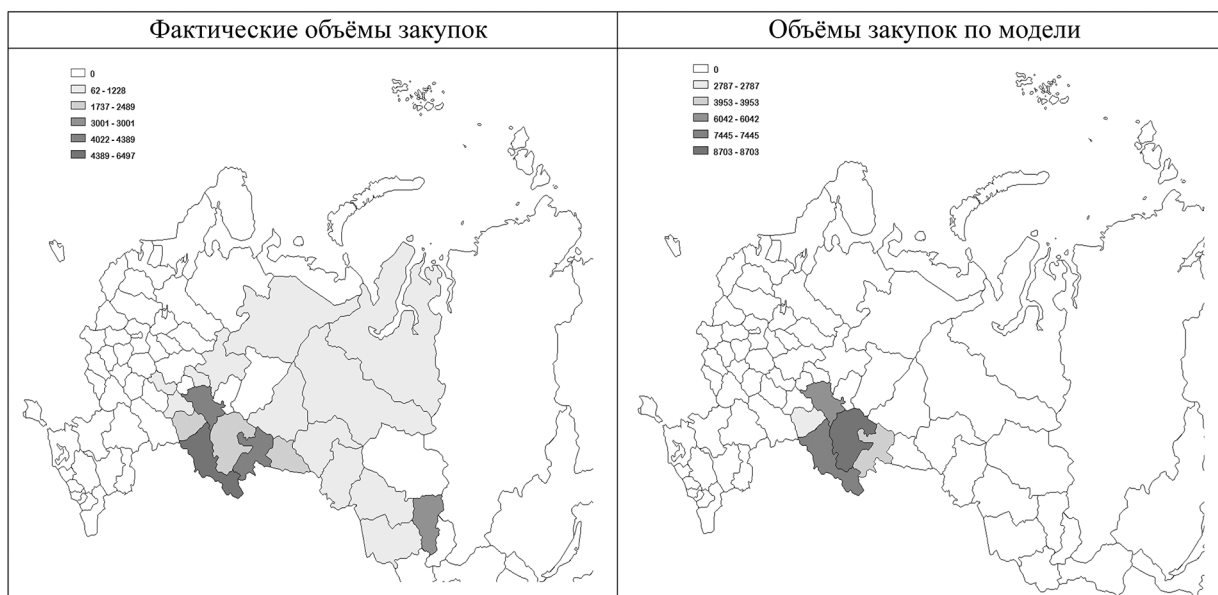


Рис. 4. Картограммы фактического и модельного планов закупа для ПАО «ММК» без учета объемов, поставляемых дочерними предприятиями, в тоннах, май 2015 г.

Таблица

Промежуточные и итоговые результаты работы алгоритма для Республики Башкортостан за май 2015 г.

Показатель	Номер итерации					
	1	50	100	150	200	243 (итог)
Размер прибавки к цене экспортного паритета, сформированной по модели, руб/т	36	756	960	1 032	1 052	1 106
Средневзвешенная цена, сформированная по модели, руб/т	8 826	9 582	9 786	9 858	9 878	9 932
Спрос на металлолом независимых поставщиков при сформированном по модели уровне цен, т	146 116	70 075	22 226	20 147	43 530	14 952
Превышение спроса над объемом предложения, раз	10,2	4,9	1,5	1,4	3,0	1,0

На рисунке 3 представлено распределение средневзвешенных цен на лом с учетом доставки с регионов РФ до ПАО «ММК» по экспортному паритету, по факту и по «модели аукционных закупок» за май 2015 г.

При сравнении фактических и модельных цен наибольший интерес представляют случаи выхода фактических цен за верхнюю границу интервала цены, рассчитываемой по «модели аукционных закупок», здесь можно говорить о том, что цена предприятия завышена относительно выявленного возможного повышения цены в условиях борьбы ломопотребителя за региональный рынок лома. По маю 2015 г. для ПАО «ММК» фактические цены с доставкой выходят за границы интервала только по Омской области.

Цены по «модели аукционных закупок» соответствуют определенной региональной структуре закупа лома. На рисунке 4 постро-

ены картограммы фактического и модельного планов закупа для ПАО «ММК» без учета объемов, поставляемых дочерними предприятиями. План закупа лома по «модели аукционных закупок» показывает региональную структуру, которая могла бы сложиться для ПАО «ММК», если бы металлургические предприятия придерживались стратегии жесткой ценовой борьбы, отторговывая у конкурентов рынки ломосбора. Как видно на рисунке 4, при уровне цен по модели ПАО «ММК» имеет максимально локализованную около предприятия структуру закупа металлолома, то есть в домашних регионах предприятие имеет максимальный резерв для повышения цены закупа по сравнению с конкурентами за счет экономии на доставке.

Для иллюстрации механизма работы итерационного процесса формирования верхней границы цены в таблице представлена ди-

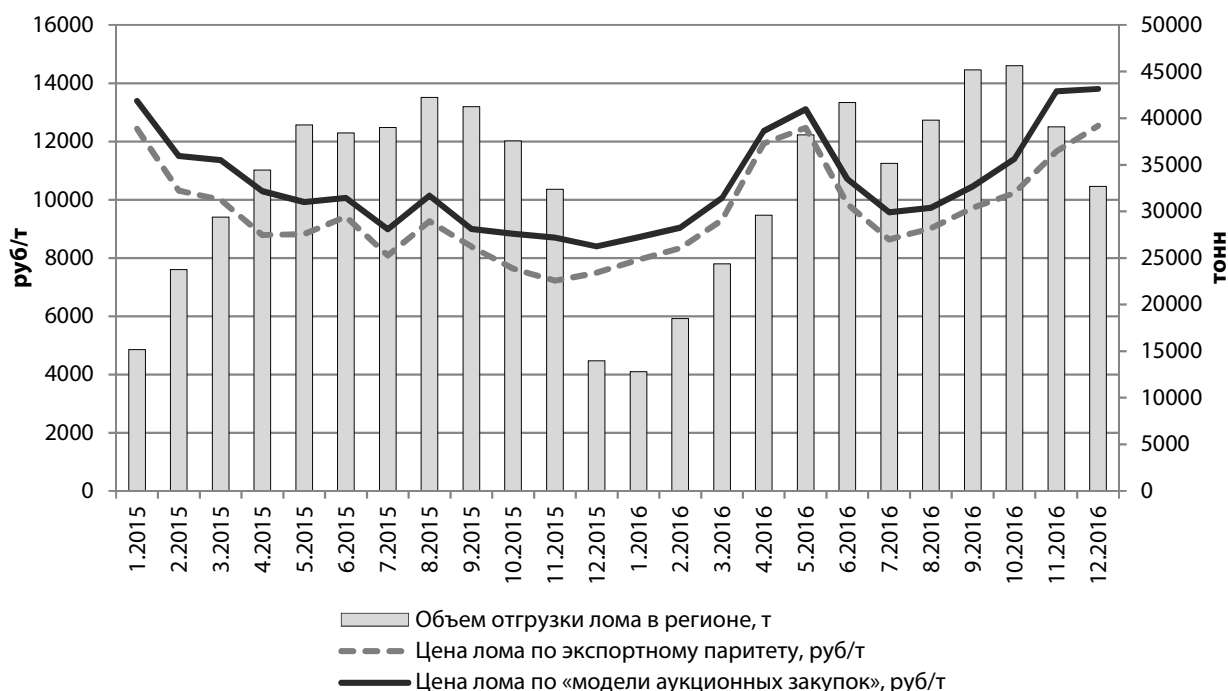


Рис. 5. Средневзвешенные цены без доставки на лом в Республике Башкортостан экспортному паритету, по «модели аукционных закупок», объем отгрузки лома

намика изменения средней цены и объема спроса на лом по Республике Башкортостан за май 2015 г. Можно отметить, что основной разогрев цены лома происходит в начале работы алгоритма, когда наблюдается значительное превышение спроса над предложением. Разная скорость и направления изменения цен в регионах приводит к перераспределению потоков потребителей. Многие заводы в силу своего географического расположения не имеют выбора, поэтому несмотря на повышение цен остаются в данном регионе, что лишний раз подстегивает цену лома. По итогам расчетов основные поставки лома осуществляются в адрес ПАО «ММК» (ст. Магнитогорск-Грузовой) — 67 %, ОАО «НСММЗ» (ст. Ревда) — 15 %.

На рисунке 5 представлена помесечная динамика средневзвешенных цен без доставки на лом по экспортному паритету, по «модели аукционных закупок» и объема отгрузки в Республике Башкортостан за 2015, 2106 гг.

В течение 2015, 2106 гг. уровень цен по экспортному паритету изменяется под воздействием внешних факторов: конъюнктура международного и внутреннего рынка металлопродукции, курс доллара и прочее. На ширину интервала между ценой лома по экспортному паритету и по «модели аукционных закупок» влияют изменение планов по закупке лома и уровень запасов лома металлургических заводов, возможностей региональных заготовителей, связанных, в частности, с сезонными факторами.

Выводы

По результатам исследования разработаны методика формирования диапазона региональных цен на металлолом и региональной структуры закупа лома математические,

а также математическая «модель аукционных закупок» для оценки верхней границы цены лома на основе принципа аукциона. На их основе были построены соответствующие алгоритмы, учитывающие цены на лом по экспортному паритету, плановый объем заготовки и потребления по станциям. Программная реализация алгоритмов, выполненная средствами VBA под MS Office Excel, осуществляет автоматизацию процессов: загрузка и подготовка исходных данных с учетом параметров расчетов, расчет ценового диапазона для закупа металлолома в регионах РФ, процесс вывода информации с результатами расчетов и загрузки ее в СУБД Oracle.

Предложенная математическая «модель аукционных закупок» позволяет реализовать дифференцированный подход к формированию диапазона региональных цен на металлолом за счет имитации конкурентной борьбы за рынки ломосбора металлургических предприятий с учетом факторов рыночной конъюнктуры. Цены по «модели аукционных закупок» можно использовать в менеджерской практике как цены потенциально самого высокого уровня, который может быть достигнут в условиях конкурентной борьбы потребителей лома в ситуации, когда невозможно вести переговоры.

Результаты исследования предназначены для поддержки принятия решений в рамках бизнес-процесса «Анализ эффективности закупа лома черных металлов и его оптимизации в плановом периоде» и позволяют повысить эффективность работы металлургических предприятий за счет улучшения информационного обеспечения должностных лиц, участвующих в выполнении работы по закупке лома черных металлов.

Благодарность

Работа была поддержана ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

Список источников

1. Грибовский С. В. Способы оценки диапазона рыночной стоимости как наиболее вероятной цены сделки // Известия СПбУЭФ. — 2012. — № 4. — С. 27–30.
2. Ахметов О. А., Вольнова В. А. Стандарты и методы оценки. Необходимые требования к их обоснованности // Имущественные отношения в РФ. — 2009. — № 1. — С. 49–58.
3. Валеева А. В. Практика налогового контроля за трансфертным ценообразованием в России // Российское предпринимательство. — № 12. — 2010. — С. 178–184.
4. Hu R., Xia H., Jiang Y. Complex dynamics for airlines price competition with differentiation strategy // Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology. — 2013. — Vol. № 13. — Pp. 11–16. — doi: 10.1016/S1570-6672(13)60091-4.
5. Debdeep P., Zhong W., Bose S. Energy efficient cloud service pricing: A two-timescale optimization approach // Journal of Network and Computer Applications. — 2016. — Vol. 64. — Pp. 98–112. — doi: 10.1016/j.jnca.2015.10.016.
6. Zhang J., Ge B., Xu H. An equivalent marginal cost-pricing model for the district heating market // Energy Policy. — 2013. — Vol. 63. — Pp. 1224–1232. — doi: 10.1016/j.enpol.2013.09.017.

7. *Chen X., Zhu Z., Zhang L.* Simulation-based optimization of mixed road pricing policies in a large real-world network // *Transportation Research Procedia*. — 2015. — Vol. 8. — Pp. 215–226. — doi: 10.1016/j.trpro.2015.06.056.
8. *Кружкова Г. В., Костюхин Ю. Ю.* Теория игр и стратегия ценообразования на вторичное сырье // *Цветные металлы*. — 2012. — № 8. — С. 6–9.
9. *Gruver G., Giarratani F.* Modeling geographic ferrous scrap markets: regional prices and interregional transactions in the United States // *Journal of Regional Science*. — 2005. — Vol. 45(2). — Pp. 313–341. — doi: 10.1111/j.0022-4146.2005.00373.x.
10. *Giarratani F., Gruver G., Richmond C.* The US regional ferrous scrap model trade // *Trade, Networks and Hierarchies*. — New York: Springer-Verlag, 2002. — Pp. 159–175. — doi: 10.1007/978-3-662-04786-6_9.
11. *Simon A., De Palma A.* The logit as a model of product differentiation // *Oxford Economic Papers*. — 1992. — Vol. 44. — Pp. 51–67. — doi: 10.1093/oxfordjournals.oep.a042036.
12. *Simon A., De Palma A.* *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*. — Cambridge, MA : MIT Press, 1992. — 448 p.
13. *De Palma A., Ginsburgh V., Papagiorgiou Y. Y., Thisse J.* The Principle of Minimum Differentiation Holds under Sufficient Heterogeneity // *Econometrica*. — 1985. — Vol. 53. — Pp. 767–781. — doi: 10.2307/1912653.
14. *De Palma A., Lindsey R., Hohenbalken B., West D. S.* Spatial Price and Variety Competition in an Urban Retail Market: A Nested Logit Analysis // *International Journal of Industrial Organization*. — 1994. — Vol. 12. — Pp. 331–357. — doi: 10.1016/0167-7187(94)90037-X.
15. *Sheppard E., Haining R., Plummer P.* Spatial Pricing in Interdependent Markets // *Journal of Regional Science*. — 1992. — Vol. 32. — Pp. 55–75. — doi: 10.1111/j.1467-9787.1992.tb00168.x.
16. *Hotelling H.* Stability in Competition // *Economic Journal*. — 1929. — Vol. 39. — Pp. 41–57. — doi: 10.2307/2224214.
17. *D'Aspremont C., Gabszewicz J., Thisse J.-F.* On Hotelling's "Stability in Competition" // *Econometrica*. — 1979. — Vol. 47. — Pp. 1145–1150. — doi: 10.2307/1911955.
18. *Sheppard E., Haining R., Plummer P.* Spatial Pricing in Interdependent Markets // *Journal of Regional Science*. — 2006. — Vol. 32. — Pp. 55–75. — doi: 10.1111/j.1467-9787.1992.tb00168.x.
19. *Иванова Т. А., Трофимова В. Ш.* Экономико-математическое моделирование рынка металлолома РФ. Задачи и методы их решения // *Приложение математики в экономических и технических исследованиях*. — 2015. — № 1(5). — С. 48–52.
20. *Иванова Т. А., Трофимова В. Ш., Калитаев А. Н.* Автоматизация процесса расчета оптимальных потоков и формирования ценового диапазона закупа лома черных металлов в РФ // *Актуальные проблемы современной науки, техники и образования*. — 2016. — № 1. — Т. 2. — С. 121–124.

Информация об авторах

Иванова Татьяна Александровна — кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и экономического анализа, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова; Scopus Author ID: 56763505200; ORCID: 0000-0002-5600-1841; Researcher ID: C-4546-2016 (Российская Федерация, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38; e-mail: jun275@mail.ru).

Трофимова Виолетта Шамильевна — кандидат экономических наук, доцент кафедры бухгалтерского учета и экономического анализа, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова; Scopus Author ID: 57189041714; ORCID: 0000-0002-4167-4007; Researcher ID: F-2212-2016 (Российская Федерация, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38, э201; e-mail: violat@mail.ru).

Калитаев Александр Николаевич — кандидат технических наук, доцент кафедры вычислительной техники и программирования, Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова; Scopus Author ID: 57193733797; ORCID: 0000-0002-5984-967X; Researcher ID: G-3075-2016 (Российская Федерация, 455000, г. Магнитогорск, ул. Ленина, 38; e-mail: alex_mgtu@mail.ru).

Степанов Дмитрий Геннадьевич — заместитель директора по поставкам металлолома, АО «Профит»; Scopus Author ID: 57193734795 (Российская Федерация, 455000, г. Магнитогорск, ул. Метизников, 3; e-mail: stepanov.dg@profit.ru).

For citation: Ivanova, T. A., Trofimova, V. Sh., Kalitaev, A. N. & Stepanov D. G. (2018). Mathematical Modelling of the Price Range in the Procurement of Ferrous Scrap by the Metallurgical Enterprises. *Ekonomika regiona [Economy of Region]*, 14(1), 137-149

T. A. Ivanova^{a)}, V. Sh. Trofimova^{a)}, A. N. Kalitaev^{a)}, D. G. Stepanov^{b)}

^{a)} Nosov Magnitogorsk State Technical University (Magnitogorsk, Russian Federation; e-mail: jun275@mail.ru)

^{b)} JSC Profit (Magnitogorsk, Russian Federation)

Mathematical Modelling of the Price Range in the Procurement of Ferrous Scrap by Metallurgical Enterprises

For metallurgical enterprises, it is important to understand the limits of the most probable values of prices and geographical area for procurement of ferrous scrap in the regions. In order to define the maximal scrap prices in the regions, the authors have developed a mathematical model of "auction purchases". This model equally assesses price competition between scrap

consumers. When setting the price, we consider the territorial imbalances between scrap supply and demand in the regions; costs for scrap transportation from supplier to consumer; price level for scrap in the “windows for exports”. We calculate the lowest price according to the “export parity”. The results of the calculations allow evaluating a range of regional prices and inter-regional flows of scrap. This approach is unknown in the published works of Russian and foreign researchers. For calculations, we have developed a special software. The following initial data were used: data on railroad transportation of ferrous scrap in the Russian Federation provided by JSC Russian Railways; handbooks of railway tariffs 10–01 between railway stations of the Russian Federation; statistical data on prices of 3A metal scrap in the “windows for exports”. The article presents the formal structure of the model of “auction procurement”, the algorithm of its implementation and the results of calculations. The price level calculated according to the model of “auction procurement” can be used in management practice as potentially highest level of price, which can be reached in the conditions of competition between consumers of scrap in a situation when the negotiations are impossible. The proposed mathematical model allows a metallurgical enterprise to prove and implement a differentiated approach to the formation of regional prices of scrap, and to define regions for scrap purchasing.

Keywords: prices, maximal price, export parity, mathematical modeling, competition, demand, supply, ferrous scrap, metallurgical enterprises, regional purchasing structure

Acknowledgments

The paper has been supported by the PJSC Magnitogorsk Iron and Steel Works.

References

- Gribovskiy, S. V. (2012). Sposoby otsenki diapazona rynochnoy stoimosti kak naibolee veroyatnoy tseny sdelki [Methods for assessing the range of market value as the most probable price of transaction]. *Izvestia Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo ekonomicheskogo universiteta [News of the St. Petersburg state economic]*, 4, 27–30. (In Russ.)
- Akhmetov, O. A. & Volnova, V. A. (2009). Standarty i metody otsenki. Neobkhodimyye trebovaniya k ikh obosnovannosti [Standards and methods of valuation (the necessary requirements for their validity)]. *Imushchestvennyye otnosheniya v RF [Property Relations in the Russian Federation]*, 1, 49–58. (In Russ.)
- Valeeva, A. V. (2010). Praktika nalogovogo kontrolya za transfertnym tsenoobrazovaniem v Rossii [The Practice of Tax Control over Transfer Pricing in Russia]. *Rossiyskoye predprinimatelstvo [The Russian journal of entrepreneurship]*, 12, 178–184. (In Russ.)
- Hu, R., Xia, H. & Jiang, Y. (2013). Complex dynamics for airlines price competition with differentiation strategy. *Journal of Transportation Systems Engineering and Information Technology*, 13, 11–16. doi: 10.1016/S1570-6672(13)60091-4.
- Debdeep, P., Zhong, W. & Bose, S. (2016). Energy efficient cloud service pricing: A two-timescale optimization approach. *Journal of Network and Computer Applications*, 64, 98–112. doi: 10.1016/j.jnca.2015.10.016.
- Zhang, J., Ge, B. & Xu, H. (2013). An equivalent marginal cost-pricing model for the district heating market. *Energy Policy*, 63, 1224–1232. doi: 10.1016/j.enpol.2013.09.017.
- Chen, X., Zhu, Z. & Zhang, L. (2015). Simulation-based optimization of mixed road pricing policies in a large real-world network. *Transportation Research Procedia*, 8, 215–226. doi: 10.1016/j.trpro.2015.06.056.
- Kruzhkova, G. V. & Kostyukhin, Yu. Yu. (2012). Teoriya igr i strategiya tsenoobrazovaniya na vtorichnoye syrye [Game theory and strategy of pricing for recycled materials]. *Tsvetnyye metally [Non-ferrous metals]*, 8, 6–9. (In Russ.)
- Gruver, G. & Giarratani, F. (2005). Modeling geographic ferrous scrap markets: regional prices and interregional transactions in the United States. *Journal of Regional Science*, 45(2), 313–341. doi: 10.1111/j.0022-4146.2005.00373.x.
- Giarratani, F., Gruver, G. & Richmond, C. (2002). The US regional ferrous scrap model trade. *Trade, Networks and Hierarchies*. New York: Springer-Verlag, 159–175. doi: 10.1007/978-3-662-04786-6_9.
- Simon, A. & De Palma, A. (1992). The logit as a model of product differentiation. *Oxford Economic Papers*, 44, 51–67. doi: 10.1093/oxfordjournals.oep.a042036.
- Simon, A. & De Palma, A. (1992). *Discrete Choice Theory of Product Differentiation*. Cambridge, MA: MIT Press, 448.
- De Palma, A., Ginsburgh, V., Papagiorgiou, Y. Y. & Thisse, J. (1985). The Principle of Minimum Differentiation Holds under Sufficient Heterogeneity. *Econometrica*, 53, 767–781. doi: 10.2307/1912653.
- De Palma, A., Lindsey, R., Hohenbalken, B. & West, D. S. (1994). Spatial Price and Variety Competition in an Urban Retail Market: A Nested Logit Analysis. *International Journal of Industrial Organization*, 12, 331–357. doi: 10.1016/0167-7187(94)90037-X.
- Sheppard, E., Haining, R. & Plummer, P. (1992). Spatial Pricing in Interdependent Markets. *Journal of Regional Science*, 32, 55–75. doi: 10.1111/j.1467-9787.1992.tb00168.x.
- Hotelling, H. (1929). Stability in Competition. *Economic Journal*, 39, 41–57. doi: 10.2307/2224214.
- D'Aspremont, C., Gabszewicz, J. & Thisse, J.-F. (1979). On Hotelling's “Stability in Competition”. *Econometrica*, 47, 1145–1150. doi: 10.2307/1911955.
- Sheppard, E., Haining, R. & Plummer, P. (2006). Spatial Pricing in Interdependent Markets. *Journal of Regional Science*, 32, 55–75. doi: 10.1111/j.1467-9787.1992.tb00168.x.
- Ivanova, T. A. & Trofimova, V. Sh. (2015). Ekonomiko-matematicheskoye modelirovanie rynka metalloloma RF. Zadachi i metody ikh resheniya [Mathematical modeling of the Russian market for ferrous scrap: problem and methods for

their solution]. *Prilozhenie matematiki v ekonomicheskikh i tekhnicheskikh issledovaniyakh [The application of mathematics to economic and technical studies]*, 1(5), 48–52. (In Russ.)

20. Ivanova, T. A., Trofimova, V. Sh. & Kalitaev, A. N. (2016). Avtomatizatsiya protsessa rascheta optimalnykh potokov i formirovaniya tsenovogo diapazona zakupa loma chernykh metallov v RF [Automating the process of calculating the optimal flow and the formation of the price range of procurement of ferrous scrap in the Russian Federation]. *Aktualnyye problemy sovremennoy nauki, tekhniki i obrazovaniya [Contemporary issues of modern science, technology and education]*, 2(1), 121–124. (In Russ.)

Authors

Tatyana Aleksandrovna Ivanova — PhD in Economics, Associate Professor, Department of Accounting and Economic Analysis, Nosov Magnitogorsk State Technical University; Scopus Author ID: 56763505200; ORCID: 0000-0002-5600-1841; Researcher ID: C-4546-2016 (38, Lenina St., Magnitogorsk, 455000, Russian Federation; e-mail: jun275@mail.ru).

Violetta Shamilyevna Trofimova — PhD in Economics, Associate Professor, Department of Accounting and Economic Analysis, Nosov Magnitogorsk State Technical University; Scopus Author ID: 57189041714; ORCID: 0000-0002-4167-4007; Researcher ID: F-2212-2016 (38, Lenina St., Magnitogorsk, 455000, Russian Federation; e-mail: violat@mail.ru).

Aleksandr Nikolaevich Kalitaev — PhD in Engineering, Associate Professor, Department of Computer Engineering and Programming, Nosov Magnitogorsk State Technical University; Scopus Author ID: 57193733797; ORCID: 0000-0002-5984-967X; Researcher ID: G-3075-2016 (38, Lenina St., Magnitogorsk, 455000, Russian Federation; e-mail: alex_mgtu@mail.ru).

Dmitry Gennadyevich Stepanov — Vice-Director for Scrap Iron Supply, JSC Profit; (3, Metiznikov St., Magnitogorsk, 455000, Russian Federation; e-mail: stepanov.dg@profit.ru).