

В. Г. Лисиенко, д-р техн. наук, профессор,  
Д. Б. Берг, д-р ф.-м. наук, профессор,  
В. В. Криворотов, д-р экон. наук, профессор,  
Ю. Н. Чесноков, канд. техн. наук, доцент,  
А. В. Лаптева, аспирант,<sup>1</sup>  
г. Екатеринбург, Россия

## ПОКАЗАТЕЛИ КОНКУРЕНТОСПОСОБНОСТИ ПРОДУКЦИИ РАЗЛИЧНЫХ СОЧЕТАНИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ПЕРЕДЕЛОВ С УЧЕТОМ ИХ УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА

Парниковые газы, изменяющие климат Земли, в частности диоксид углерода, являются побочными продуктами и выбрасываются в атмосферу в огромных количествах на предприятиях черной металлургии. Проблема эмиссии парниковых газов становится одной из важнейших экологических проблем, связанных с выплавкой стали на металлургических предприятиях и требующих неперемennого разрешения. В настоящей статье анализируется конкурентоспособность продукции предприятий черной металлургии с учетом экологических факторов производства, в связи с чем рассматривается так называемая парниковая или «углеродная» конкурентоспособность. При этом в фокус внимания попадают такие важнейшие показатели производства, как понесенные энергозатраты и себестоимость продукции.

В статье вводится комплекс новых показателей конкурентоспособности металлургических предприятий и описаны процессы, характеризующиеся минимальной эмиссией диоксида углерода. Приведена методика расчета этих показателей, учитывающих так называемый углеродный след, энергоемкость выплавки стали и себестоимость продукции. Определены значения указанных показателей при различных сочетаниях металлургических переделов, заканчивающихся выплавкой стали. При этом анализу подвергнуты различные цепочки технологий, применяемые для производства стали в таких переделах, как доменная печь и кислородный конвертер, доменная печь и электродуговая печь, процесс Cogex и электродуговая печь, агрегат Romelt и электродуговая печь, процесс Midrex и электродуговая печь, а также процесс Нул-III и электродуговая печь.

В заключение проведен анализ полученных результатов с учетом преимуществ и недостатков рассматриваемых технологических цепочек металлургических переделов, осуществлено ранжирование технологических процессов предприятий по предложенным показателям конкурентоспособности и сделаны общие выводы о приоритетности применяемых технологий выплавки стали.

**Ключевые слова:** конкурентоспособность продукции, себестоимость, углеродный след, энергозатраты, эмиссия, цепи переделов черной металлургии.

### Актуальность темы исследования

Последнее время существенно возрастает роль экологических факторов производства в формировании его конкурентоспособности. Экологически чистая продукция пользуется повышенным спросом. При этом в перечне важнейших экологических проблем выделяется проблема эмиссии парниковых газов. Значительную

часть «углеродных» газов составляет так называемый углеродный след: количество

<sup>1</sup> Лисиенко Владимир Георгиевич – доктор технических наук, профессор кафедры автоматизации Института радиозлектроники и информационных технологий – РТФ Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); e-mail: lisenko@mail.ru.

образованных углеродосодержащих газов (парниковых газов) в сквозном варианте в течение всего цикла производства той или иной продукции. Естественно, что предприятия, производство которых отличается минимальной эмиссией диоксида углерода, выглядят гораздо привлекательнее своих конкурентов и являются в этой связи более конкурентоспособными.

Само понятие конкурентоспособности, т. е. способности сохранять высокую экономическую эффективность деятельности в условиях конкурентной борьбы, является достаточно сложным.

Заметим, что во многих работах как отечественных, так и зарубежных авторов неоднократно предпринимались попытки анализа и описания отдельных составляющих конкурентного процесса. Так, теория сравнительных и конкурентных преиму-

ществ как источников конкуренции анализировалась со времен Д. Рикардо, а ее современные интерпретации можно встретить в исследованиях Р. Кейвуса, М. Портера, А. Чандлера, П. Друкера, Д. Шендела и К. Хаттена, Г. Хамела и К. Прахалада, В. Катъкало и других ученых [1–8]. Роль предпринимательской деятельности в конкурентных взаимодействиях и вопросы стратегической направленности конкурентного процесса изучались в трудах Й. Шумпетера, Ф. Хайека, М. Хаммера и Дж. Чампи, И. Ансоффа и других авторов [9–12].

С началом рыночных преобразований в России заметно активизировался интерес к проблемам конкуренции и в отечественной науке. Различным аспектам конкуренции, методологическим основам оценки конкурентоспособности предприятий и поискам путей ее приращения посвящены исследования Г. Азоева, Г. Багиева, Е. Горбашко, А. Демченко, П. Забелина, Г. Краюхина, И. Липсица, В. Мисакова, Е. Млотока, В. Окрепилова, Л. Родионовой, Р. Фатхудинова, А. Юданова и многих других ученых [13–25].

Анализируя конкурентные преимущества предприятия и выпускаемой им продукции, ученые-исследователи акцентируют внимание на техническом уровне производства и степени использования средств труда; прогрессивности применяемых технологий; качестве и степени использования предметов труда; персонале и его квалификации; уровне организации производства и труда; степени совершенства системы управления предприятием; финансовом состоянии предприятия и эффективности его функционирования; степени реализации трудовой и социальной политики предприятия, уровне качества продукции и т. п.

Вместе с тем практически никто из авторов не рассматривает оценку влияния на уровень конкурентоспособности предприятия рационального природопользования, делающего возможным наиболее эффективный режим воспроизводства и экономной

---

*Берг Дмитрий Борисович* – доктор физико-математических наук, профессор кафедры анализа систем и принятия решений Института Высшая школа экономики и менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); ведущий научный сотрудник Института промышленной экологии Уральского отделения РАН, e-mail: bergd@mail.ru.

*Криворотов Вадим Васильевич* – доктор экономических наук, профессор, заведующий кафедрой экономики производственных и энергетических систем Института Высшая школа экономики и менеджмента Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); e-mail: v\_krivotov@mail.ru.

*Чесноков Юрий Николаевич* – кандидат технических наук, доцент кафедры автоматизации Института радиоэлектроники и информационных технологий – РтФ Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); e-mail: ch\_jur@mail.ru.

*Лантвева Анна Викторовна* – аспирант, старший преподаватель кафедры автоматизации Института радиоэлектроники и информационных технологий – РтФ Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина, г. Екатеринбург, Россия (620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19); e-mail: annalantveva@mail.ru.

эксплуатации природных ресурсов с учетом перспективных интересов развивающегося хозяйства и здоровья людей. Указанные обстоятельства подчеркивают востребованность экологического типа производства, который культивирует комплексное использование ресурсов, внедрение малоотходных и безотходных технологий, совершенных очистных сооружений, всемерное улучшение состояния охраны труда и окружающей среды. Это целый комплекс сложных технических и организационных задач, обусловленных экологическими факторами производства, но без их успешного решения на сегодняшний день невозможно рассчитывать на высокий статус конкурентоспособности.

Настоящая статья посвящена анализу конкурентоспособности продукции предприятия с учетом экологических факторов производства, поскольку экологические аспекты производства и углеродный след, в частности, напрямую относятся к прогрессивности применяемых предприятием технологий и определяют уровень качества его продукции. Нас интересует парниковая, или «углеродная», конкурентоспособность продукции и связанные с ней показатели энергозатрат и себестоимости.

Оценка конкурентоспособности продукции производится путем сопоставления параметров анализируемой продукции с параметрами базы сравнения. Здесь базу сравнения заменяет показатель конкурентоспособности.

### **Методы исследования**

В подавляющем большинстве исследований, посвященных комплексной оценке конкурентоспособности продукции ( $K$ ), авторы используют подход, представленный формулами (1) и (2):

$$K = \sum_{i=1}^N K_i, \quad (1)$$

$$K = \sum_{i=1}^N W_i K_i, \quad (2)$$

где  $K$  – конкурентоспособность оцениваемой продукции,  $K_i$  –  $i$ -й единичный пока-

затель конкурентоспособности продукции;  $W_i$  – показатель значимости (веса)  $i$ -го единичного показателя конкурентоспособности.

Анализируя указанный подход, можно заключить, что он основан на суммировании единичных показателей конкурентоспособности, отражающих отдельные аспекты деятельности предприятия и свойства выпускаемой им продукции, и сведении их в единый комплексный показатель. При этом в качестве единичных показателей конкурентоспособности могут выступать как количественные, так и относительные значения этих показателей с использованием их значимости (весомости). Относительные показатели конкурентоспособности представляют собой нормированные значения единичных показателей, которые получают путем деления единичных показателей на их максимальные значения или на значения единичных показателей наиболее сильных конкурентов (значимой продукции конкурентов).

Оценка конкурентоспособности предприятий черной металлургии, на наш взгляд, требует первостепенного рассмотрения применяемых технологий производства с позиций учета экологических факторов.

Отметим, что в процессах черной металлургии в основном образуются два парниковых газа: метан  $CH_4$  и диоксид углерода  $CO_2$ . Метан сопутствует добыче сырья для металлургических предприятий, выделяясь из горных пород. Его объемы не зависят от технологических процессов. Метан, образующийся в металлургических процессах, входит в состав вторичных энергетических ресурсов и окисляется при их использовании до диоксида углерода и воды.

Диоксид углерода образуется во всех технологических процессах металлургии при сжигании органического топлива, выгорании углерода из полуфабриката, разложении составляющих флюсов. Причем различные технологические схемы характеризуются разными объемами образования

диоксида углерода. По этим причинам сузим понятие углеродного следа, определяя его как сквозную эмиссию диоксида углерода  $M_c$ . В статье будут приведены значения сквозных эмиссий диоксида углерода, рассчитанные для усредненных значений расходов материалов, используемых в том или ином технологическом процессе. Эти значения принимаем за единичный показатель конкурентоспособности.

Кроме эмиссии диоксида углерода, важным единичным показателем конкурентоспособности продукции является ее себестоимость. Расчет себестоимости сырой стали осложняется тем, что для расчетов наиболее доступна только схема с указанием расходов сырья и промежуточных продуктов. Состав и ставки обслуживающего персонала, стоимость оборудования, общепроизводственные и общехозяйственные расходы и т. д. могут отличаться в различных условиях. В работе [26] для черной металлургии приведены средние цифры на оплату труда, отчислений на социальные нужды, амортизационных отчислений и затрат на прочие нужды, которые в сумме составляют около 25÷30 % от всех затрат (в среднем 0,275). В настоящем анализе сделано допущение, что в среднем состав персонала одинаков для всех пар технологических цепочек.

Другая проблема определения себестоимости сырой стали заключается в постоянном и нестабильном росте цен на сырье. Для наших целей, конечно же, имеет значение только соотношение этих цен.

Третья особенность расчетов состоит в том, что рассматриваются два передела в цепи, и, следовательно, возникает необходимость определения трансфертных (внутренних расчетных) цен промежуточных продуктов, передаваемых с передела на передел. Принято, что эти цены в 1,3 раза выше себестоимости промежуточных продуктов. Себестоимость промежуточной продукции (чугуна, губчатого железа) вычисляется как сумма произведений расходов на цену соот-

ветствующего ресурса, умноженная на коэффициент 1,3. Отличие в расчете себестоимости стали от расчетов себестоимости промежуточного продукта состоит в том, что в сумму произведений входит произведение цены промежуточного продукта, умноженного на его расход в электродуговых печах. Кроме того, найденная сумма делится на  $1 - 0,275 = 0,725 \approx 0,73$ .

За третий единичный показатель конкурентоспособности выбрана энергоемкость стали, представленная в виде технологического топливного числа (ТТЧ), измеряемого в кг условного топлива на т продукции (кг у.т./т прод.). Технологическое топливное число определяется по формуле [27]:

$$\text{ТТЧ} = 1,1 \cdot 10^3 \cdot \frac{Q_n}{Q_{y.t.}}, \quad (3)$$

где  $Q_n$  – низшая теплота сгорания топлива;  $Q_{y.t.} = 29\,330$  кДж/кг – теплота сгорания условного топлива; 1,1 – коэффициент, учитывающий добычу, транспортировку и подготовку топлива;  $10^3$  – коэффициент, служащий для перевода размерности кг у.т./кг продукции в кг у.т./т продукции. Количество топлива, необходимое для реализации того или иного процесса, зависит от удельного расхода энергии (энергозатрат) на этот процесс и низшей теплоты сгорания топлива.

При этом анализу подвергнуты различные цепочки технологий, применяемые для производства стали в таких переделах, как доменная печь (ДП) и кислородный конвертер (КК), ДП и электродуговая печь (ЭДП), процесс Corex и ЭДП, агрегат Romelt и ЭДП, процесс Midrex и ЭДП, а также процесс Hyl-III и ЭДП.

### Объекты исследования

Выделим металлургические переделы, которые целесообразно исследовать. На выходе всех сочетаний переделов для сравнимости принят один и тот же продукт – сырая сталь. В настоящее время сталь выплавляется в электродуговых печах или в кислородных конверторах. Для загрузки

этих агрегатов могут быть использованы следующие материалы

- чугуны (ДП, Corex, Romelt);
- губчатое железо (Midrex, Hyl-III);
- железный лом.

В зависимости от процесса получения этих материалов будем анализировать следующие цепочки технологий как наиболее часто применяемые переделы на предприятиях черной металлургии для производства стали:

ДП + КК,  
ДП + ЭДП,  
Corex + ЭДП,  
Romelt + ЭДП,  
Midrex + ЭДП,  
Hyl-III + ЭДП.

При выборе для анализа процессов первого передела были учтены следующие факторы.

Доменная печь является высокопроизводительным агрегатом по производству жидкого чугуна [28]. Она имеет вид колонны со сложным профилем внутренней полости. Внутренний объем составляет до 5000 м<sup>3</sup>. Сверху загружается шихта, состоящая из кокса, офлюсованных агломерата и металлизированных окатышей. Снизу выпускается чугун и шлак. Чугун бывает перелдельный и литейный. Перелдельный чугун предназначен для сталеплавильных печей: кислородного конвертера и электродуговой печи. Недостаток доменного процесса – использование дорогостоящего кокса. Запасы коксующихся углей значительно уменьшились за последние годы. При производстве кокса, помимо CO<sub>2</sub>, образуются вредные газы. Выброс вредных веществ, в частности оксидов серы, увеличивает процесс агломерации. Все это делает актуальным переход на бескоксовые технологии при производстве стали. Однако доменная печь характеризуется высокой производительностью (в большой доменной печи ежеминутно выплавляется около 9 т чугуна), отработанной технологией, что делает ее пока незаменимой в черной металлургии.

В мире 25 % губчатого железа (ГЖ) производится процессом Hyl-III [28]. Основа агрегатов Hyl-III – шахтная печь, в которую загружаются различные железосодержащие окатыши и смеси окатышей с железной рудой. В фурмы шахтной печи подается восстановительный газ, который образуется реформированием природного газа и пара. В шахтной печи окатыши идут вниз, а восстановительный газ – вверх. Природный газ очищается от серы и вместе с водяным паром поступает в трубки, заполненные никелевым катализатором, где он расщепляется на оксид углерода и водород.

Процесс Midrex внедрен на Оскольском электрометаллургическом и Михайловском горно-обогатительном комбинатах [28]. Основным элементом этого процесса является шахтная печь металлизации. В нее загружаются окисленные окатыши, которые под действием силы тяжести проходят зоны восстановления объемом 200 м<sup>3</sup> и охлаждения объемом 120 м<sup>3</sup>. Восстановительный газ подается в шахтную печь через фурмы, расположенные посередине печи. Он образуется из природного газа в реформере, который содержит 288 реакционных трубок с никелевым катализатором. Из шахтной печи выходит губчатое железо в виде металлизированных окатышей. Производительность Midrex зависит от диаметра шахтной печи. При максимальном ее диаметре 5,5 м производительность достигает 2500 т/сутки или 800 тыс. т/год. Процессы Midrex реализованы на четырех установках в Оскольском электрометаллургическом предприятии (ОЭМК), производящих 2,2 млн т металлизированных окатышей.

Процесс Corex имеет два основных агрегата: восстановительную шахтную печь и плавильный газификатор. В плавильный газификатор загружается каменный уголь и металлизированные окатыши из шахтной печи. В верхней части газификатора летучие фракции из угля возгоняются, образуя восстановительный газ, который поступает в шахтную печь. В шахтную печь загружа-

ется руда, которая взаимодействуя с восстановительным газом, превращается в губчатое железо. Губчатое железо в плавильном газификаторе под действием тепла сгорающего угля превращается в жидкий чугун.

Агрегат Romelt был изобретен и исследован на опытной установке в России. Основа процесса – печь жидкофазного восстановления (ПЖВ). В нее загружаются каменный уголь и железорудный концентрат. В нижние фурмы подается воздух с избытком кислорода. В результате шлак вспенивается и в этой шлаковой ванне происходит восстановление оксидов железа углеродом каменного угля. Достоинства процесса Romelt состоит в том, что он работает на неподготовленной руде и не требует применения дефицитного кокса.

Кислородный конвертер предназначен для выплавки стали из чугуна продувкой расплава шихты кислородом. При такой продувке лишний углерод чугуна окисляется и получается сталь. В конвертер загружают на 1 т стали 0,88 т жидкого чугуна и 0,22 т лома. Достоинство кислородного конвертера – малое время протекания процесса плавки. Время плавки в конверторе составляет около часа.

Электродуговая печь или сталеплавильная печь имеет различные варианты состава загружаемой шихты. Чугун может быть жидким или чушковым. Чугуна не должно быть более 40 % в шихте, так как с ним в сталь переходит лишняя сера. Остальные 60 % может быть лом или лом с добавкой металлизированных окатышей (до 60–70 % от массы шихты). Возможна шихта, состоящая только из лома или из лома и окатышей. Применение жидкого чугуна в шихте электродуговой печи снижает расход электроэнергии на плавку. Для ускорения процесса расплавления твердой части шихты в электродуговых печах применяют водоохлаждаемые горелки с природным газом, которые опускаются сверху. Эмиссия диоксида углерода ЭДП определяется количеством выгоревшего углерода из шихты,

из электродов и из природного газа. Время плавки в ЭДП составляет несколько часов.

По другим бескоксовым процессам нет достаточных сведений для проведения анализа.

### Полученные результаты

Удельные усредненные показатели сырьевых ресурсов (УПСР) для перечисленных переделов приведены в табл. 1. В столбец «цена» сведены рыночная и трансфертная цены. Ячейки таблицы, объединенные жирной рамкой, образуют матрицу, строки которой обозначены буквой  $i$ , а столбцы –  $m$ . В табл. 2 приведены удельные усредненные расходы сырьевых ресурсов (УР). При этом каждой паре связанных переделов поставлены в соответствие два столбца с расходами соответствующего ресурса. Рамкой выделена матрица УР, строки которой обозначены индексом  $i$ , а столбцы –  $j$ . Табл. 3 содержит все расчетные данные – удельные показатели продукции (УПП).

С учетом выделенных матриц в таблицах общая схема расчетов удельных показателей продукции или УПП ( $m = 1$  – эмиссии,  $m = 2$  – себестоимости,  $m = 3$  – ТТЧ) первого передела в технологической цепи (нечетные столбцы матриц  $j = 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13$ ) выглядит так:

$$\text{УПП}_{mj} = \sum_{i=1}^{14} (\text{УПСР}_{im} \cdot \text{УР}_{ij}). \quad (4)$$

Общая схема расчетов удельных показателей продукции или УПП второго передела в технологической цепи (четные столбцы матриц  $j = 2, 4, 6, 8, 10, 12, 14$ ) примет вид:

$$\text{УПП}_{mj} = \sum_{i=1}^{14} (\text{УПСР}_{im} \cdot \text{УР}_{ij}) + [k_1 \cdot \text{УПП}_{m(j-1)} \cdot \text{УР}_{15j}] / k_2. \quad (5)$$

Коэффициент  $k_1 = 1,3$  при расчете трансфертной цены (30 % себестоимости добавляется при передаче продукта на другой передел),  $k_1 = 1$  при расчете других УПП. Коэффициент  $k_2 = 0,73$  при расчете цены

стали (для учета отчислений на социальные нужды и т. п.),  $k_2 = 1$  при расчете других УПП.

Таким образом, для выбора соответствующего набора технологий имеется следующие единичные показатели конкурентоспособности: себестоимость стали, удельная эмиссия диоксида углерода, ТТЧ. Значения параметров не соизмеримы ни по величине, ни по размерности. Введем относительные величины единичных показателей конкурентоспособности  $K_i$  – оценки.

Единичный показатель конкурентоспособности по интегральной сквозной эмиссии диоксида углерода  $\mathcal{E}_i$  в  $i$ -м процессе определим отношением:

$$K_i^i = \frac{\mathcal{E}_{\max} - \mathcal{E}_i}{\mathcal{E}_{\max}}. \quad (6)$$

Здесь речь идет о сквозной эмиссии диоксида углерода  $M_c$  – суммарной эмиссии во внешнюю среду диоксида углерода  $M_c = M_n + M_p$ , которая произошла при выпуске по всей технологической цепи той или иной продукции («углеродный след» или «Carbon Footprint»). Эта эмиссия является взвешенной суммой интегральной эмиссии финального технологического процесса  $M_n$  и эмиссий предшествующих технологических процессов. Взвешенная сумма эмиссий предшествующих технологических процессов является транзитной

Таблица 1

Удельные усредненные показатели сырьевых ресурсов (УПСР)

Сырьевые ресурсы	Размерность	$m$	1	2	3
		$i$	Сквозная эмиссия, кг/т ед. продукции	ТТЧ, кг у.т./ед. продукции	Цена, руб.
ВЭР	м <sup>3</sup>	1	0	0,117	0,2
Выработанная электроэнергия	кВт·ч	2	0	0,388	3
Кокс	т	3	430	1 396	20 700
Коксик	т	4	430	1 000	5 600
Уголь	т	5	29,6	962	5 800
Природный газ	м <sup>3</sup>	6	0,234	1,34	2,3
Руда	т	7	109,2	39	2 880
Агломерат	т	8	417	111	3 500
Окатыши офлюсованные	т	9	197	123	5 000
Лом	т	10	20	7,3	4 500
Электроэнергия	кВт·ч	11	1,084	0,388	3
Кислород	м <sup>3</sup>	12	0,43	0,24	3,4
Азот	м <sup>3</sup>	13	0,26	0,082	11
Аргон	м <sup>3</sup>	14	0,35	0,845	26

Таблица 2

Удельные усредненные расходы сырьевых ресурсов (УР)

		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		Расходы на тонну продукции											
<i>j</i>		ДП	КК	ДП	ЭДП	Midrex	ЭДП	Romelt	ЭДП	Cortex	ЭДП	III-НУЛ-III	ЭДП
<i>i</i>		ДП	КК	ДП	ЭДП	Midrex	ЭДП	Romelt	ЭДП	Cortex	ЭДП	III-НУЛ-III	ЭДП
1	ВЭР м <sup>3</sup>	- 200		- 200						-			
2	Выработанная электроэнергия кВт·ч							- 300		2 666			
3	Кокс т	0,51		0,51									
4	Коксик т				0,005		0,005		0,005		0,005		0,005
5	Уголь т							1,48	18	1,05			
6	Природный газ м <sup>3</sup>	134		134	18	342	18		18		18	334	18
7	Руда т											0,46	
8	Агломерат т	1		1				1		1,5			
9	Окаыши офлюсованные т	0,6		0,6		1,4		0,46				1	
10	Лом т		0,22		0,77		0,77		0,77		0,77		0,77
11	Электроэнергия кВт·ч	22		22	370		500		370		370		500
12	Кислород м <sup>3</sup>	128	60	128			45	380	45	662	45		45
13	Азот м <sup>3</sup>				0,47		0,47		0,47		0,47		0,47
14	Аргон м <sup>3</sup>				0,75		0,75		0,75		0,75		0,75
15	Чугун/Губчатое железо стали т/т		0,88		0,33		0,33		0,33		0,33		0,33

Примечание: ВЭР – вторичные энергоресурсы.



Таблица 3

Расчетные удельные показатели продукции (УПП)

Показатель	j	Значения показателя на тонну продукции											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
	m	ДП (чугун)	КК	ДП (чугун)	ЭП	Midrex (ТЖ)	ЭП	Comet (чугун)	ЭП	Corex (чугун)	ЭП	НУЛ-III (ТЖ)	ЭП
Эмиссия CO <sub>2</sub> , кг/т продукта	1	2 369	2 328	2 369	1 442	1 210	1 201	4 074	2 005	3 218	1 723	1 079	1 158
Цена, руб./т продукта	2	17 466	15 386	17 466	10 433	7 787	7 782	15 616	9 975	13 058	9 131	7 093	7 553
ТТЧ, кг у.т./т продукта	3	882	792	882	470	630,5	448	1 647	733	1 024	528	588,5	434

эмиссией  $M_r$ . Эта эмиссия, пересчитанная с предыдущих процессов с учетом коэффициентов расхода тех или иных материалов, показывает значение эмиссий, произошедших в предыдущих переделах, которые приходится на анализируемый процесс. Термин «интегральная» означает, что эмиссия диоксида углерода процесса вычисляется из условия сжигания вторичных энергетических ресурсов, образованных в этом процессе, на потребности этого же процесса. Для исключения двойного счета передача вторичных энергетических ресурсов на другие переделы не учитывается. Например, исключен учет образования  $CO_2$  при использовании доменного газа в коксовых батареях. Образование  $CO_2$  при сжигании доменного газа на любом переделе отнесено к доменному процессу. Такой подход подразумевает анализ передела предприятия полного цикла.

За единичный показатель конкурентоспособности по себестоимости примем отношение себестоимости стали  $CC_i$  в  $i$ -м процессе к максимальной себестоимости:

$$K_2^i = \frac{CC_{\max} - CC_i}{CC_{\max}}. \quad (7)$$

Единичный показатель конкурентоспособности по энергоёмкости стали составит отношение энергоёмкости стали  $ТТЧ_i$  в  $i$ -м процессе к максимальной энергоёмкости  $ТТЧ_{\max} = 1\,000$  кг у.т./т стали:

$$K_3^i = \frac{ТТЧ_{\max} - ТТЧ_i}{ТТЧ_{\max}}. \quad (8)$$

Наибольшее значение этого показателя будет соответствовать наиболее конкурентоспособному товару. Из формулы (2) можно получить выражение показателя конкурентоспособности по углеродному следу:

$$K_3^i = 0,5 \cdot K_1^i + 0,5 \cdot K_2^i, \quad (9)$$

при  $W_1 + W_2 = 1$ . Эти коэффициенты выбирает лицо, принимающее решение, в общем случае их значения неизвестны.

Показатель конкурентоспособности с учетом энергоёмкости стали определится формулой:

$$K_{3-3}^i = 0,3 \cdot K_1^i + 0,5 \cdot K_2^i + 0,2 \cdot K_3^i. \quad (10)$$

Во всей совокупности процессов пара ДП + КК имеет максимальное значение себестоимости СС и эмиссии диоксида углерода Э. Однако себестоимость продукции и эмиссия диоксида углерода в тех или иных технологических процессах зависят от многих факторов и не являются неизменными. По этой причине за максимальные значения параметров примем  $\mathcal{E}_{\max} = 3\,000$  кг/т продукции и  $CC_{\max} = 30\,000$  руб./т продукции.

Каждый из трех единичных показателей конкурентоспособности имеет ранжирование, близкое к ранжированию комплексных показателей конкурентоспособности. Суммирование рангов единичных показателей конкурентоспособности дает в четырех из шести случаях точный результат, совпадающий с рангами  $K_3$  и  $K_{3-3}$ . Для двух процессов ДП + ЭДП и Correx + ЭДП сохраняется неопределенность в плане их предпочтительности при простом суммировании рангов.

В данном случае  $\max K$  характеризует предпочтительную технологическую цепочку, продукция которой будет наиболее конкурентоспособной. Назовем величину  $K$  показателем конкурентоспособности по углеродному следу сочетаний цепей технологических переделов производства стали, поскольку чем больше его значение, тем может быть выше конкурентоспособность стали на мировом рынке.

Для настоящей работы значения эмиссий были пересчитаны для сравнимых условий (например, расход электроэнергии в ЭДП для процессов без получения чугуна принят 500 кВт·ч/т стали). Вместе с тем следует учесть, что с ростом доли жидкого чугуна в ЭДП снижается и расход электроэнергии. Так, при доле чугуна 30 % в шихте расход электроэнергии снижается на 130 кВт·ч, а при доле чугуна 40 % – на 160 кВт·ч.

Другие, не приведенные в таблицах расходы электроэнергии, учтены в значениях интегральной эмиссии, которая подразумевает использование вторичных энергетических ресурсов (коксовый, доменный газы и т. п.) для производства собственной электроэнергии. Эта энергия покрывает до 90 % потребности металлургических предприятий.

В табл. 4 приведены показатели конкурентоспособности технологических процессов, технологическим цепям присвоены ранги для каждого показателя.

Надо заметить, что использование чугуна в шихте ЭДП, кроме экономии электроэнергии, снижает накопление в стали вредных примесей, содержащихся в ломе и трудно удаляемых в процессах плавки (медь и другие примеси).

Отметим, что использование угля в шихте (процессы Romelt, Corex, ЛП-В) с последующей выплавкой чугуна приводит по сравнению с выплавкой чугуна в ДП к экономии дефицитного кокса, а в ряде случаев просто незаменимо в районах с отсутствием подвода природного газа.

#### **Анализ полученных результатов**

Из табл. 4 видно, что минимальная сквозная эмиссия диоксида углерода (или углеродный след) присуща тандемам переделов Midrex + ЭДП и НуL-III + ЭДП. Эти же тандемы лидируют по значениям комплексных показателей. Первые переделы в этих тандемах работают на природном газе. В природном газе, помимо углерода, содержится водород, который имеет высокую теплоту сгорания, а эмиссии диоксида углерода не образует.

Достаточно хорошие показатели имеет тандем ДП + ЭДП. Этот тандем имеет ранг 3.

Тандем переделов Romelt + ЭДП имеет ранг 5 из шести. Процессы жидкофазного восстановления в этой печи имеют высокие скорости протекания, что усложняет управление процессом Romelt. Пятое место этого тандема позволяет исключить его из рассмотрения.

Тандем ДП + кислородный конвертор характеризуется наибольшей эмиссией диоксида углерода. Хотя кислородные конверторы более производительны по сравнению с ЭДП, проблемы с коксом и агломератом в этом тандеме остаются.

Тандем переделов Corex + ЭДП имеет ранг 4 по всем показателям. Для процесса Corex не нужен агломерат, дорогостоящий кокс.

Проведем приблизительные расчеты с целью определения возможности исключения доменного процесса из черной металлургии, опираясь на следующие данные. В России в 2013 г. было выплавлено 50 млн т чугуна и 68,8 млн т стали [29]. В 2020 г. в России 66 % стали будет выплавлено в кислородных конвертерах, или 45,4 млн т и 34 % – в электродуговых печах, или 23,4 млн т [30].

В кислородные конверторы потребуется 40,3 млн т чугуна. Современные доменные печи имеют объем до 5000 м<sup>3</sup> и обеспечивают выплавку стали до 4 млн т/год. Для производства требуемого количества чугуна необходимо иметь около 10 больших доменных печей. Производительность процесса Corex достигает 0,8 млн т/год чугуна (Индия, Южная Корея) [31]. Установок Corex для производства 40,3 млн т потребуется чуть более 50.

Примем, что состав шихты электродуговой печи состоит из 75 % металлургических окатышей и 25 % лома. Металлизированных окатышей ориентировочно потребуется 17,55 млн т.

Четыре установки Midrex Оскольского электрометаллургического предприятия производят 2,2 млн т/год металлургических окатышей, т. е. 0,55 млн т/год на одну установку. Следовательно, для производства окатышей для электродуговой печи потребуется 32 установки Midrex.

В Мексике по способу НуL-III работают три установки с шахтными печами общей мощностью 3 млн т/год губчатого железа, т. е. по одному миллиону тонн в год на одну установку. Установок НуL-III для производ-

Таблица 4

Показатели конкурентоспособности

Технологический процесс	Единичные показатели конкурентоспособности						Ранжирование		Комплексные показатели конкурентоспособности			
	ТТЧ		Эмиссия CO <sub>2</sub>		Себестоимость		Сумма рангов	Итоговый ранг	K <sub>э</sub>		K <sub>э-э</sub>	
	кг у.т./т стали	ранг	кг/т стали	ранг	руб./т стали	ранг			значение	ранг	значение	ранг
1. ДП + конвертер	792	6	2 328	6	15 386	6	18	6	0,36	6	0,35	6
2. ДП + ЭДП	470	3	1 442	3	10 433	5	11	3-4	0,59	3	0,59	3
3. Midrex + ЭДП	448	2	1 201	2	7 782	2	6	2	0,67	2	0,66	2
4. Romelt + ЭДП	733	5	2 005	5	9 975	4	14	5	0,50	5	0,49	5
5. Corex + ЭДП	528	4	1 723	4	9 131	3	11	3-4	0,56	4	0,57	4
6. НуL-III + ЭДП	434	1	1 158	1	7 553	1	3	1	0,68	1	0,67	1

ства 17,55 млн т металлургических окатышей понадобится 18.

Таким образом, после исчезновения коксующихся углей наиболее экологически чистым тандемом для производства стали остается Midrex + ЭДП. Чугун доменной печи для ЭДП можно заменить металлургическими окатышами, получаемыми тридцатью двумя установками Midrex.

Так как чугун свою актуальность не теряет, то доменные печи можно заменить агрегатами Corex.

### **Выводы**

1. Введен параметр  $K_{\Sigma}$  (показатель парниковой конкурентоспособности по углеродному следу цепей технологических переделов производства стали) и приведена методика его определения.

2. Введен параметр  $K_{\Sigma,Э}$  (показатель конкурентоспособности с учетом энергоемко-

сти стали и по углеродному следу цепей технологических переделов производства стали) и приведена методика его определения.

3. Оценена себестоимость стали в традиционном и альтернативном металлургических процессах с выплавкой стали в электродуговой печи.

4. Отмечена и оценена себестоимость стали и более высокое значение показателя парниковой конкурентоспособности в процессах с малым использованием чугуна в шихте приведена, проведено ранжирование рассмотренных процессов по этому показателю.

5. Предложена методика оценки показателя конкурентоспособности продукции различных сочетаний металлургических переделов с учетом их углеродного следа.

6. Приведена апробация разработанной методики с проведением необходимых расчетов и оценкой результатов.

### **Список использованных источников**

1. Рикардо Д. Сочинения. М.: Соцэкгиз, 1961. 434 с.
2. Caves R.E. Trade and economic Structure. Models and Methods. L., 1956.
3. Портер М. Конкуренция. М.: Издательский дом «Вильямс», 2000. 495 с.
4. Chandler A.D. Jr. Strategy and Structure: Chapters in the History of the Industrial Enterprise. Cambridge: MIT Press, 1962. 455 p.
5. Друкер П. Эффективное управление / пер. с англ. М.: ФАИР-ПРЕСС, 1998. 288 с.
6. Schendel D.E., Hatten K.J. Business Hierarchy of Strategic Management: A Broader View for an Emerging Discipline. Academy of Management Proceedings, 1972.
7. Хамел Г., Прахалад К. Конкурируя за будущее: создание рынков завтрашнего дня. М.: «ЗАО» Олимп-бизнес, 2002. 288 с.
8. Катяло В.С. Эволюция теории стратегического управления : монография. 2-е изд., исправ. и доп. СПб. : Изд-во «Высшая школа менеджмента»; Издат. дом С.-Петерб. гос. ун-та, 2008. 548 с.
9. Шумпетер Й. Теория экономического развития. М.: Прогресс, 1982. 455 с.
10. Хайек Ф.А. Дорога к рабству. М.: Экономика, 1992. 175 с.
11. Хаммер М., Чампи Дж. Реинжиниринг корпорации. Манифест революции в бизнесе. М.: Изд-во Манн, Иванов и Фербер, 2006. 287 с.
12. Ансофф И. Стратегическое управление. М.: Экономика, 1989. 519 с.
13. Азоев Г.Л. Конкуренция: анализ, стратегия и практика. М.: Центр экономики и маркетинга, 1996. 420 с.
14. Багиев Г.Л. Маркетинг взаимодействия: товарная политика, конкурентоспособность товара, стратегические решения. СПб.: Изд-во

- С.-Петербург. ун-та экономики и финансов, 1999. 109 с.
15. Горбашко Е.А. Обеспечение конкурентоспособности промышленной продукции. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та экономики и финансов, 1994. 178 с.
  16. Демченко А.А., Кузьбожев Э.Н. Измерение конкурентоспособности предприятий отрасли: Теория и методы измерения. Курск: ГУИПП «Курск», 2000. 88 с.
  17. Забелин П.В., Моисеева Н.К. Основы стратегического управления. М.: Информационно-внедренческий центр «Маркетинг», 1998. 195 с.
  18. Краюхин Г.А. Методика анализа деятельности предприятий в условиях рыночной экономики. СПб., 1996. 234 с.
  19. Липсиц И.В. Конкурентоспособность российской промышленности. М.: Агентство «Инфомарт», 1996. 105 с.
  20. Мисаков В.С. Анализ конкурентоспособности фирмы. М.: Финансы и статистика, 1998. 223 с.
  21. Млоток Е. Принципы маркетингового исследования конкуренции на рынке [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.marketing.spb.ru>.
  22. Окрепилов В.В. Управление качеством и конкурентоспособностью. СПб.: Изд-во С.-Петербург. ун-та экономики и финансов, 1997. 259 с.
  23. Родионова Л.Н., Кантор О.Г., Хакимова Ю.Р. Оценка конкурентоспособности продукции // Маркетинг в России и за рубежом. 2000. № 1. С. 63–77.
  24. Фатхутдинов Р.А. Управление конкурентоспособностью организации: учебник. 2-е изд., испр. и доп. М. : Изд-во Эксмо, 2005. 544 с.
  25. Юданов А.Ю. Конкуренция: теория и практика : учеб. пособие. 3-е изд. М.: Гном-Пресс, 2001. 304 с.
  26. Чесноков Ю.Н., Лисиенко В.Г., Лаптева А.В. Разработка графов эмиссии диоксида углерода металлургическими предприятиями // Металлург. 2012. № 12. С. 23–26.
  27. Гребнев Е.Т., Новиков Д.Т., Захаров А.Н. Анализ конкурентоспособности продукции // Маркетинг в России и за рубежом. 2002. № 3 (29). С. 136–141.
  28. Воскобойников В.Г., Кудрин В.А., Якушев А.М. Общая металлургия. М. : Металлургия, 1998. 768 с.
  29. Хохлов А.В. Справочные материалы по географии мирового хозяйства, 2014: вып. 2. Статистический сборник. [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.vlant-consult.ru/files/mat-2015-issue-1.pdf>.
  30. Макаров М. Черная металлургия России: текущие результаты и основные направления развития // Материалы 10 Международного металлургического саммита в России [Электронный ресурс]. Режим доступа: [http://www.russtal.ru/uploads/files/documents/russtal2012metsummit/doklad\\_russtal\\_10\\_summit\\_20062012.pdf](http://www.russtal.ru/uploads/files/documents/russtal2012metsummit/doklad_russtal_10_summit_20062012.pdf).
  31. Юсфин Ю.С., Пашков Н.Ф. Металлургия железа : учебник для вузов. М.: ИКЦ «Академкнига», 2007. 464 с.

*Lisienko V.G.*, doctor of technical sciences, professor,  
*Berg D.B.*, doctor of physics and mathematics, professor,  
*Krivorotov V.V.*, doctor of economics, professor,  
*Chesnokov Yu.N.*, candidate of technical sciences, associate professor,  
*A. V. Lapteva*, post-graduate student,  
*Ural Federal University*  
*named after the first President of Russia B.N. Yeltsin,*  
*Ekaterinburg, Russia*

## **INDICATORS OF COMPETITIVENESS OF PRODUCTION OF VARIOUS COMBINATIONS OF METALLURGICAL PROCESSES TAKING INTO ACCOUNT THEIR CARBON FOOTPRINT**

Greenhouse gases changing the climate of Earth, carbon dioxide in particular, are by-products and are released into the atmosphere in large quantities by enterprises of ferrous metallurgy. The problem of greenhouse gas emissions has become one of the major environmental problems connected with the smelting of steel at metallurgical enterprises and requires an urgent solution. In the present article competitiveness of products of enterprises of ferrous metallurgy is analyzed, taking into account ecological factors of production. So-called greenhouse or “carbon” competitiveness is considered. Such major indicators of production as energy costs and the cost of production are the focus of attention.

In the article a complex of new indicators of competitiveness of metallurgical enterprises is introduced and processes which are characterized by the minimum emission of carbon dioxide are described. A method of calculation of these indicators is given considering so-called carbon footprint, energy consumption of steel smelting and product costs. Values of the specified indicators are defined at various combinations of the metallurgical processes that result in steel smelting. Various chains of technology applied to steel making in such facilities as the blast furnace (BF) and the oxygen converter, BF and the arc furnace (AF), the Corex process and AF, the Romelt unit and AF, the Midrex process and AF, and also the Hyl-III process and AF are subjected to the analysis.

In conclusion, analysis of the received results is carried out taking into account the advantages and shortcomings of the considered technological chains of the metallurgical conversions, the ranking of technological processes of at enterprises according to proposed indicators of competitiveness is carried out, and the general conclusions are drawn as to the priority of the steelmaking technologies in use.

**Key words:** competitiveness indicator, product cost, carbon footprint, emission, chains of processes of ferrous metallurgy.

### **References**

1. Ricardo, D. (2005). *The Works and Correspondence of David Ricardo*. Indianapolis, Liberty Fund, (Rus. ed.: Rikardo, D. (1961). *Sochineniia*. Moscow, Sotsekgiz).
2. Caves, R.E. (1956). *Trade and Economic Structure. Models and Methods*. London.
3. Porter, M. (2008). *On competition*. Harvard Business School Pub. (Rus. ed.: Porter, M. (2000). *Konkurentsiia*. Moscow, Vil'iams).
4. Chandler, A.D. Jr. (1962). *Strategy and Structure: Chapters in the History of the Industrial Enterprise*. Cambridge, MIT Press, 455.

5. Drucker, P. (2004). *Managing for Results*. Routledge (Rus. ed.: Druker, P. (1998). *Effektivnoe upravlenie*. Moscow, FAIR-PRESS).
6. Schendel, D.E., Hatten, K.J. (1972). *Business Hilycy of Strategic Management: A Broader View for an Emerging Discipline*. Academy of Management Proceedings.
7. Hamel, G., Prahalad, C.K. (1996). *Competing for the Future*. Harvard Business Review Press (Rus. ed.: Khamel, G., Prakhlad, K. (2002). *Konkuriruiia za budushchee: sozдание rynkov zavtrashnego dnia*. Moscow, Olimp-biznes).
8. Kat'kalo, V.S. (2008). *Evolutsiia teorii strategicheskogo upravleniia [Evolution of the theory of strategic management]*. St Petersburg, Higher School of Management, Publishing House of St Petersburg State University.
9. Schumpeter, J.T (1911). *Theorie der wirtschaftlichen Entwicklung* (Rus. ed.: Shumpeter, I. (1982). *Teoriia ekonomicheskogo razvitiia*. Moscow, Progress).
10. Hayek, F.A. (1944). *The Road to Serfdom*. Routledge Press. (Rus.ed.: Khaiek, F.A. (1992). *Doroga k rabstvu*. Moscow, Ekonomika).
11. Hammer, M., Champy, M. (2006). *Reengineering the Corporation: A Manifesto for Business Revolution*. Collins Business Essentials (Rus.ed.: Khammer, M., Champi, Dzh. (2006). *Reinzhiniring korporatsii. Manifest revoliutsii v biznese*. Moscow, Mann, Ivanov and Ferber).
12. Ansoff, I. (2007). *Strategic Management*. Palgrave Macmillan (Rus.ed: Ansoff, I. (1989). *Strategicheskoe upravlenie*. Moscow, Ekonomika).
13. Azoev, G.L. (1996). *Konkurentsii: analiz, strategii i praktika [Competition: Analysis, strategy, and practice]*. Moscow, Centre of Economics and Marketing.
14. Bagiev, G.L. (1999). *Marketing vzaimodeistviia: tovarnaia politika, konkurentosposobnost' tovara, strategicheskie resheniia [Relationship Marketing: Product Policy, competitive strengths of a product, strategic decision-making]*. St Petersburg, Publishing House of St Petersburg University of Economics and Finance.
15. Gorbashko, E.A. (1994). *Obespechenie konkurentosposobnosti promyshlennoi produktsii [Ensuring the competitiveness of industrial products]*. St Petersburg, Publishing House of St Petersburg University of Economics and Finance.
16. Demchenko, A.A., Kuz'bozhev, E.N. (2000). *Izmerenie konkurentosposobnosti predpriiatii otrasli: Teoriia i metody izmereniia [Evaluation of the competitiveness of industrial companies: Theory and evaluation methods]*. Kursk, GUIPP Kursk.
17. Zabelin, P.V., Moiseeva, N.K. (1998). *Osnovy strategicheskogo upravleniia [Fundamentals of strategic management]*. Moscow, Information and Implementation Centre Marketing.
18. Kraiukhin, G.A. (1996). *Metodika analiza deiatel'nosti predpriiatii v usloviakh rynochnoi ekonomiki [Methods for analysis of a company's performance in a market economy]*. St Petersburg.
19. Lipsits, I.V. (1996). *Konkurentosposobnost' rossiiskoi promyshlennosti [Competitive strengths of Russian industry]*. Moscow, Infomart Agency.
20. Misakov, V.S. (1998). *Analiz konkurentosposobnosti firmy [Analysis of the competitive position of a firm]*. Moscow, Finansy i statistika.
21. Mlotok, E. *Printsipy marketingovogo issledovaniia konkurentsii na rynke [Principles of conducting competitive research in a market]*. Available at: <http://www.marketing.spb.ru>.
22. Okrepilov, V.V. (1997). *Upravlenie kachestvom i konkurentosposobnost'iu [Quality Management and Management of Competitiveness]*. St Petersburg, Publishing House of St Petersburg University of Economics and Finance.



23. Rodionova, L.N., Kantor, O.G., Khakimova, Iu.R. (2000). Otsenka konkurentosposobnosti produktsii [Assessment of the competitive position of a product]. *Marketing v Rossii i za rubezhom [Marketing in Russia and Abroad]*, No 1, 63–77.
24. Fatkhutdinov, R.A. (2005). *Upravlenie konkurentosposobnost'iu organizatsii [Managing organizational competitiveness]*. Moscow, Eksmo.
25. Iudanov, A.Iu. (2001). *Konkurentsia: teoriia i praktika [Competition: Theory and Practice]*. Moscow, Gnom-Press.
26. Chesnokov, Iu.N., Lisienko, V.G., Lapteva, A.V. (2012). Razrabotkagrafovemissii dioksida ugleroda metallurgicheskimi predpriiatiami [Graph model for carbon dioxide emission by metallurgical enterprises]. *Metallurg [Metallurgist]*, No 12, 23–26.
27. Grebnev, E.T., Novikov, D.T., Zakharov, A.N. (2002). Analiz konkurentosposobnosti produktsii [Analysis of the competitive position of a product]. *Marketing v Rossii i za rubezhom [Marketing in Russia and Abroad]*, No 3 (29), 136–141.
28. Voskoboinikov, V.G., Kudrin, V.A., Iakushev, A.M. (1998). *Obshchaia metallurgia [General metallurgy]*. Moscow, Metallurgiiia.
29. Khokhlov, A.V. (2014). Spravochnye materialy po geografii mirovogo khoziaistva [Reference materials on the geography of the world economy]. *Statistical Digest, 2<sup>nd</sup> edition*. Available at: <http://www.vlant-consult.ru/files/mat-2015-issue-1.pdf>.
30. Makarov, M. (2012). Chernaia metallurgia Rossii: tekushchie rezul'taty i osnovnye napravleniia razvitiia [Ferrous metallurgy in Russia: Present results and main development trends]. *Proceedings of the 10<sup>th</sup> International Metals Summit in Russia*. Available at: [http://www.russtal.ru/uploads/files/documents/russtal2012metsummit/doklad\\_russtal\\_10\\_summit\\_20062012.pdf](http://www.russtal.ru/uploads/files/documents/russtal2012metsummit/doklad_russtal_10_summit_20062012.pdf).
31. Iusfin, Iu.S., Pashkov, N.F. (2007). *Metallurgia zheleza [Ferrous Metallurgy]*. Moscow, Akademkniga

### Information about the authors

**Lisienko Vladimir Georgiyevich** – Doctor of Technical Sciences, Professor of Automatics Department, Institute of Radioelectronics and Information Technologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: [lisienko@mail.ru](mailto:lisienko@mail.ru).

**Berg Dmitry Borisovich** – Doctor of Physics and Mathematics, Professor of Department of Analysis of Systems and Decision-Making, Graduate School of Economics and Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: [bergd@mail.ru](mailto:bergd@mail.ru).

**Krivorotov Vadim Vasilievich** – Doctor of Economics, Professor, Head of Department of Economics of Industrial and Energy Systems, Graduate School of Economics and

Management, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: [v\\_krivorotov@mail.ru](mailto:v_krivorotov@mail.ru).

**Chesnokov Yuri Nikolaevich** – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Automatics Department, Institute of Radioelectronics and Information Technologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: [ch\\_jur@mail.ru](mailto:ch_jur@mail.ru).

**Lapteva Anna Viktorovna** – Post-Graduate Student, Senior Teacher of Automatics Department, Institute of Radioelectronics and Information Technologies, Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russia (620002, Ekaterinburg, Mira street, 19); e-mail: [annalapteva@mail.ru](mailto:annalapteva@mail.ru).