

ISSN 0132 – 0890  
www.rudmet.ru

# ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издается с 1961 года  
(№ 1120)

04.2025

*Тема номера:*

*Производство чугуна, стали и ферросплавов (стр. 4-40)*



# ЧЕРНЫЕ МЕТАЛЛЫ

Издательский дом  
«Руда и Металлы»

№ 4 (1120), апрель 2025 г.

Издается с 1961 г.

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал  
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения

## Учредители:

Акционерное общество  
«Издательский дом  
«Руда и Металлы»

Федеральное государственное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Национальный исследовательский  
технологический университет «МИСИС»

Федеральное бюджетное автономное  
образовательное учреждение высшего  
профессионального образования  
«Магнитогорский государственный технический  
университет им. Г. И. Носова»

## При участии:

ПАО «ММК»  
ПАО «Ракетно-космическая корпорация «Энергия» имени С. П. Королева»  
ОАО «БМЗ — управляющая компания холдинга «БМК»  
ФГБУК «Государственный Эрмитаж»

Официальный информационный орган  
Федерального УМО  
«Технологии материалов»

## Редакционный совет:

Главный редактор: В. М. Колокольцев  
Первый зам. главного редактора: К. Л. Косырев  
Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников, А. Г. Воробьёв

А. М. Беленький, В. Блек (Германия), Ю. Л. Бобарикин (Беларусь), И. В. Буторина, Е. П. Волынкина, А. В. Выдрин, С. П. Галкин, Е. А. Голи-Оглу (Дания), Я. М. Гордон (Канада), Д. Г. Еланский, Н. А. Зюбан, И. Е. Илларионов, Л. М. Капуткина, А. А. Казаков, А. П. Коликов, С. В. Коновалов, А. Г. Корчунов, А. В. Кушнарев, И. О. Леушин, И. П. Мазур, Т. Н. Матвеева, А. В. Мунтин, А. Е. Пелевин, Ю. Ю. Пиотровский, И. М. Потравный, А. Н. Савенок (Беларусь), А. В. Серебряков, И. А. Султангузин, А. Я. Травянов, А. С. Харченко, Н. А. Чиченёв, М. В. Чукин, И. В. Чуманов, А. Н. Шаповалов, П. Шеллер (Германия), Е. А. Яценко

## Редакция:

Зам. главного редактора: Е. В. Цирульников  
Ответственный секретарь: Е. Ю. Рахманова

*Журнал «Черные металлы» по решению ВАК Министерства науки и высшего образования РФ включен в «Перечень рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук, на соискание ученой степени доктора наук» по следующим научным специальностям: 2.5.6. Технология машиностроения; 2.5.7. Технологии и машины обработки давлением; 2.6.1. Металловедение и термическая обработка металлов и сплавов; 2.6.2. Металлургия черных, цветных и редких металлов; 2.6.3. Литейное производство; 2.6.4. Обработка металлов давлением; 2.6.5. Порошковая металлургия и композиционные материалы; 2.6.17. Материаловедение; 2.8.9. Обогащение полезных ископаемых.*

Издатель — АО «Издательский дом «Руда и Металлы»  
Адрес издателя: 119049, Москва, Ленинский просп., 6,  
стр. 2, МИСИС, оф. 622

Адрес редакции:  
• фактический: 119049, Москва, Ленинский проспект 6,  
стр. 2, МИСИС, оф. 617  
• почтовый: 119049, Москва, а/я № 71  
Телефон/факс: (495) 955-01-75  
Эл. почта: chernet@rudmet.ru, tsirulnikov@rudmet.ru

www.rudmet.ru

Ежемесячный научно-технический и производственный журнал  
по актуальным проблемам металлургии и машиностроения  
«Черные металлы» № 4 (1120), апрель 2025 г.  
Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере  
связи, информационных технологий и массовых коммуникаций  
(Свидетельство ПИ № ФС77-48681 от 28.02.2012 г.)  
Товарный знак и название «Черные металлы» являются исключительной  
собственностью Издательского дома «Руда и Металлы»  
Отпечатано с предоставленных готовых файлов  
в типографии «Канцлер»  
150044, Россия, Ярославль, ул. Полушкина Роща, 16, стр. 66А.  
Тел. (4852) 58-76-33  
Дата выхода в свет: 25.04.2025. Формат 60×90/8.  
Печ. л. 12. Offsetная печать. Бумага offsetная.  
Тираж 600 экз. Цена свободная

За достоверность рекламной информации ответственность несет рекламодатель  
За достоверность научно-технической информации ответственность несет автор  
Перепечатка материалов возможна только с письменного разрешения редакции  
При перепечатке ссылка на «Черные металлы» обязательна  
«Реклама» — материал публикуется на правах рекламы  
Публикуемые материалы не обязательно отражают точку зрения редакции  
и редсовета журнала

ISSN 0132-0890



9 770132 089006 >

Подписные индексы:  
12985 («Пресса России»)

## СОДЕРЖАНИЕ

### Агломерация

- Р. С. Мележик, Д. А. Власенко.* Исследование надежности и анализ повышения эффективности дробилки ДЧГ 900×700 с усовершенствованным приводом в условиях агломерационного цеха АМК ООО «ЮГМК» . . . . . 4

### Производство чугуна

- А. Г. Радюк, М. М. Скрипаленко, А. И. Терновых, А. В. Бугаков.* Исследование эффективности теплоизоляции наружной поверхности воздушной фурмы доменной печи . . . . . 11
- Д. Р. Ганин, В. В. Грицай, Е. А. Фукс.* Мероприятия для экономии кокса на тонну выплавляемого чугуна в условиях АО «Уральская Сталь» . . . . . 16

### Производство стали

- М. В. Кириличев, Н. А. Зюбан, Д. В. Руцкий, В. В. Галаган.* Влияние электромагнитного перемешивания на структуру и микроликвацию химических элементов в непрерывнолитых заготовках из стали 26ХГМФА . . . . . 22
- А. Т. Мамедов, В. Н. Джафарова.* Влияние ковшовой среды на угар легирующих элементов при производстве строительных сталей . . . . . 27

### Производство ферросплавов

- А. П. Шкирмонтов.* Энерготехнологические и конструктивные параметры при выплавке ферросплавов в электропечах углеродотермическим процессом. Часть 2. Увеличение размеров и массы оборудования ферросплавных печей. Анализ причин ухудшения работы печей . . . . . 33

### Прокатка и другие процессы ОМД

- С. А. Зайдес, Мань Зунг Буй.* Определение напряженного состояния в очаге деформации при обкатке заготовки из углеродистой стали на локальном участке . . . . . 41
- Д. В. Константинов, Н. Ш. Тютяряков, М. А. Шекшеев, Д. Г. Олейник, А. В. Ярославцев.* Сравнение основных схем обработки стальной арматуры знакопеременным изгибом с растяжением. . . . . 48

### Нанесение покрытий и защита от коррозии

- В. И. Болобов, В. С. Жуков, А. С. Цветков, Г. А. Тигранян, В. М. Кондратьева.* Использование метода магнитной анизотропии для установления границ стресс-коррозионного поражения и профилактики водородных повреждений трубных сталей . . . . . 55
- Е. И. Пряхин, В. А. Азаров.* Исследование защитных свойств фторопластовых полимерных составов на стальных образцах с целью перспективы их применения для внутренних покрытий магистральных газопроводов. . . . . 62

### Порошковая металлургия

- Н. Н. Сафронов, Р. А. Бикулов.* Получение порошкового интерметаллидного сплава системы Fe – Al электроэрозионным диспергированием . . . . . 67

### Экология и рециклинг

- С. А. Бахарев.* Применение комплексного акустического метода в процессах водоподготовки и водоотведения в агломерациях металлургических предприятий . . . . . 73
- И. В. Буторина.* Мариуполь — город-курорт или промышленный центр? . . . . . 83

### Подготовка специалистов и кадровая политика

- Т. Р. Гильманшина, И. В. Дубова, Н. А. Бахова, Т. В. Твердохлебова.* Стартапы – технология проектного обучения при подготовке бакалавров-металлургов . . . . . 89

### Хроника

- Коллеги — о плодотворном сотрудничестве с журналом «Черные металлы» . . . . . 40
- О выходе книги Е. С. Таракановой «Чарльз Гаскойн. На заре индустриальной эпохи». . . . . 95
- К юбилею Елены Сергеевны Таракановой . . . . . 96

# Мероприятия для экономии кокса на тонну выплавляемого чугуна в условиях АО «Уральская Сталь»

**Д. Р. Ганин**, доцент кафедры металлургических технологий и оборудования<sup>1</sup>, канд. техн. наук, эл. почта: dmrgan@mail.ru

**В. В. Грицай**, начальник производственно-технического отдела доменного цеха<sup>2</sup>

**Е. А. Фукс**, аспирант<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Новотроицкий филиал федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Новотроицк, Россия.

<sup>2</sup>АО «Уральская Сталь», Новотроицк, Россия.

<sup>3</sup>Национальный исследовательский технологический университет «МИСИС», Москва, Россия.

В себестоимости чугуна, производимого АО «Уральская Сталь», доля затрат на кокс составляет 33 %. В связи с этим выполнены исследования по поиску оптимальных для условий доменного цеха предприятия мероприятий, позволяющих сократить удельный расход кокса в доменных печах и увеличить их производительность. В результате анализа научной литературы и данных технических отчетов коксохимического производства, агломерационного и доменного цехов предприятия в качестве приоритетных мероприятий для достижения поставленной цели выбраны следующие: оптимизация гранулометрического состава кокса и повышение эффективности его грохочения; оптимизация гранулометрического состава агломерата и повышение эффективности его грохочения; увеличение расхода шихтовых материалов с высоким содержанием железа; повышение температуры дутья; замена двухконусного загрузочного устройства на бесконусное загрузочное устройство; установка системы регулирования расхода воздуха дроссельного типа на патрубке фурменного прибора доменной печи; применение цельнолитых медных фурм; оптимизация газодутьевого режима доменной печи. Рассчитана экономическая эффективность от внедрения указанных мероприятий для снижения удельного расхода кокса в доменном цехе АО «Уральская Сталь».

**Ключевые слова:** доменная печь, кокс, удельный расход кокса, производительность доменной печи, оптимизация гранулометрического состава, повышение температуры дутья, бесконусное загрузочное устройство.

**DOI:** 10.17580/chm.2025.04.03

## Введение

Известно, что главной статьёй затрат (до 60 %) в себестоимости чугуна, складываемой из стоимости сырья (агломерата, окатышей, железной руды и железорудного концентрата, известняка и др.) и топлива (кокса, природного газа и др.) за вычетом стоимости отходов производства (скрапа, колоники пыли и др.), расходов по переделу (заработной платы производственных рабочих, энергетических затрат, амортизации основных средств, износа сменного оборудования, текущего ремонта и содержания основных средств, перевозки и выгрузки грузов, разливки чугуна на разливочных машинах и др.), общезаводских расходов (затраты на управление предприятием и обслуживание цеха), является кокс [1–6]. Снижение расхода кокса на тонну выплавляемого чугуна сопровождается уменьшением потребности предприятий в коксующихся углях, запасов которых, по оценкам экономистов, при современном потреблении хватит на 50–60 лет; увеличением производительности доменной печи (ДП); улучшением качества чугуна [4].

Поэтому снижение удельного расхода кокса при выплавке чугуна в ДП является актуальной задачей для предприятий черной металлургии.

В себестоимости чугуна, производимого АО «Уральская Сталь», доля затрат на кокс составляет 33 %, что также весьма много, поэтому целью исследования являлся поиск оптимальных для условий доменного цеха (ДЦ) АО «Уральская Сталь»

мероприятий, позволяющих сократить удельный расход кокса в ДП и увеличить их производительность.

Для достижения поставленной цели выполнены:

- анализ влияния технологических факторов на удельный расход кокса и производительность ДП;
- изучение технологии производства и транспортировки кокса в ДЦ, технологии производства чугуна в ДЦ;
- анализ мероприятий, позволяющих сократить удельный расход кокса в ДП, и выбор среди них наиболее целесообразных для предприятия;
- расчет экономической эффективности от внедрения мероприятий для снижения удельного расхода кокса в ДЦ предприятия.

В состав печного участка ДЦ АО «Уральская Сталь» входят ДП № 2–4 с полезными объемами 1232, 1648 и 2015 м<sup>3</sup> соответственно (ДП № 1 с полезным объемом 1007 м<sup>3</sup> выведена из эксплуатации в мае 2022 г.). В **табл. 1** приведены основные технологические параметры работы ДП № 2–4 за два года два месяца по данным ежемесячных технических отчетов ДЦ и технологической инструкции [7].

Каменноугольный кокс сухого и мокрого тушения, используемый в доменном производстве предприятия, производят из низкосернистых углей (0,3–1,0 %) Кузнецкого, Печорского и Южно-Якутского бассейнов [8]. Ниже приведены качественные показатели кокса АО «Уральская Сталь» за исследуемый период.

Таблица 1

## Технологические параметры работы ДП № 2–4 АО «Уральская Сталь»

Параметр	Значение*		
	ДП № 2	ДП № 3	ДП № 4
Производство чугуна, т/сут	<u>1757–2197</u> 1992,1	<u>2879–3601</u> 3244,6	<u>2814–3103</u> 2943,4
Количество дутья, м <sup>3</sup> /мин	<u>1665–2116</u> 1954,8	<u>2668–2989</u> 2845,4	<u>2416–2917</u> 2571,6
Давление дутья, кПа	<u>180,4–259,9</u> 219,7	<u>207,9–239,3</u> 227,5	<u>185,3–246,1</u> 229,9
Давление газа под колошником, кПа	Не более 122,6	Не более 127,5	Не более 137,3
Температура дутья, °С	<u>1059–1149</u> 1115	<u>1099–1147</u> 1128	<u>1032–1093</u> 1069
Расход природного газа без обогащения дутья кислородом, м <sup>3</sup> /т чугуна	<u>114,5–177,7</u> 143,4	<u>112,5–166,2</u> 131,1	<u>78,2–115,7</u> 100,5
Коэффициент освоения природного газа с кислородом, м <sup>3</sup> /м <sup>3</sup>	0,5–0,6		
Теоретическая температура горения, °С	2000–2200		
Кинетическая энергия дутья на фурмах, кДж	45–50	70–80	85–100
Масса железорудных материалов в подаче, т	20–25	30–38	36–44
Доля кремния в чугуне, % (мас.)	0,4–0,7		
Доля серы в чугуне, % (мас.)	Не более 0,03		
Основность шлака V <sub>2</sub> = CaO:SiO <sub>2</sub>	1,05–1,10		
Доля MgO в шлаке, % (мас.)	4,0–8,5		
Суммарная основность шлака V <sub>3</sub> = (CaO + MgO):SiO <sub>2</sub>	1,20–1,28		
Число работающих фурм, ед.	14	18	20
Диаметр воздушных фурм, мм	160	150	160–170

\* В числителе — интервал изменения, в знаменателе — среднее значение

Наблюдается неоднородность гранулометрического состава металлургического кокса, используемого в доменной плавке «Уральская Сталь». Его равномерность оценивали с помощью коэффициента однородности кокса:

$$K = \frac{(60 - 80) + (40 - 60) + (25 - 40)}{(+80) + (-25)},$$

где (+80), (60–80), (40–60), (25–40), (–25) — содержание в коксе фракций +80 мм, 60–80 мм, 40–60 мм, 25–40 мм, (0–25) мм, %. Коэффициент однородности кокса находится в пределах  $K = 1,0 \div 3,8$ . Увеличение однородности кокса приводит к снижению его удельного расхода и повышению производительности ДП.

Качество кокса не всегда соответствует рекомендуемым требованиям по значениям показателей истираемости кокса  $M_{10}$  (кокс высокого качества для печей объемом 1000 м<sup>3</sup> должен удовлетворять требованиям  $M_{10} \leq 8$  %, для печей объемом 2000 м<sup>3</sup> —  $M_{10} \leq 7,5$ ) [8–12].

Значения показателей горячей прочности кокса CSR и его реакционной способности CRI в исследуемый период не отвечают рекомендуемым оптимальным значениям: для печей объемом 1000 м<sup>3</sup> CSR  $\geq 58$  %, CRI  $\leq 28$  %; для печей объемом 2000 м<sup>3</sup> CSR  $\geq 60$  % и CRI  $\leq 26$  % [8].

В результате анализа научной литературы, данных технических отчетов коксохимического производства (КХП), агломерационного и доменного цехов в качестве приоритетных мероприятий по экономии кокса на тонну выплавляемого на предприятии чугуна выбрали следующие:

## Качественные показатели кокса АО «Уральская Сталь»

Параметр	Значение*
Содержание, %: зола в коксе А	<u>10,9–11,7</u> 11,3
летучих веществ в коксе V	<u>0,50–0,75</u> 0,59
серы в коксе S	<u>0,36–0,52</u> 0,47
влаги в коксе W	<u>1,9–3,7</u> 3,0
Гранулометрический состав металлургического кокса, %: +80 мм	<u>17,3–55,8</u> 32,3
60–80 мм	<u>29,5–46,5</u> 40,2
40–60 мм	<u>8,6–28,2</u> 20,6
25–40 мм	<u>3,4–6,5</u> 4,3
–25 мм	<u>2,5–3,3</u> 2,7
Коэффициент однородности кокса K	<u>1,0–3,8</u> 2,4
Выход фракции кокса >25 мм после барабанного испытания $M_{25}$ , %	<u>85,2–88,9</u> 86,8
Индекс истираемости кокса $M_{10}$ , %	<u>6,9–9,2</u> 8,4
Индекс реакционной способности кокса CRI, %	<u>33,7–35,3</u> 34,5
Прочность кокса после реакции с двуокисью углерода CSR, %	<u>48,4–52,8</u> 50,2

\*В числителе — интервал изменения, в знаменателе — среднее значение

- 1) оптимизацию granulометрического состава кокса и повышение эффективности его грохочения;
- 2) оптимизацию granulометрического состава агломерата и повышение эффективности его грохочения;
- 3) увеличение расхода шихтовых материалов с высоким содержанием железа;
- 4) повышение температуры дутья;
- 5) замену двухконусного загрузочного устройства на бесконусное;
- 6) установку системы регулирования расхода воздуха дроссельного типа на патрубке фурменного прибора ДП;
- 7) применение фурм другой конструкции;
- 8) оптимизацию газодутьевого режима ДП.

1. Оптимизация granulометрического состава кокса и повышение эффективности его грохочения.

Влияние содержания фракции +80 мм в granulометрическом составе смеси металлургического кокса сухого и мокрого тушения на удельный расход скипового кокса в ДП № 2 приведено на рис. 1.

Согласно литературным данным [7, 13], уменьшение содержания в коксе фракции +80 мм на 1,0 % снижает расход кокса на 0,2 % и увеличивает производительность ДП на 0,2 %.

С целью сокращения содержания фракции +80 мм в металлургическом коксе в перегрузочном узле между конвейерами К-1б и К-2б, К-1а и К-2а, расположенными на участке транспортировки кокса из КХП в ДЦ, необходимо установить дробилки для додраблывания кокса.

Для условий ДП № 2 АО «Уральская Сталь», по данным графика (см. рис. 1), уменьшение содержания в металлургическом коксе фракции +80 мм на 1,0 % снижает удельный расход скипового кокса на 0,07 %.

2. Оптимизация granulометрического состава агломерата и повышение эффективности его грохочения.

В качестве второго мероприятия, позволяющего снизить удельный расход скипового кокса, рассмотрены оптимизация granulометрического состава агломерата и повышение эффективности его грохочения. Для этого предложена замена грохотов устаревшей конструкции на ДП № 3 и 4 на инерционные грохоты тяжелого типа ГИТ-51ДК разработки НПК «Механобр-техника», ранее установленные в ДЦ ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат».

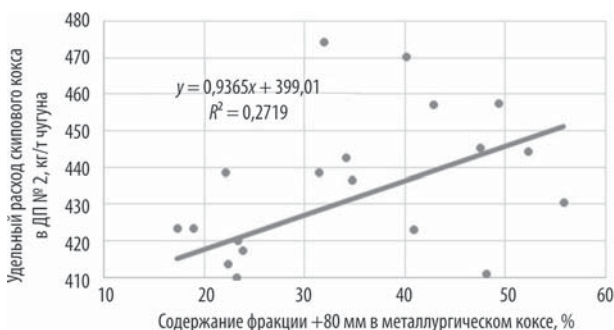


Рис. 1. Влияние содержания фракции +80 мм в смеси металлургического кокса сухого и мокрого тушения на удельный расход скипового кокса в ДП № 2

Известно, что на эффективность грохочения, наряду с другими факторами, оказывает влияние форма поперечных сечений отверстий сит, образуемая соседними перемычками [14–16], поэтому повысить эффективность грохочения можно путем применения грохотов не с круглыми отверстиями, а с щелевыми, имеющими в поперечном сечении трапециевидную форму с расширением вниз (рис. 2), обеспечивающую свободный проход зерен материала через сито после их попадания в отверстия [17].

В грохотах ГИТ-51ДК в качестве просеивающей поверхности установлены металлические перфорированные сита из специальной износостойкой марки стали АШН 80 с продолговатыми отверстиями размером 6,5×40 мм с расширением вниз, расположенными в виде «елочки» [18].

Площадь просеивающей поверхности такого грохота значительно превышает площадь просеивающей поверхности ранее эксплуатируемого. Снижение удельного расхода скипового кокса при уменьшении содержания фракции 5-0 мм в железорудной шихте и увеличении эффективности грохочения агломерата на каждый 1,0 % составит –0,5 %, а повышение производительности ДП — +1,0 % [13, 19].

3. Увеличение расхода шихтовых материалов с высоким содержанием железа.

Для снижения удельного расхода скипового кокса в ДП путем увеличения расхода шихтовых материалов с высоким содержанием железа (рис. 3) в условиях АО «Уральская Сталь» экономически оправданно использовать: скрап фракции 10–35 мм (количество которого увеличится при выходе на полную мощность трубопрокатного и колесопрокатного цехов); горячебрикетированное железо фракции 4–25 мм; окатыши производства Лебединского ГОКа; доменный присад и др.

По литературным данным [7, 13], уменьшение удельного расхода кокса при повышении массовой доли железа в шихте на каждый процент свыше 50 % составит 1,0–1,2 %, а увеличение производительности ДП — 1,7–2,0 %. Для условий ДП № 2 АО «Уральская Сталь», по данным графика (см. рис. 3), увеличение содержания железа в металлошихте на 1,0 % снижает удельный расход скипового кокса на 0,89 %.

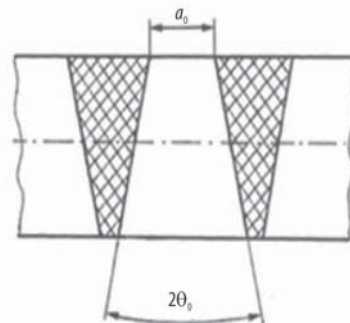
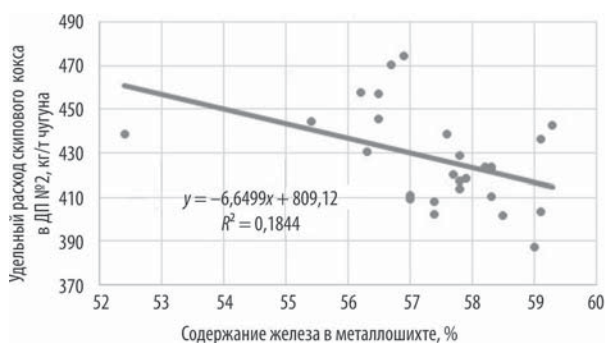


Рис. 2. Трапециевидная форма отверстий коксового грохота с расширением вниз [17]



**Рис. 3.** Влияние содержания железа в металлошихте на удельный расход скипового кокса в ДП № 2

#### 4. Повышение температуры дутья.

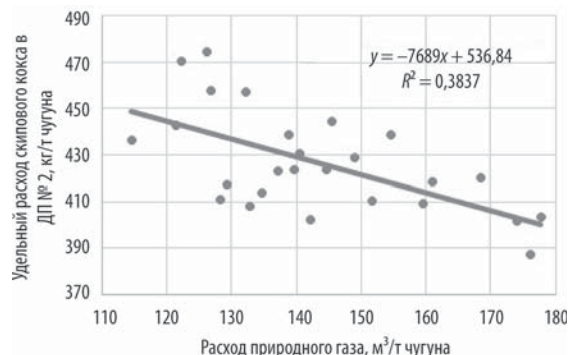
Известно, что повышение температуры дутья на каждые 10 °С вызывает снижение расхода кокса на 0,2–0,3 % и увеличение производительности ДП на 0,2–0,3 % [13].

Повысить температуру дутья можно подбором соотношения смеси природного и доменного газов на обогрев воздухонагревателей и количества воздуха на горение смеси; выбором длительности нахождения воздухонагревателей в режимах «на дутье» и «на нагреве»; с помощью установки плазмотрона [20]; заменой воздухонагревателей существующей конструкции на воздухонагреватели конструкции Я. П. Калугина [21].

В качестве возможного способа повышения температуры дутья рассматривали установку в фурменных приборах ДП плазмотронов для нагрева дутья, как на печах завода Uskange (Франция), где применение дополнительной электрической мощности (9,8 МВт) позволило повысить температуру дутья на 132 °С (до 1307 °С) при увеличении количества вдуваемого пылеугольного топлива на 43 кг/т чугуна, при этом расход кокса снизился на 54 кг/т чугуна, а производительность ДП возросла на 10 % [20]. Такой способ повышения температуры дутья был отвергнут из-за сложности реализации и отсутствия сведений о широком промышленном использовании.

Повысить температуру дутья можно путем замены существующих в ДЦ воздухонагревателей на воздухонагреватели конструкции Я. П. Калугина. Несмотря на большие затраты (стоимость замены одного воздухонагревателя составляет 1,5 млрд руб.), они имеют ряд преимуществ по сравнению с существующими: позволяют значительно снизить капитальные затраты и затраты на ремонты в результате увеличения межремонтного периода, делают возможным увеличение температуры нагрева дутья на 100–200 °С, работают без пульсирующего горения на всех режимах работы и др. [21]. Бесшахтные воздухонагреватели Я. П. Калугина хорошо встраиваются в существующие габариты блока при реконструкции, в них применяется типовое оборудование. В условиях АО «Уральская Сталь» для получения максимальной выгоды целесообразна замена воздухонагревателей целым блоком.

5. Замена двухконусного загрузочного устройства на бесконусное.



**Рис. 4.** Влияние удельного расхода природного газа на удельный расход скипового кокса в ДП № 2

Пятым мероприятием, направленным на снижение удельного расхода скипового кокса, является оптимизация интенсивности плавки путем равномерного распределения материалов по сечению ДП № 2, что можно обеспечить при замене существующего двухконусного загрузочного устройства на бесконусное, например, лоткового типа или с роторным распределителем шихты отечественной конструкции [21, 22]. Снижение удельного расхода скипового кокса при использовании бесконусного загрузочного устройства составит 4,1–4,4 %, а увеличение производительности ДП — 4,3–4,7 %.

6. Установка системы регулирования расхода воздуха дроссельного типа на патрубок фурменного прибора ДП.

Установка системы регулирования расхода воздуха дроссельного типа на патрубок фурменного прибора ДП [20] позволит уменьшить расход скипового кокса на 0,3 % и увеличить производительность ДП на 0,3 %.

7. Применение цельнолитых медных воздушных фурм.

Применение воздушных фурм другой конструкции, например медных (>94 % Cu), изготавливаемых центробежным литьем воздушных фурм с повышенным сроком службы [4, 20], в которых за счет высокой технологичности материала достигаются максимальная однородность и отсутствие микропор, позволит увеличить срок службы фурм, уменьшить расход скипового кокса на 0,5 % и увеличить производительность ДП на 1,5 %.

8. Оптимизация газодутьевого режима ДП.

Удельный расход скипового кокса будет уменьшаться при вдувании в ДП природного газа (в результате чего снижается степень прямого восстановления) (рис. 4).

Повышение удельного расхода природного газа на 1 м<sup>3</sup>/т чугуна позволяет уменьшить удельный расход скипового кокса (при расходе 100–150 м<sup>3</sup>/т коэффициент замены кокса природным газом составляет 0,6 кг/м<sup>3</sup>) [7, 13].

При снижении удельного расхода кокса увеличивается производительность ДП.

Результаты оценки экономической эффективности от внедрения восьми рассмотренных мероприятий для экономии кокса на тонну чугуна в ДЦ предприятия представлены в табл. 2. При этом учтена возможность ввода в эксплуатацию ДП № 1 после капитального ремонта.

Таблица 2

**Оценка экономической эффективности от внедрения мероприятий для экономии кокса на 1 т чугуна в ДЦ предприятия**

Мероприятие	Номер ДП для реализации мероприятия	Снижение удельного расхода скипового кокса, %	Увеличение производительности ДП, %	Затраты, млн руб.	Срок окупаемости, лет
Оптимизация гранулометрического состава кокса и повышение эффективности грохочения	1–4	0,2	0,2	150	0,25
Оптимизация гранулометрического состава агломерата и повышение эффективности грохочения	3, 4	0,5	1,0	120	0,15
Увеличение расхода шихтовых материалов с высоким содержанием железа	1–4	0,89	1,7–2,0	15	0,1
Повышение температуры дутья (замена блока воздухонагревателей на блок воздухонагревателей конструкции Я. П. Калугина)	1–4	0,2–0,3	0,2–0,3	6000	6,6
Замена двухконусного загрузочного устройства на бесконусное	1, 2, 4	4,1–4,4	4,3–4,7	4500	3,8
Установка системы регулирования расхода воздуха дроссельного типа на патрубке фурменного прибора ДП	1–4	0,3	0,3	60	0,2
Применение медных цельнолитых воздушных фурм	1–4	0,5	1,5	30	1,0
Оптимизация газодутьевого режима ДП	1–4	При расходе 100–150 м <sup>3</sup> /т коэффициент замены кокса природным газом составляет 0,6 кг/м <sup>3</sup>	–	55	0,4


**Заключение**

1. Выполнен анализ влияния технологических факторов на удельный расход кокса и производительность ДП в АО «Уральская Сталь».

2. Рассмотрены и изучены мероприятия, позволяющие сократить удельный расход кокса в ДП; среди них выбраны наиболее целесообразные для предприятия.

3. Рассчитана экономическая эффективность от внедрения мероприятий для снижения удельного расхода кокса в ДЦ предприятия.

4. Наиболее оптимальными мероприятиями для снижения удельного расхода скипового кокса в ДП АО «Уральская Сталь» в отношении затрат, окупаемости, простоты осуществления будут:

- увеличение расхода шихтовых материалов с высоким содержанием железа (скрап фракции 10–35 мм, горячебрикетированное железо фракции 4–25 мм, окатыши производства АО «Лебединский ГОК», доменный присад и др.);
- оптимизация гранулометрического состава агломерата и повышение эффективности грохочения;
- оптимизация гранулометрического состава кокса и повышение эффективности грохочения;
- оптимизация газодутьевого режима ДП;
- применение медных цельнолитых воздушных фурм;
- установка системы регулирования расхода воздуха дроссельного типа на патрубке фурменного прибора ДП. 

**В работе принимали участие студенты М. А. Вишневский, А. О. Зройчикова, К. А. Комеренко, М. И. Мачнев, И. М. Новиков, И. А. Родионов.**

**Библиографический список**

1. Ефименко Г. Г., Гиммельфарб А. А., Левченко В. Е. *Металлургия чугуна*. — Киев : Вища школа, 1974. — 488 с.
2. Борисов А. Ф. *Советы начальнику доменного цеха*. — М. : Фирма «Прогресс», 1996. — 256 с.
3. Коротич В. И., Набойченко С. С., Сотников А. И., Грачев С. В. и др. *Металлургия : учебник для вузов*. — Екатеринбург : УГТУ, 2001. — 395 с.
4. Плискановский С. Т., Полтавец В. В. *Оборудование и эксплуатация доменных печей*. — Днепропетровск : Пороги, 2004. — 495 с.
5. Дмитриев А. Н., Шумаков Н. С., Леонтьев Л. И., Онорин О. П. *Основы теории и технологии доменной плавки*. — Екатеринбург : УрО РАН, 2005. — 545 с.
6. Тарасов В. П., Тарасов П. В. *Теория и технология доменной плавки*. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 384 с.
7. *Производство чугуна. Технологическая инструкция ТИ 13657842-Д-01-2022*. — Новотроицк : АО «Уральская Сталь», 2022. — 80 с.
8. Ганин Д. Р., Фукс А. Ю. *Анализ влияния качества кокса на производство чугуна в условиях АО «Уральская Сталь» // Черные металлы*. 2021. № 2. С. 4–9.
9. Guo J., Shen Y., Wang M., Kong J. et al. *Impact of chemical structure of coal on coke quality produced by coals in the similar category // Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2022. Vol. 162. 105432.
10. Liu L., Yang S., Liu S., Du W. et al. *Prediction of coke quality based on improved WOA-LSTM // Journal of Chemical Industry and Engineering*. 2022. Vol. 73. No. 3. P. 1291–1299.

11. Zheng H., Xu R., Zhang J., Li C. et al. A comprehensive review of characterization methods for metallurgical coke structures // *Materials*. 2022. Vol. 15. 174. DOI: 10.3390/ma15010174.
12. Stephan B., Tubazhanova A. Impact of chemical structure of coal on coke quality produced by coals in the similar category // *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2022. Vol. 162. 105432
13. Товаровский И. Г., Меркулов А. Е. Нормативная оценка влияния параметров доменной плавки на расход кокса и производительность // *Металлургия чугуна – вызовы XXI века : Труды VIII Международного конгресса доменщиков*. — М. : Кодекс, 2017. С. 111–122.
14. Вайсберг Л. А., Устинов И. Д. Введение в технологию разделения минералов. — СПб. : Русская коллекция, 2019. — 168 с.
15. Вайсберг Л. А., Кононов О. В., Устинов И. Д. Основы геометаллургии. — СПб. : Русская коллекция, 2020. — 376 с.
16. Андреев Е. Е., Тихонов О. Н. Дробление, измельчение и подготовка сырья к обогащению. — СПб. : Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет). 2007. — 439 с.
17. Вайсберг Л. А., Картавый А. Н., Коровников А. Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / под ред. Л. А. Вайсберга. — СПб. : Изд-во ВСЕГЕИ, 2005. — 252 с.
18. Вайсберг Л. А., Коровников А. Н., Трофимов В. А. Модернизация систем шихтоподачи доменных цехов // *Металлургия чугуна – вызовы XXI века : Труды VIII Международного конгресса доменщиков*. — М. : Кодекс, 2017. С. 265–269.
19. Фролов Ю. А. Агломерация. Технология. Теплотехника. Управление. Экология. — М. : Metallurgizdat, 2016. — 672 с.
20. Коршиков Г. В. Энциклопедический словарь-справочник по металлургии. — Липецк : Липецкое издательство Госкомпечати РФ, 1998. — 779 с.
21. Ткачев М. Ю., Сидоров В. А. Инновационное оборудование доменного производства: учебное пособие. — Москва; Вологда : Инфра-Инженерия, 2023. — 156 с.
22. Авдеев В. А., Шайнович О. И., Ясаков Е. И., Марченко А. В. Современные загрузочные устройства доменных печей. — М. : Металлургия, 1994. — 64 с.

“Chernye metally”, 2025, No. 4, pp. 16–21  
DOI: 10.17580/chm.2025.04.03

### Measures to save coke per ton of pig iron in the conditions of Ural Steel

#### Information about authors

**D. R. Ganin**, Cand. Eng., Associate Prof., Dept. of Metallurgical Technologies and Equipment<sup>1</sup>, e-mail: dmrغان@mail.ru;

**V. V. Gritsay**, Head of the Production and Technical Dept. of the Blast Furnace Shop<sup>2</sup>

**E. A. Fuks**, Postgraduate Student<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Novotroitsk branch of NUST MISIS, Novotroitsk, Russia.

<sup>2</sup> Ural Steel, Novotroitsk, Russia.

<sup>3</sup> National University of Science and Technology MISIS, Moscow, Russia.

**Abstract:** In the cost of pig iron produced by JSC “Ural Steel”, the cost of coke is 33 %, in connection with which the aim of the study was to find the optimal measures for the conditions of the blast furnace shop of the enterprise, allowing to reduce the specific consumption of coke in blast furnaces and increase their productivity. As a result of the analysis of scientific literature and technical reports on the coke and chemical production, agglomeration and blast furnace shops of the enterprise, the following were selected as priority measures to achieve the set goal: optimization of the particle size distribution of coke and increase in the efficiency of its screening; optimization of the particle size distribution of agglomerate and increase in the efficiency of its screening; increase in the consumption of charge materials with a high iron content; increase in the blast temperature; replacement of the double-cone loading device with a bell-less one; installation of a throttle-type air flow control system on the nozzle of the blast furnace tuyere device; use of solid copper tuyeres; optimization of the blast furnace gas-blowing mode. The economic efficiency of implementing the specified measures to reduce the specific coke consumption in the blast furnace shop of JSC “Ural Steel” has been calculated.

**Key words:** blast furnace, coke, specific coke consumption, blast furnace productivity, optimization of particle size distribution, increase in blast temperature, bell-less loading device.

**Students M. A. Vishnevsky, A. O. Zroychikova, K. A. Komerenko, M. I. Machnev, I. M. Novikov, I. A. Rodionov took part in the work.**

#### References

1. Efimenko G. G., Gimmelfarb A. A., Levchenko V. E. *Metallurgy of pig iron*. Kiev : Vishcha shkola, 1974. 488 p.
2. Borisov A. F. Advice to the head of the blast furnace shop. Moscow : Firma “Progress”, 1996. 256 p.
3. Korotich V. I., Naboychenko S. S., Sotnikov A. I., Grachev S. V. et al. *Metallurgy : textbook for universities*. Yekaterinburg : USTU, 2001. 395 p.
4. Pliskanovsky S. T., Poltavets V. V. *Equipment and operation of blast furnaces*. Dnepropetrovsk : Porogi, 2004. 495 p.
5. Dmitriev A. N., Shumakov N. S., Leontyev L. I., Onorin O. P. *Fundamentals of the theory and technology of blast furnace smelting*. Yekaterinburg : UrO RAN, 2005. 545 p.
6. Tarasov V. P., Tarasov P. V. *Theory and technology of blast furnace smelting*. Moscow : Internet Inzhiniring, 2007. 384 p.
7. *Cast iron production: Technological instruction TI 13657842-D-01–2022*. Novotroitsk : JSC Ural Steel, 2022. 80 p.
8. Ganin D. R., Fuks A. Yu. Analysis of the influence of coke quality on the production of pig iron in the conditions of JSC Ural Steel. *Chernye Metally*. 2021. No. 2. pp. 4–9.
9. Guo J., Shen Y., Wang M., Kong J. et al. Impact of chemical structure of coal on coke quality produced by coals in the similar category. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2022. Vol. 162. 105432.
10. Liu L., Yang S., Liu S., Du W. et al. Prediction of coke quality based on improved WOA-LSTM. *Journal of Chemical Industry and Engineering*. 2022. Vol. 73. No. 3. pp. 1291–1299.
11. Zheng H., Xu R., Zhang J., Li C. et al. A comprehensive review of characterization methods for metallurgical coke structures. *Materials*. 2022. Vol. 15. 174. DOI: 10.3390/ma15010174.
12. Stephan B., Tubazhanova A. Impact of chemical structure of coal on coke quality produced by coals in the similar category. *Journal of Analytical and Applied Pyrolysis*. 2022. Vol. 162. 105432
13. Tovarovsky I. G., Merkulov A. E. Normative assessment of the influence of blast furnace smelting parameters on coke consumption and productivity. *Iron metallurgy – challenges of the 21<sup>st</sup> century: proceedings of the VIII International Congress of Blast Furnacemen*. Moscow : Kodeks, 2017. pp. 111–122.
14. Vaisberg L. A., Ustinov I. D. Introduction to the technology of mineral separation. Saint Petersburg : Russkaya kolleksiya, 2019. 168 p.
15. Vaisberg L. A., Kononov O. V., Ustinov I. D. Fundamentals of geometallurgy. Saint Petersburg : Russkaya kolleksiya, 2020. 376 p.
16. Andreev E. E., Tikhonov O. N. *Crushing, grinding and preparation of raw materials for beneficiation*. Saint Petersburg : Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University). 2007. 439 p.
17. Vaisberg L. A., Kartavy A. N., Korumnikov A. N. *Screening surfaces of screens. Designs, materials, application experience*. Edited by L. A. Weisberg. Saint Petersburg : Izdatelstvo VSEGEI, 2005. 252 p.
18. Vaisberg L. A., Korumnikov A. N., Trofimov V. A. Modernization of charge feeding systems of blast furnace shops. *Iron metallurgy – challenges of the 21<sup>st</sup> century: proceedings of the VIII International Congress of Blast Furnacemen*. Moscow : Kodeks, 2017. pp. 265–269.
19. Frolov Yu. A. *Agglomeration. Technology. Heat engineering. Management. Ecology*. Moscow : Metallurgizdat, 2016. 672 p.
20. Korshikov G. V. *Encyclopedic dictionary-reference book on metallurgy*. Lipetsk : Lipetskoe izdatelstvo Goskompechati RF, 1998. 779 p.
21. Tkahev M. Yu., Sidorov V. A. *Innovative equipment for blast furnace production: tutorial*. Moscow; Vologda : Infra-Inzheneriya, 2023. 156 p.
22. Avdееv V. A., Shaynovich O. I., Yasakov E. I., Marchenko A. V. *Modern feeding devices for blast furnaces*. Moscow : Metallurgiya, 1994. 64 p.