

УДК 669.162.215.244

УПРАВЛЕНИЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ ПРИ ВДУВАНИИ ПУТ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИИ ТЕРМОЗОНДОВ

Ю. С. Семенов^{1,2}, Е. И. Шумельчик^{1,2}, В. В. Горупаха^{1,2},
А. М. Кузнецов³, А. В. Зубенко³, А. Г. Коваленко³

¹ Институт черной металлургии НАН Украины (г. Днепр, Украина),

² ООО «Научно-техническое предприятие ДЧМ» (г. Днепр, Украина),

³ ЧАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ) (г. Енакиево, Украина)

Показан современный опыт использования на доменных печах стационарных термозондов над уровнем засыпи шихты. Выполнены исследования влияния температуры загружаемой шихты на показания термозондов. На основе информации термозондов разработаны требования к распределению шихтовых материалов при вдувании в горн пылеугольного топлива.

Ключевые слова: доменная плавка, режим загрузки, термозонд, шихтовые материалы, температура газового потока, пылеугольное топливо.

В последние годы для оценки распределения интенсивности газового потока все шире применяются термозонды, которые устанавливаются над поверхностью засыпи шихты в доменной печи (ДП) по одному или нескольким радиусам колошника. Важное преимущество термозондов — непрерывное измерение температуры газов, что позволяет использовать получаемую информацию для оценки и корректировки режима загрузки ДП, а недостаток — изменение показаний при изменении уровня засыпи вследствие перемешивания и отклонения газового потока. Наиболее эффективны термозонды для управления радиальным распределением шихтовых материалов на ДП, оборудованных бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), где изменение уровня засыпи не используется в качестве инструмента управления распределением шихты. Для получения достоверных и стабильных показаний термозонды, как правило, располагают на расстоянии ~ 0,50 м от поверхности засыпи [1].

Объектами исследований явились ДП-3, оборудованная БЗУ, и ДП-5, оборудованная типовым конусным загрузочным устройством ЧАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ), оснащенные четырьмя охлаждаемыми азотом термозондами украинского производства, одной из положительных конструктивных особенностей которых, в отличие от конструкций большинства термозондов иностранного производства, является возможность объективного контроля степени развития периферийного газового потока: расстояние от стенки колошника до крайней периферийной термопары 50 мм, расстояние до второй термопары пристеночной зоны 310 мм. В некоторых публикациях встречаются противоречивые сведения о влиянии охлаждения термозондов на их показания. Так, исследования [2] влияния охлаждения термозондов на их показания путем периодического отключения подачи азота показали отсутствие существенных искажений показаний термопар, что противоречит

выводам работы [3]. Однако согласно исследованиям [4], охлаждение конструкции термозондов влияет только на показания крайней пристеночной термопары за счет отходящего азота. Данное утверждение требует дополнительных экспериментальных исследований с кратковременным отключением хладагента. Для объективной оценки температуры периферийного газового потока можно использовать средние значения, фиксируемые двумя крайними термопарами пристеночной зоны ДП. Охлаждение термозондов особенно необходимо при работе ДП на горячем агломерате, когда исключена возможность устойчивой и длительной работоспособности термозондов без охлаждения.

По результатам исследований авторами статьи на ДП, оборудованных термозондами прямоугольного поперечного сечения более 200 мм, установлено, что при распределении шихты лотковым БЗУ ее поток искажается при контакте с термозондами, что приводит к образованию в печи окружной неравномерности шихты [5, 6]. При контакте с термозондами потока шихты в секторах печи под зондами образуются углубления более 0,5 м, что приводит к неравномерному распределению шихты и газов по окружности печи. Термозонды, установленные на ДП-3 и ДП-5 ЧАО ЕМЗ, характеризуются меньшей шириной и приемлемы для контроля температуры поверхности шихты без искажения потока выгружаемых материалов [4, 5], что является главной положительной особенностью этих термозондов. Отметим, что до 2016 г. термозонды на ДП-3 и ДП-5 уже эксплуатировали более 1,5 лет и их показания носили устойчивый характер.

Распределение шихтовых материалов по радиусу печи — основной фактор, влияющий на распределение температуры газового потока над поверхностью шихты [7]. В течение пяти анализируемых месяцев работы ДП-3 в программу загрузки изменений не вносили, поэтому представляло определенный интерес установление влияния ряда факторов на распределение температуры газового потока. Анализ измене-

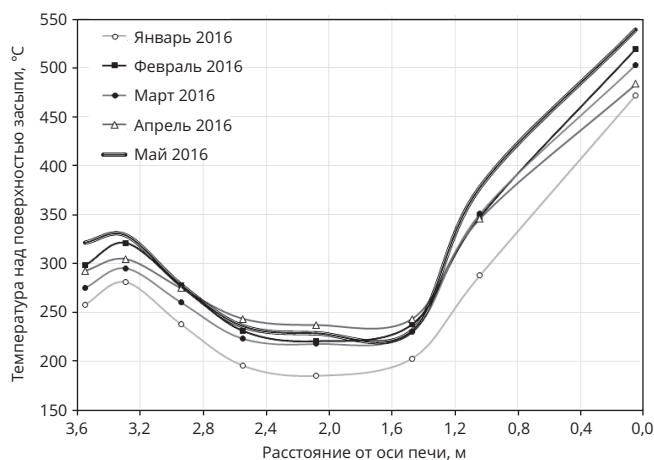


Рис. 1. Распределение температур газового потока над поверхностью засыпи, приведенных к одному радиусу ДП-3, за январь – май 2016 г.

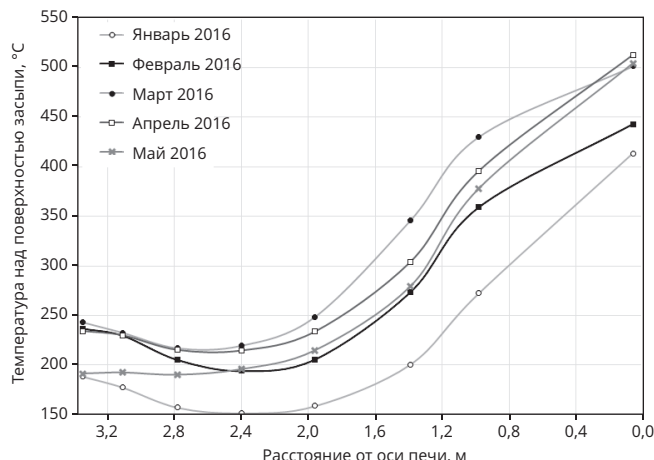


Рис. 3. Распределение температур газового потока над поверхностью засыпи, приведенных к одному радиусу ДП-5

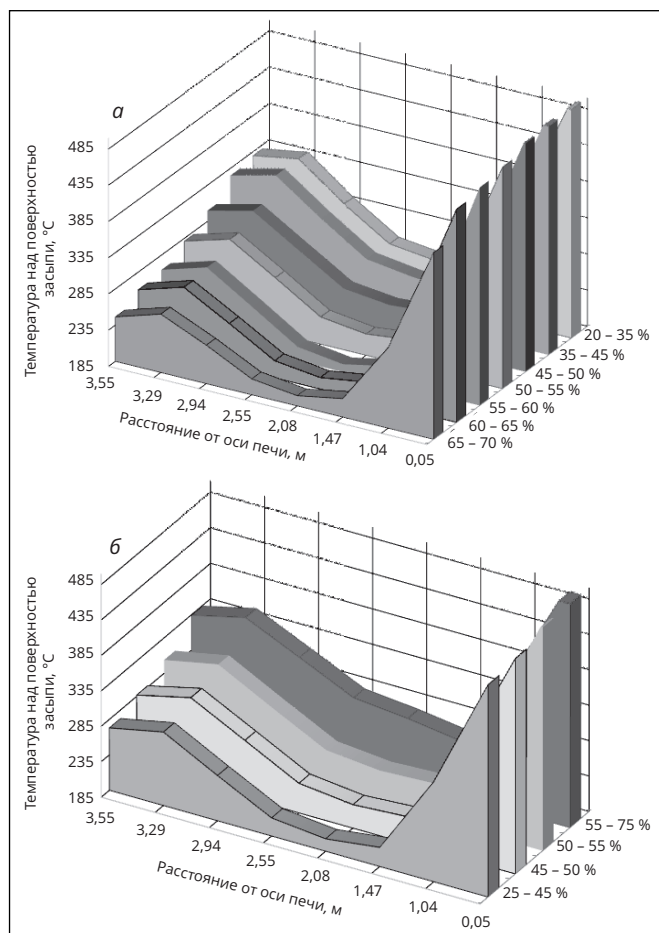


Рис. 2. Распределение температур газового потока над поверхностью засыпи ДП-3 при разных долях, %, в шихте: а — окатышей; б — агломерата (январь – май 2016 г.)

ния температур, приведенных к одному радиусу печи (рис. 1), показал, что в январе 2016 г., в отличие от остальных месяцев, наблюдались более низкие температуры газов при практически одинаковом характере их распределения по радиусу. Это связано с наибольшим количеством окатышей (58,6 %) в железорудной части шихты, используемых на ДП-3 в этот период.

Как отмечалось, сведения о влиянии температуры загружаемой шихты на показания термозондов противоречивы. В связи с этим проанализировали влияние количественного состава железорудных материалов с разной температурой при загрузке в ДП на распределение температур газового потока над поверхностью шихты. На рис. 2 представлены графики распределения температур при разных долях в шихте окатышей и горячего агломерата, соответственно. В связи с тем, что в мае 2016 г. в составе железорудного сырья использовали 19,8 % привозного агломерата производства ЮГОК, имеющего значительно меньшую температуру при загрузке в ДП, чем агломерат местного производства, влияние состава шихты на распределение температур газового потока исследовали отдельно для периодов с переменными долями окатышей (рис. 2, а) и горячего агломерата (рис. 2, б) местного производства.

Из рис. 2 следует, что в условиях постоянного распределения шихтовых материалов по радиусу при переменном содержании в шихте окатышей и горячего агломерата характер распределения температур по радиусу печи остается практически одинаковым, увеличиваются только абсолютные температуры с увеличением в шихте количества горячего агломерата.

Анализ изменения температур над поверхностью засыпи шихты ДП-5, приведенных к одному радиусу печи (рис. 3), так же как и на ДП-3, показал, что в январе, в отличие от остальных месяцев, наблюдаются более низкие температуры газов при практически одинаковом их распределении по радиусу. Это связано также с наибольшим количеством окатышей (68,0 %) в железорудной части шихты, используемым на ДП-5 в январе 2016 г. Установленные для условий ДП-3 особенности изменения распределения температур газового потока над поверхностью засыпи при разных долях в шихте агломерата местного производства были подтверждены при работе ДП-5 (рис. 4). Это свидетельствует о том, что эффективность контроля распределения газового потока и последующего принятия обоснованных управляющих воздействий не

определяется температурой загружаемой в ДП шихты. Подтверждением являются полученные с высокими коэффициентами корреляции зависимости (рис. 5) температур над поверхностью засыпи по радиусу ДП-3 от количества в составе железорудной части шихты горячего агломерата местного производства. Аналогичные результаты получены для ДП-5, что послужило основанием для их обобщения (рис. 6).

Следующим этапом исследований явилось определение рациональных диапазонов изменения температур газового потока по радиусу печи по информации от новых термозондов того же производителя, установленных на ДП-3 в сентябре 2016 г. после шоткретирования шахты (предшествующие термозонды прослужили два года). Анализ выполняли по среднесуточным температурам, приведенным к одному радиусу, в течение октября 2016 г. — лучшего по среднесуточному производству чугуна месяца работы ДП-3 за пять лет ее эксплуатации. Предварительно данные термозондов, регистрируемые два раза в минуту, проходили первичную обработку для исключения из анализа стоянок печи и периодов работы в режиме «догонки меры» (с низким уровнем засыпи). Из анализа исключали температуры, которые не находились в диапазоне от 100 до 950 °С, после чего определяли среднечасовые и среднесуточные температуры.

В качестве показателей распределения газового потока приняли отношения: температуры периферийной зоны (средняя температура двух пристеночных термопар термозондов № 1 и 2) к средней температуре по радиусу ($K_1 = T_{пф}/T_{ср}$); температуры центральной зоны (термопара № 8) к средней температуре по радиусу ($K_2 = T_{ц}/T_{ср}$); температуры промежуточной зоны (средняя температура термопар № 3 – 6) к средней температуре по радиусу ($K_3 = T_{пр}/T_{ср}$); температуры центральной зоны (термопара № 8) к температуре приосевой зоны (термопара № 7) ($K_4 = T_{ц}/T_{приос}$).

Для определения рациональных диапазонов изменения предложенных показателей распределения газового потока использовали показатель эффективности плавки $e = \frac{P_{отн}}{T_{отн}}$, где $P_{отн}$ — суточное производство ДП относительно среднего в анализируемом периоде; $T_{отн}$ — расход приведенного топлива (расход кокса + 0,9 от расхода коксового ореха + 0,95 от ПУТ + 0,9 от расхода ПГ) относительно его среднего значения в анализируемом периоде. По среднесуточным показателям распределения газового потока и показателя e , когда $e > 1,0$, были определены средние значения показателей $K_1 - K_4$. Диапазоны изменения $K_1 - K_4$, принятые в качестве рациональных, определяли согласно $K_i \pm \sigma$, где $i = 1 - 4$; σ — среднеквадратические отклонения значений показателей от их средних величин, удовлетворяющих условию $e \geq 1,0$ в анализируемой выборке. В результате расчетов получили рациональные диапазоны изменения показателей распределения газового потока: $K_1 = 0,85 - 0,95$; $K_2 = 1,6 - 2,15$; $K_3 = 0,74 - 0,87$; $K_4 = 1,60 - 2,10$.

В соответствии с полученными диапазонами при регулировании распределения газового потока по ра-

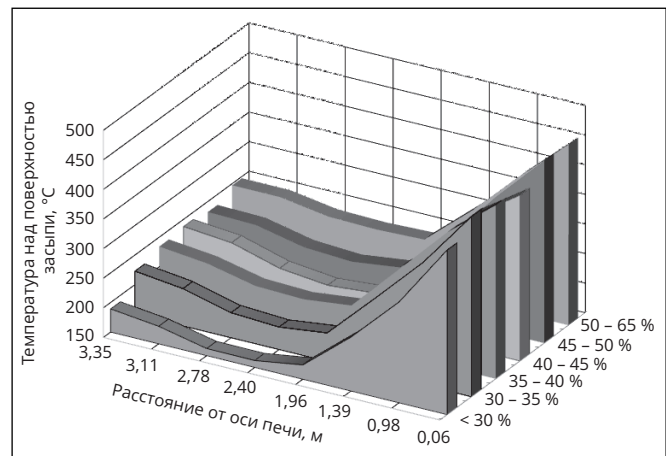


Рис. 4. Распределение температур газового потока над поверхностью засыпи ДП-5 при разных долях в шихте агломерата производства ЧАО ЕМЗ (январь – апрель 2016 г.)

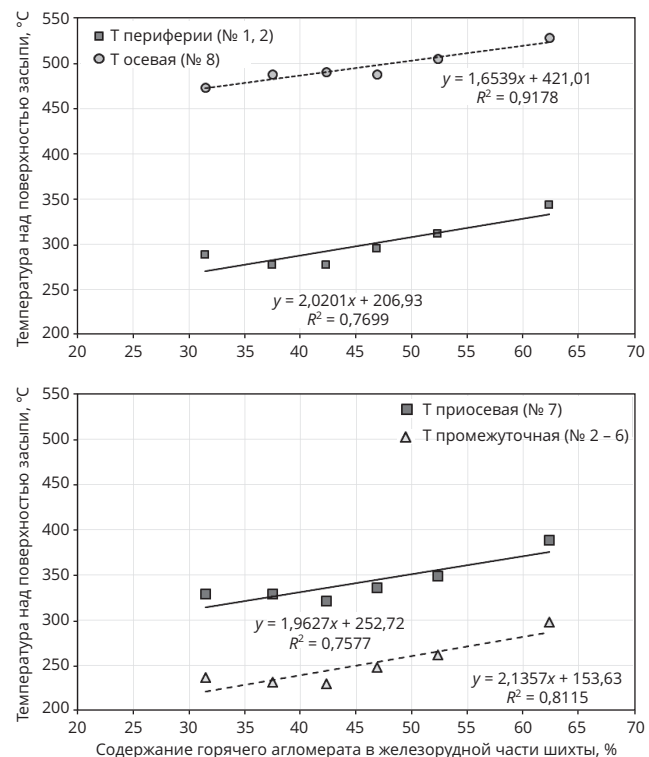


Рис. 5. Распределение температур газового потока над поверхностью засыпи ДП-3 при разных зонах от количества в шихте агломерата производства ЧАО ЕМЗ

диусу печи при вдувании в горн ПУТ для достижения приемлемых (заданных или высоких) ТЭП плавки в характерных для ЧАО ЕМЗ условиях необходимо обеспечить:

достаточную газопроницаемость периферийной зоны, не допуская излишней подгрузки ее железорудными материалами, которая может приводить к верхним подвисяниям и неровному сходу шихты (отношение средней температуры газов по двум пристеночным точкам термозондов к средней температуре по радиусу должно составлять 0,85 – 0,95);

развитое центральное газораспределение (температура газов над поверхностью засыпи шахты в центре

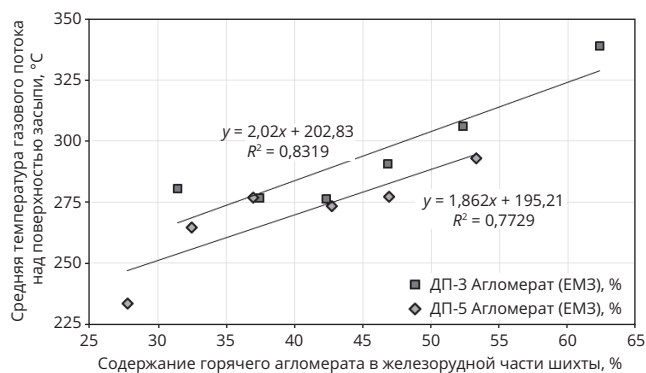


Рис. 6. Зависимости средней температуры газового потока над поверхностью засыпи ДП-3 и ДП-5 от количества в шихте агломерата производства ЧАО ЕМЗ

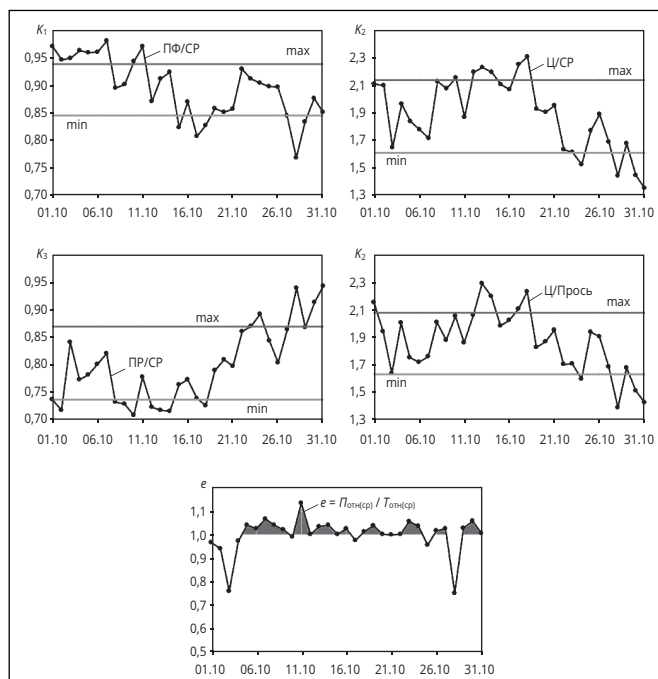


Рис. 7. Изменение среднесуточных значений показателей распределения газового потока $K_1 - K_4$ и показателя e в октябре 2016 г.

печи должна быть в 1,60 – 2,15 раза больше средней температуры);

развитие взаимного перетока газов между периферией и центром (отношение средней температуры газов промежуточной зоны (термопары термозондов № 3 – 6) к средней температуре по радиусу должно составлять 0,74 – 0,87);

при развитом центральном газораспределении для повышения экономичности плавки необходимо обеспечить узкую осевую коксовую отдушину (температура газов над поверхностью шихты на расстоянии 1,0 м от оси печи должна быть меньше температуры осевой зоны в среднем в 1,60 – 2,10 раза).

На рис. 7 представлено изменение среднесуточных значений показателей $K_1 - K_4$ и показателя e в октябре 2016 г. Из рис. 7 следует, что в течение анализируемого периода каждый из предложенных показателей периодически выходил за границы рациональных диапазо-

нов: K_1, K_2, K_3 и K_4 принимали допустимые значения в 61,3; 67,7; 54,8 и 71,0 % случаев соответственно.

В результате определения количества удовлетворяющих требованиям значений показателей можно заключить, что в течение октября 2016 г. распределение газового потока по радиусу печи характеризовалось рациональной величиной осевой отдушины при достаточно развитом центральном газораспределении, периферийная зона характеризовалась излишней интенсивностью газового потока в начале месяца, причинами этому явилась заключительная фаза раздувочного периода ДП после ремонта. Промежуточная зона была наиболее нестабильной — до середины октября ее можно охарактеризовать как газонапряженную с затрудненным перетоком газового потока вдоль радиуса при низких температурах газов над поверхностью шихты, а во второй половине и ближе к концу месяца — наоборот, излишне разгруженной с высокими температурами газового потока.

Из анализа изменения $K_1 - K_4$ следует также, что продолжительность выхода за пределы допустимых диапазонов значений показателей в анализируемом периоде не превышает трех суток работы печи, за исключением K_1 в начале месяца, причиной чего, как это было уже сказано, явилась заключительная фаза раздувочного периода. Основанием для изменения программы загрузки может служить более продолжительный выход показателей распределения газового потока за пределы рациональных диапазонов, например, 5 – 7 сут. Для точного определения количества суток работы ДП с непрерывным выходом показателей из допустимого диапазона, необходимого для принятия решений по корректировке программы загрузки, следует продолжать исследования. Разработанные требования к распределению газового потока и установленные рациональные диапазоны изменения предложенных показателей распределения были взяты авторами статьи за основу при составлении Атласа матриц загрузки, который включен в технологическую инструкцию по ведению доменной плавки ЕМЗ.

В ноябре 2016 г. после шоткретирования шахты ДП-5 на печи установили новые термозонды. В связи с чем определенный интерес представляет выполнение аналогичных исследований с установлением рациональных диапазонов изменения показателей распределения газового потока по радиусу ДП и разработки соответствующих рекомендаций по корректировке режимов загрузки. При ограниченных возможностях конусного засыпного аппарата подобные рекомендации будут основаны на изменении режимов загрузки с варьированием уровня засыпи, а также на использовании разных сочетаний прямых и обратных подач.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Исследованиями установлено, что эффективность контроля распределения температур газового потока над поверхностью шихты с использованием термозондов и последующего принятия обоснованных управ-

ляющих воздействий по изменению режима загрузки не определяется температурой загружаемой в доменную печь шихты, поскольку характер изменения распределения температур остается неизменным. Разработаны требования к распределению газового потока по радиусу печи, необходимые при его регулировании в условиях вдувания в горн пылеугольного топлива для достижения заданных или высоких ТЭП плавки в условиях ЕМЗ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Большаков В. И., Семенов Ю. С., Шумельчик Е. И.** и др. Использование информации о температуре над поверхностью засыпи шихты для контроля доменной плавки // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2015. № 3. С. 2 – 7.
2. **Брусов А. Л., Баланова Н. Г., Бориславский Б. Е.** и др. Работа стационарных охлаждаемых термозондов и компьютерной информационной системы для контроля за распределением температуры по диаметру колошника на доменных печах «Запорожстали» // *Производство чугуна на рубеже столетий : труды V междунар. конгр. доменщиков*. — Днепропетровск : Пороги, 1999. С. 405 – 407.
3. **Паршаков В. М., Тахаутдинов Р. С., Бодяев Ю. А.** и др. Контроль радиального газораспределения в оборудованных БЗУ доменных печах ММК с помощью многоточечных термозондов // *Сталь*. 2009. № 10. С. 16 – 19.
4. **Бориславский Б. Е., Баланова Н. Г., Бориславский А. Б.** и др. Современная автоматизированная система контроля распределения температурного поля газового потока по сечению колошника над уровнем засыпи в доменной печи // *Сб. тр. VI Междунар. конгресса по агло-коксо-доменному производству*, 20 – 24 мая 2013. С. 331 – 341.
5. **Большаков В. И., Семенов Ю. С., Шумельчик Е. И.** и др. Освоение энергосберегающей технологии загрузки доменной печи, оборудованной БЗУ, в конъюнктурных топливно-сырьевых и технологических условиях // *Сб. науч. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии»*. 2014. Вып. 28. С. 57 – 80.
6. **Bolshakov V. I., Semenov Yu. S., Ivancha N. G.** et al. Study of the Flow of Burden Materials and their Distribution on the Furnace Top of Modern Blast Furnace // *Metallurgical and Mining Industry*. 2012. Vol. 4. № 3. P. 158 – 165.
7. **Большаков В. И.** Технология высокоэффективной энергосберегающей доменной плавки. — Киев : Наукова думка, 2007. — 412 с.

ПОДПИСКА НА ЖУРНАЛ НА 2017 ГОД

Стоимость годовой подписки через издательство (12 номеров) без учета стоимости почтовых расходов — 14400 руб. (в т.ч. НДС — 10 %). Подписку можно оформить в издательстве на любое количество выпусков, начиная с любого месяца

Заявки на подписку отправлять по электронной почте: info@imet.ru, stal@imet.ru

Подписку можно также оформить через агентства:

ОАО «АРЗИ»: Объединенный каталог «Пресса России» (индекс 70877)

ОАО «Агентство «Роспечать»: Каталог «Газеты. Журналы» (индекс 79259)

ООО «Урал-Пресс» — тел.: (495) 789-8636

Адрес редакции:

127006, Москва, Старопименовский пер., д. 8, стр. 1-1А.
ООО «Интернет Инжиниринг» (издатель журнала «Сталь»)
Тел.: (495) 699-8369; (495) 699-9785
E-mail: stal@imet.ru