

ИНСТИТУТ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ ИМ. З. И. НЕКРАСОВА
НАЦИОНАЛЬНОЙ АКАДЕМИИ НАУК УКРАИНЫ

Семенов Юрий Станиславович

УДК 669.162.261.3.012.1.001.76(043)

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПРАВЛЕНИЯ ДОМЕННОЙ ПЛАВКОЙ НА
ОСНОВЕ КОНТРОЛЯ ПОВЕРХНОСТИ ЗАСЫПИ ШИХТЫ**

Специальность 05.16.02

Металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Днепропетровск – 2009

Диссертацией есть рукопись
Работа выполнена в Институте черной металлургии им. З. И. Некрасова
Национальной академии наук Украины, г. Днепропетровск

Научный руководитель: кандидат технических наук, старший научный
сотрудник
МУРАВЬЕВА Ирина Геннадиевна,
Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова
НАН Украины,
и.о. заместителя директора по научной работе

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
КОВШОВ Владимир Николаевич, Национальная
металлургическая академия Украины,
кафедра металлургии чугуна

кандидат технических наук, старший научный
сотрудник
БУЗОВЕРЯ Михаил Трофимович,
ООО «Объединение производителей чугуна»,
главный технолог

Защита состоится «30» октября 2009 г. в 14⁰⁰ на заседании специализированного
ученого совета К 08.231.01 Института черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН
Украины по адресу: 49050,
г. Днепропетровск, пл. Академика Стародубова, 1

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Института черной металлургии
им. З. И. Некрасова НАН Украины по адресу: 49050,
г. Днепропетровск, пл. Академика Стародубова, 1

Автореферат разослан «22» сентября 2009 г.

Ученый секретарь специализированного
ученого совета

Г. В. Левченко

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы. Возможность повышения эффективности доменной плавки в значительной степени определяется объемом информации о параметрах, характеризующих ход процесса. К их числу относятся параметры поверхности засыпи шихты, наиболее полная информация о которых может быть получена с помощью стационарных систем измерения профиля. Для использования этих систем на доменных печах важными задачами являются разработка научно-обоснованных требований к установке таких систем и создание методов расчета параметров поверхности засыпи шихты.

Установка на доменных печах современных профилемеров позволяет не только получать информацию о параметрах, характеризующих состояние поверхности засыпи шихты, но и открывает перспективы использования этой информации в автоматизированных системах управления распределением шихтовых материалов по радиусу и окружности колошника печи.

Управление окружным распределением шихты является одним из способов, обеспечивающих рациональное распределение газового потока по окружности печи и особо актуально для обеспечения долговечности футеровки доменной печи, а также для устранения нарушений работы печи по окружности, сопровождающихся перекосом профиля поверхности засыпи. Наиболее приемлемым является путь компенсации окружной неравномерности шихты с помощью приемов, использующих информацию систем измерения профиля поверхности засыпи, и приводящих к уменьшению имеющейся неравномерности распределения шихтовых материалов по окружности колошника.

Таким образом, разработка теоретических основ создания систем контроля поверхности засыпи шихты, а на их базе эффективных технологических приемов контроля хода процесса и управления им, позволяющих уменьшить энергозатраты на производство чугуна, является актуальной задачей.

Связь работы с научными программами, планами, темами. Работа выполнена в соответствии с тематическими планами научно-исследовательских работ Института черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины. Исследования проведены в рамках госбюджетных и хоздоговорных научно-исследовательских работ, №№ государственной регистрации: 0104U005827, 0105U002969, 0108U004463, 0108U001617, 0108U004464, в которых автор принимал участие в выполнении научных исследований и промышленном внедрении разработанных технологических требований к установке стационарных систем измерения профиля поверхности засыпи, методов расчета основных параметров поверхности засыпи на колошнике доменной печи и способа управления окружным распределением шихты.

Цель работы и задачи исследования. Целью работы является совершенствование управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике доменной печи, разработка научно-обоснованных технологических требований к установке стационарных систем измерения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи и методической базы расчета параметров поверхности засыпи.

Задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

- выполнить анализ методов и средств контроля профиля поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи, а также приемов управления окружным распределением шихтовых материалов;
- разработать требования к количественному составу и расположению измерителей в составе систем измерения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике доменных печей, оборудованных конусными (КЗУ) и бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ);
- разработать методы расчета параметров поверхности засыпи шихты;
- определить диапазоны изменения граничных углов откоса поверхности засыпи шихтовых материалов в доменной печи, выполнить исследования влияния программ загрузки шихтовых материалов на формирование профиля поверхности засыпи и характер изменения скоростей опускания шихтовых материалов по сечению печи;
- выполнить оценку влияния существующих приемов управления окружным распределением шихтовых материалов на формирование профиля засыпи шихты; разработать прием автоматизированного управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике с использованием информации профилемера.

Объект исследования. Процессы формирования и изменения поверхности засыпи шихтовых материалов на колошнике доменной печи при различных технологических условиях плавки.

Предмет исследования. Контроль и управление распределением шихтовых материалов на колошнике доменной печи с использованием информации стационарных систем измерения профиля поверхности засыпи шихты.

Методы исследования. В работе использованы современные расчетные методы исследования, в том числе, математическое моделирование, экспериментальные исследования и промышленные испытания разработанных технических решений.

Научная новизна полученных результатов

На основе теоретических и экспериментальных исследований динамики формирования профиля поверхности засыпи

- впервые установлено, что скорости опускания шихты в различных сечениях колошника, характеризующие движение столба, следует рассчитывать через 25–40 секунд после окончания выгрузки, что положено в основу нового метода определения скоростей опускания шихтовых материалов по информации профилемера;
- получена аналитическая зависимость объема вытесненного железосодержащими материалами кокса по поверхности засыпи в направлении осевой зоны сечения колошника от геометрических параметров слоев шихтовых материалов и программы загрузки печи;
- впервые установлена зависимость показателя распределения шихтовых материалов на колошнике, выраженного отношением высот слоев железосодержащих материалов и кокса, от скорости опускания шихты,

рассчитанной на основе информации профилемера. Установленная зависимость положена в основу нового способа выравнивания окружного распределения шихтовых материалов в печи созданием заданной компенсационной неравномерности.

Практическую ценность работы составляют:

- технологические требования к установке систем измерения профиля поверхности засыпи шихты, реализованные в разработанных технологических заданиях и соответствующих рекомендациях;
- информационная система расчета и представления основных параметров поверхности засыпи шихты на колошнике, реализованная в составе АСУ ДП №9 и ДП №8 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог»;
- результаты экспериментальных исследований, позволившие с помощью системы измерения профиля поверхности засыпи установить углы ее наклона в различных радиусах и кольцевых зонах колошника печи, а также особенности изменения в них скоростей опускания шихтовых материалов;
- рекомендации по совершенствованию технологических приемов управления окружным распределением материалов в печи путем выбора варианта комбинаций интервалов времени между сменой направления вращения лоткового распределителя и вида материала в бункерах БЗУ;
- прием управления окружным распределением шихтовых материалов, реализованный в составе АСУ ДП №9. Использование приема позволяет обеспечить равномерное распределение шихты и газового потока по окружности печи и уменьшить удельный расход кокса.

Личный вклад автора. Обобщение результатов исследований, представленных в работе и публикациях, выполнено лично автором при консультационной помощи научного руководителя. В публикации [1] соискателем на основе анализа экспериментальных данных, полученных с помощью радиолокационной системы измерения профиля засыпи, оценено положительное влияние смены вида шихтовых материалов в бункерах БЗУ и направления вращения лоткового распределителя шихты на формирование профиля засыпи. В публикациях [2–6] соискателю принадлежит постановка экспериментов, обработка их результатов и установление диапазонов изменения углов откоса поверхности шихтовых материалов, определение возможных пределов изменения положения центральной точки профиля поверхности засыпи относительно оси печи и разработка подхода к определению положения этой точки, установление величины временного интервала расчета скоростей опускания поверхности шихты на колошнике для работы доменной печи с различными параметрами дутьевого и газодинамического режимов плавки; в публикации [7] – обобщение результатов исследований влияния на формирование слоев шихтовых материалов на колошнике углов наклона лотка БЗУ; в публикациях [8] – опыт реализации способа управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике доменной печи №9. В публикациях [9–19] соискателем выполнены: оценка средств и результатов измерения поверхности засыпи шихты, анализ технологических особенностей измерения профиля засыпи и перспектив использования информации об изменении

профиля поверхности засыпи для выбора управляющих воздействий на ход доменной плавки.

Апробация результатов работы. Основные положения и результаты работы доложены на 8 конференциях и семинарах, в том числе: IV и V Всеукраинской научно-технической конференции молодых ученых и специалистов (г. Киев, 2007 г., 2009 г.), Научно-практической конференции «Энергосберегающие технологии в промышленности» (г. Кривой Рог, 2008 г.), Научно-технической конференции «Молодая Академия» (г. Днепропетровск, 2004 г., 2005 г., 2007 г., 2008 г., 2009 г.).

Публикации. Основные положения диссертационной работы опубликованы в 19 научных статьях, из которых 16 – в научных журналах и сборниках, рекомендованных ВАК Украины, 4 – в сборниках научных работ конференций. Получен 1 патент на полезную модель и 2 патента на изобретения.

Структура и объем работы. Работа состоит из введения, пяти разделов и выводов, изложена на 192 страницах, из них 134 страницы общего объема, включает 24 таблицы, 49 рисунков и список используемых источников из 127 наименований.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность, определены цели и задачи исследований, освещены научная новизна и практическое значение полученных результатов, отмечен личный вклад автора, изложены результаты апробации разработок, приведены структура и объем работы.

В первом разделе выполнен анализ результатов промышленного и опытно-промышленного использования профилемеров различных конструкций и принципов действия, который показал, что в настоящее время наибольшее использование получили горизонтально перемещаемые зонды и системы со стационарно установленными измерителями, основанные на радиолокационном способе измерения. Преимущества систем со стационарно установленными измерителями, основанными на радиолокационном способе контроля, состоят в получении наиболее полной информации о состоянии поверхности засыпи шихты по сечениям печи и предоставляют возможность расчета параметров, с помощью которых может быть выполнена оценка характера изменения поверхности шихты во времени, достоверности информации в условиях запыленности и высоких температур, свойственных доменной плавке, и безопасности эксплуатации. Анализ результатов определения скоростей опускания шихтовых материалов на колошнике, выполненных, в основном, на печах, оснащенных конусными загрузочными устройствами, показал, что характер их изменения по сечению колошника определяется ходом доменной печи. Особенности средств контроля, которые используются для определения скоростей опускания шихты, не позволяют рассчитать скорости по всему сечению колошника печи и оценить динамику их изменения во времени. Анализ способов управления окружным распределением шихтовых материалов в доменных печах показал, что для каждой доменной печи характерно индивидуальное соотношение влияния различных факторов, создающих окружную неравномерность, а обоснование выбора способа эффективного управления окружным распределением шихты и газов в доменной печи с помощью

равномерного или направленного неравномерного качественного и количественного распределения шихты по окружности печи может быть выполнено на основе информации о состоянии поверхности засыпи шихты, получаемой профилемером.

Таким образом, на основе проведенного анализа и в соответствии с целью работы, определены задачи исследований.

Во втором разделе обоснован выбор параметров поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи, которые характеризуют процесс распределения и поведения шихтовых материалов на колошнике, и являются необходимым источником информации при разработке способов контроля, прогноза и управления ходом доменной плавки. Разработаны технологические положения представления информации о поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи, включающие следующие сведения: профиль поверхности засыпи шихты; углы откоса; глубину и смещение осевой воронки относительно оси печи; образованные за цикл загрузки слои шихтовых материалов; скорости опускания шихтовых материалов в различных сечениях колошника; изменения уровней засыпи по окружности колошника; отношение толщин слоев железосодержащих материалов и кокса.

Разработаны технологические требования к количественному составу радиолокационных измерителей систем контроля поверхности засыпи шихты, а также их расположению по сечению колошника доменных печей, оборудованных бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), которые в обобщенном представлении могут быть сформулированы следующим образом:

- количественный состав измерителей определяется условием контроля поверхности засыпи с дискретностью, исключающей наложение образуемых на поверхности пятен излучаемого сигнала;
- установка измерителей осуществляется из соображений получения информации по двум взаимно перпендикулярным диаметрам, один из которых, в зависимости от диаметра колошника и конструктивных особенностей купола печи, контролируют до 10 измерителей, а второй – не менее четырех измерителей, ориентированных в осевую и периферийную зоны печи;
- диаметр, контролируемый 10-ю измерителями, ориентирован под углом $\approx 20^\circ$ относительно диаметра устанавливаемых на печи средств контроля: термозондов и радиальных зондовых машин для отбора проб газа.

Разработаны технологические требования к количественному составу измерителей систем измерения профиля поверхности засыпи шихты по сечению колошника доменных печей, оборудованных конусными загрузочными устройствами (КЗУ), которые, в основном, аналогичны требованиям к установке систем на печах с БЗУ. Отличительным их признаком, связанным с конструктивными особенностями КЗУ, является установка измерителей, контролирующей осевую зону печи, с их ориентацией на противоположный склон воронки поверхности засыпи от места их установки.

При установке на печи с КЗУ дополнительных устройств регулирования окружного распределения шихты, расположение диаметров контроля поверхности засыпи должно предусматривать возможность оценки влияния этих устройств на распределение шихтовых материалов.

В соответствии с разработанными требованиями к установке измерителей выданы рекомендации на установку систем измерения профиля поверхности на ДП №1 ОАО «АМК» (рис. 1) и ДП №4 ОАО «ДМК», оборудованных БЗУ, а также разработаны технологические задания на установку систем измерения на ДП №9 и ДП №8 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», оборудованных БЗУ и КЗУ соответственно.

В третьем разделе описаны разработанные в соответствии с приведенными в разделе 2 работы технологическими положениями представления информации о поверхности засыпи шихты методы расчета параметров поверхности засыпи шихты по показаниям стационарной системы измерения профиля поверхности засыпи.

Метод определения профиля поверхности засыпи, в дополнение к полученным в результате измерений с помощью радиолокационной системы точкам поверхности засыпи, включает расчет положения центральной точки профиля поверхности засыпи.

Полученные по результатам измерений слои, образованные за цикл загрузки печи, корректируются с учетом массы фактически выгруженных порций в цикле загрузки, а также с учетом перераспределения кокса к осевой зоне сечения колошника при выгрузке на него железосодержащих компонентов шихты.

Для этого, на основе информации, полученной с помощью системы измерения профиля поверхности засыпи шихты, разработан метод определения объема вытесненного кокса по направлению к осевой зоне сечения колошника при выгрузке на него железосодержащих компонентов шихты. Результаты исследований с помощью радиолокационного профилемера показали, что профиль поверхности засыпи, образованный при различных программах загрузки после выгрузки порций кокса из угловых позиций лоткового распределителя 8-4 (7-3), в большинстве случаев имеет \sim – образную форму (вариант 1, рис. 2, а) или ∇ – образную форму (вариант 2, рис. 2, б).

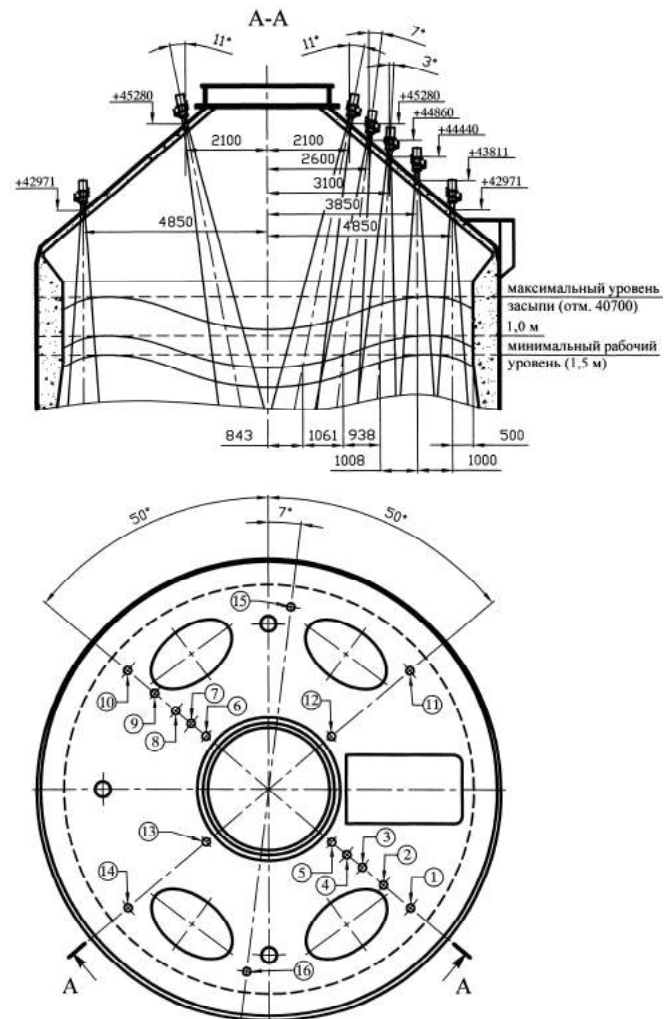


Рис. 1. Схема расположения измерителей уровней засыпи 1...16 по диаметрам колошника ДП №2 ОАО «Алчевский металлургический комбинат»

Основой для разработки метода определения объема вытесняемого кокса явились результаты исследований, в ходе которых установлено, что вытеснение кокса по направлению к осевой зоне сечения колошника с частичным его перемешиванием с железосодержащими материалами происходит во время выгрузки железосодержащих материалов на слой кокса, начиная с 6-5-го угловых положений лоткового распределителя. При математическом описании процесса вытеснения кокса принято, что выгружаемая на поверхность кокса порция железосодержащих материалов вытесняет часть его объема, который сосредотачивается в осевой зоне (фигура def), причем поверхность вытесненного кокса, описываемая отрезком de, пересекается с профилем поверхности засыпи (профиль описывается отрезками ac и cf), образованным после выгрузки железосодержащих материалов в точке, лежащей на оси печи (точка e). Для двух вариантов формирования поверхностей, образованных после выгрузки порций железосодержащих материалов на кокс, получены математические зависимости, позволяющие по геометрической конфигурации образованных в результате выгрузки слоев шихтовых материалов определить долю вытесненного под воздействием веса железосодержащих материалов кокса.

Метод определения объема вытесненного кокса состоит из следующей последовательности операций:

1. Определение с помощью профиломера формы слоев шихты, образованных в результате выгрузки железосодержащих материалов на кокс.
2. Для условий образования формы профиля поверхности засыпи, представленной на рис. 2, а, определяется граничная точка b фигуры, описывающей объем вытесненного кокса, и находящейся на пересечении отрезков bh и a'h. Неизвестный параметр bh определяется в результате решения системы уравнений (1) – (3).

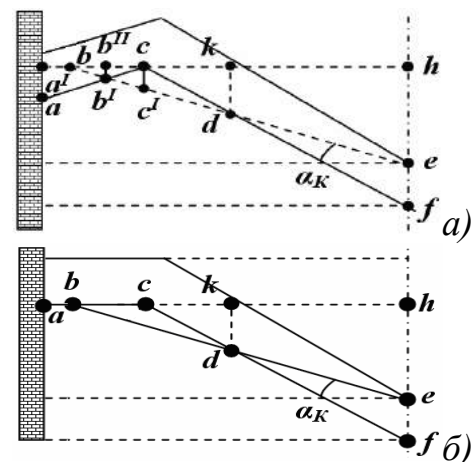


Рис. 2. Схемы к определению объема вытесненного кокса для вариантов 1 (а) и 2 (б) профиля поверхности засыпи.

$$V_{b'cd} = -\frac{2 \cdot \pi}{(ch - x_{b'})} \cdot \left[\frac{(ch^2 - x_{b'}^2) \cdot (ch \cdot (y_{b'} - cc') - x_{b'} \cdot y_{b'} - (y_{b'} - cc') \cdot (ch - x_{b'}))}{2} + \right. \\ \left. + \frac{cc' \cdot (ch^3 - x_{b'}^3)}{3} \right] - \frac{2 \cdot \pi}{(kh - ch)} \cdot \left[\frac{kh \cdot cc' \cdot (kh^2 - ch^2)}{2} - \frac{cc' \cdot (kh^3 - ch^3)}{3} \right] \quad (1)$$

$$V_{def} = \frac{\pi}{3} \cdot \left[ch^2 \cdot hf - \frac{hf \cdot (ch - kh)^3}{ch} - bh^2 \cdot he + \frac{hf^3 \cdot (ch - kh)^3 \cdot bh^2}{ch^3 \cdot he^2} \right] \quad (2);$$

$$V_{b'cd} = V_{def} \quad (3)$$

3. Для формы профиля поверхности засыпи, представленной на рис. 2б, объем вытесненного кокса определяется следующим образом:

$$V_{def} = \frac{\pi}{3} \cdot \left[ch^2 \cdot hf - \frac{hf \cdot (ch - kh)^3}{ch} - bh^2 \cdot he + \frac{hf^3 \cdot (ch - kh)^3 \cdot bh^2}{ch^3 \cdot he^2} \right], \quad (4)$$

Разработанный метод может быть использован как в составе информационной системы расчета и отображения информации, полученной с помощью радиолокационного профилера, так и в составе математической модели радиального распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи.

Установлена эмпирическая зависимость количества вытесненного кокса от отношения выгруженных масс железосодержащих материалов и кокса, которая описывается функцией:

$$V_k = -1,2564 \left(\frac{M_{жсм}}{M_k} \right)^2 + 12,239 \frac{M_{жсм}}{M_k} - 23,357 \quad (5),$$

где V_k – объем вытесненного кокса, %;

$M_{жсм}$ – масса железосодержащих материалов, выгружаемых на кокс, т;

M_k – масса кокса, т;

На основе экспериментальных исследований с помощью стационарной системы измерения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи установлен различный характер поведения поверхности засыпи шихтовых материалов в промежутках между выгрузкой их порций, обусловленный перераспределением материалов по поверхности и образованием взвешенного слоя. Установлено, что процесс опускания поверхности шихтовых материалов характеризуют скорости, рассчитанные через 25-40 с после окончания выгрузки порции, о чем свидетельствует положение экстремума кривой изменения значений скоростей, рассчитанных для различных временных интервалов (рис. 3). На основе результатов исследований разработан метод определения скоростей опускания шихтовых материалов, в соответствии с которым:

1. Скорость опускания шихтовых материалов может быть определена как отношение разности уровней в измеряемых точках поверхности засыпи к интервалу времени, соответствующему периоду после и перед выгрузкой каждой очередной порции.

Скорости опускания шихты после выгрузки каждой порции в цикле загрузки рассчитываются для уровней засыпи, определенных после выгрузки i -ой порции, как отношение разности этих уровней и времени $t_{пв}$, прошедшего между регистрацией указанных уровней, т.е. исходя из выражения: $V^i = \frac{Y_{пи}^{i+1} - Y_{пв}^i}{t_{пи}^{i+1} - t_{пв}^i}$, где i – номер порции

($i=1...10$), $t_{пи}$ – время регистрации уровней засыпи перед выгрузкой ($i+1$)-ой порции, $t_{пв}$ – время закрывания шихтового затвора (ШЗ) после выгрузки i -ой порции.

2. Скорости опускания шихтовых материалов могут быть рассчитаны для шести временных интервалов, изменяющихся с равным шагом от 10 до 60 с. Выбор

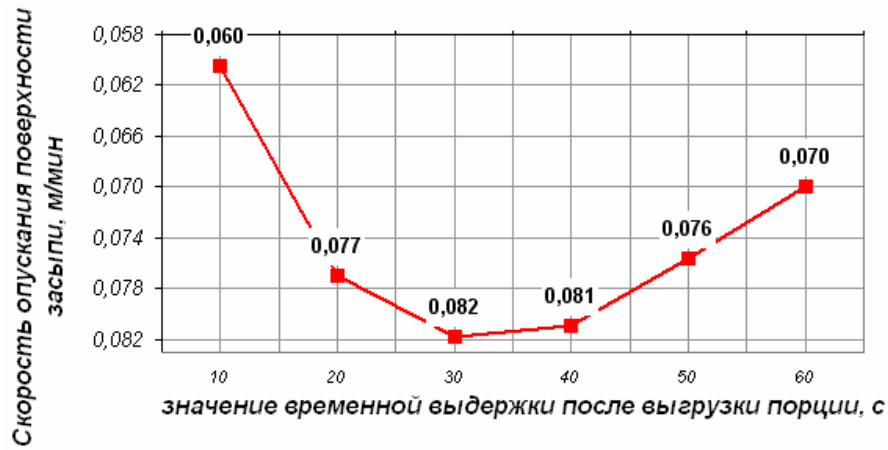


Рис. 3. Изменение скоростей опускания поверхности шихты, рассчитанных с различными временными выдержками после выгрузки порций

временного интервала зависит от характера информации, которую необходимо получить в результате расчета скоростей. Скорости, рассчитанные для условий изменения временного интервала в пределах 5–25 с, прошедших после окончания выгрузки порции шихтовых материалов, характеризуют процесс формирования поверхности засыпи, сопровождающийся перераспределением материалов по поверхности засыпи. Опускание сформированной поверхности засыпи характеризуют скорости, рассчитанные для 25–40 секундного интервала. На значение скоростей, рассчитанных для временного интервала 40–60 с, оказывает влияние образование взвешенного слоя над поверхностью засыпи шихты.

Скорости опускания шихты $(i-1)$ -ой порции определяются следующим образом: определяется разность уровней, усредненных в течение 3-5 секунд с момента поступления команды на открывание ШЗ перед выгрузкой i -ой порции и уровней, полученных в интервале 10 с ($Y_{1ПВ}^{i-1}$), 20 с ($Y_{2ПВ}^{i-1}$), 30 с ($Y_{3ПВ}^{i-1}$), 40 с ($Y_{4ПВ}^{i-1}$), 50 с ($Y_{5ПВ}^{i-1}$), 60 с ($Y_{6ПВ}^{i-1}$) после закрывания ШЗ после выгрузки $(i-1)$ -ой порции. Скорости

опускания шихты определяются согласно выражению: $V_{1...6}^{i-1} = \frac{Y_{ПВ}^i - Y_{1...6ПВ}^{i-1}}{t_{ПВ}^i - t_{1...6ПВ}^{i-1}}$, где i –

номер порции ($i=1...10$), $t_{1ПВ}$ – время закрывания ШЗ после выгрузки $(i-1)$ -ой порции ($t_{ШЗ}^{i-1} + 10$ с, $t_{2ПВ} = t_{ШЗ}^{i-1} + 20$ с, $t_{3ПВ} = t_{ШЗ}^{i-1} + 30$ с, $t_{4ПВ} = t_{ШЗ}^{i-1} + 40$ с, $t_{5ПВ} = t_{ШЗ}^{i-1} + 50$ с, $t_{6ПВ} = t_{ШЗ}^{i-1} + 60$ с.

3. Процесс формирования столба шихтовых материалов из последовательно выгружаемых порций шихтовых материалов может быть охарактеризован средними значениями скоростей за выбранный период усреднения в измеряемых сечениях колошника. Как показали исследования, период усреднения скоростей, равный 8 часам, является достаточным и характеризует ход печи при установившихся его параметрах. Средние скорости за выбранный период времени усреднения могут являться исходными для задания в математическую модель радиального распределения шихтовых материалов на колошнике печи при расчете параметров их распределения для условий использования аналогичных программ загрузки.

На основе разработанного метода определены фактические скорости опускания шихтовых материалов в кольцевых зонах сечения колошника для различных программ загрузки, используемых на ДП №9. Значения скоростей для трех исследованных периодов работы печи представлены в табл. 1. На рис. 4 приведен характерный график изменения скоростей опускания шихтовых материалов по диаметрам печи за цикл загрузки. Правильность выбора способа определения скоростей опускания шихты подтверждена их взаимосвязью с основными параметрами дутьевого и газодинамического режимов плавки.

Разработанные методы расчета параметров поверхности засыпи шихты положены в основу информационной системы расчета и отображения информации, полученной с помощью радиолокационного профилемера, которая реализована в составе АСУ ДП №9. Достоверность методов подтверждена опытом эксплуатации радиолокационной системы на ДП №9 «АрселорМиттал Кривой Рог».

Таблица 1

Скорости опускания шихтовых материалов по сечению колошника ДП №9

Период работы печи	Скорость опускания шихты ($v_{ш}^{cp}$), м/мин				
	Зоны сечения колошника				Средняя
	ПФ	1П	2П	Ц	
I	0,083	0,059	0,057	0,099	0,075
II	0,090	0,055	0,055	0,098	0,074
III	0,086	0,070	0,096	0,115	0,092

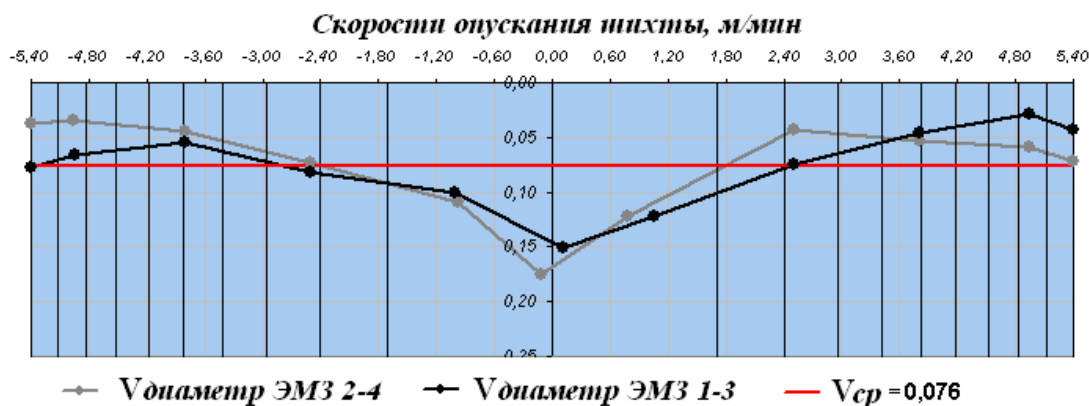


Рис. 4. Изменение скоростей опускания шихты по диаметрам колошника за цикл загрузки печи

В четвертом разделе изложены результаты определения с использованием радиолокационной системы измерения профиля поверхности засыпи значений углов откоса поверхности засыпи на колошнике после выгрузки порций шихтовых материалов в ДП №9 при используемых на ней программах загрузки. Установлено, что сформированную в результате выгрузки порций шихтовых материалов поверхность засыпи характеризуют граничные значения углов ее откоса: к стенке печи (α_3), в промежуточной зоне (α_2) и к оси печи (α_1), значения которых, соответственно, составляют:

- для железосодержащих материалов – 18°; 34°; 29°;
- для кокса – 28°; 34°; 29°;
- для осевого кокса – 17°; 26°; 25°.

Выполнена оценка взаимосвязей изменения углов откоса поверхности засыпи от скоростей опускания в доменной печи. Установлено, что углы откоса определяются как программой загрузки шихтовых материалов, так и скоростями опускания шихты в различных сечениях колошника. Показано, что задание в математическую модель радиального распределения шихты фактических углов откоса поверхности засыпи повысило достоверность расчета показателей распределения шихтовых материалов на колошнике, оцениваемую по величине коэффициента корреляции рудных нагрузок с объемной долей CO_2 , который при этом увеличился от $r_{xy}=0,7$ до $r_{xy}=0,9$.

Для условий ДП №9 с помощью системы измерения профиля поверхности засыпи шихты исследовано влияние изменений в программе загрузки печи: увеличения массы выгружаемой порции смеси агломерата и окатышей, изменения угловых положений распределительного лотка, уменьшения массы порций кокса на формирование слоев шихтовых материалов на колошнике.

Установлено влияние на структуру слоев шихтовых материалов и распределение скоростей опускания шихты приема изменения последовательности выгрузки порций в цикле загрузки печи. Определено, что при выгрузке порций осевого кокса К 2-1 перед выгрузкой железосодержащих материалов АОШ₀ 9-3 (рис. 5а), по сравнению с выгрузкой осевого кокса после АОШ₀ 9-3 (рис. 5б), уменьшается попадание железосодержащих материалов в осевую зону сечения колошника печи, что в свою очередь, приводит к уменьшению рудной нагрузки в центральной зоне печи.

Выполнена оценка влияния на структуру слоев шихтовых материалов на колошнике печи изменения углов наклона лоткового распределителя. Показано, что структура столба шихтовых материалов, образованная в результате установки на печи расчетных углов наклона лотка, является рациональной для конкретных условий доменной плавки (рис. 6). Это подтверждается увеличением степени использования восстановительной способности газов (η_{CO}) на 0,63% с 43,49 до 44,12% и уменьшением удельного расхода кокса на 1,3 кг/т выплавляемого чугуна.

Результаты исследований позволяют заключить, что с помощью профилемера могут быть определены для конкретных условий доменной плавки: профиль поверхности засыпи, конфигурация слоев шихтовых материалов и распределение скоростей опускания шихты, которые являются исходной информацией для выбора или корректировки программ загрузки и углов наклона лоткового распределителя БЗУ.

В пятом разделе с помощью радиолокационного профилемера выполнена оценка влияния существующих приемов управления окружным распределением шихты на формирование поверхности засыпи и характер распределения скоростей ее опускания.

Подтверждено влияние смены вида шихтовых материалов в бункерах БЗУ и направления вращения лоткового распределителя шихты на формирование профиля засыпи и расположение зон с более плотной укладкой шихты, характеризующихся

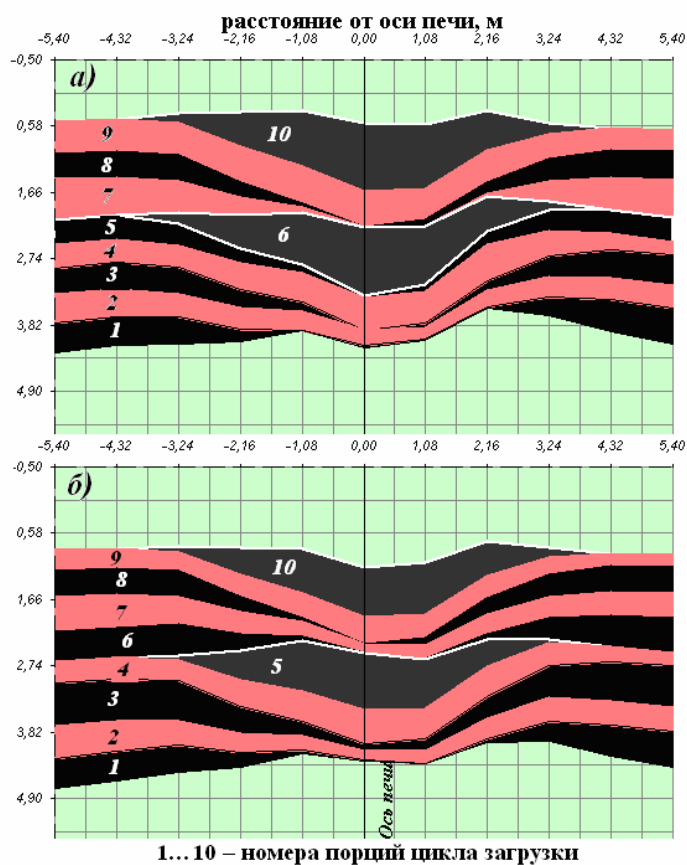


Рис. 5. Структура слоев шихтовых материалов на уровне колошника ДП №9, сформированных при программе загрузки с использованием (а) и без использования (б) приема изменения последовательности выгрузки порций.

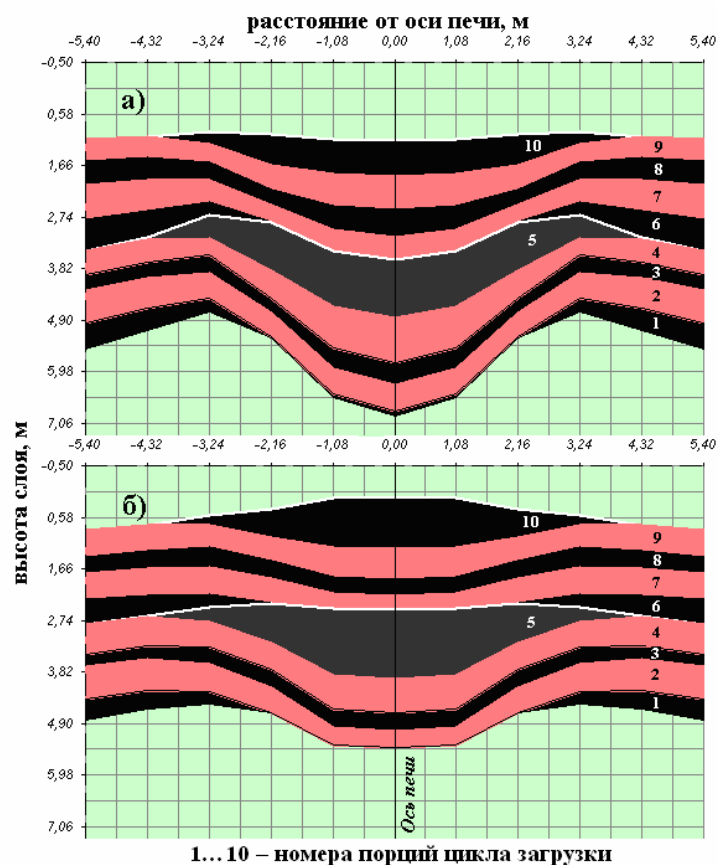


Рис. 6. Структура слоев порций шихтовых материалов на уровне колошника, выгруженных в ДП №9 до (а) и после (б) изменения углов наклона лоткового распределителя.

пониженной газопроницаемостью. В отличие от расчетных методов, с помощью которых определяется положение зон с пониженной газопроницаемостью для условий выгрузки потока материалов, профилемер позволяет определить положение зон, сформированных в результате выгрузки железосодержащих компонентов и кокса. Также подтверждено положительное влияние попарного смещения начала выгрузки шихтовых материалов из бункеров БЗУ по гаражным положениям лоткового распределителя на выравнивание окружной неравномерности.

Разработаны рекомендации по совершенствованию технологических приемов оценки и управления окружным распределением материалов путем выбора варианта комбинаций интервалов времени между сменой направления вращения лоткового распределителя и вида материала в бункерах БЗУ. Разработана форма представления информации (видеокадр) в виде развертки значений уровней засыпи по окружности печи, позволяющей персоналу цеха корректировать управляющие воздействия, направленные на создание максимально возможной окружной равномерности или заданной неравномерности с учетом характерного расположения зон с пониженной газопроницаемостью.

Разработан метод компенсации окружной неравномерности распределения шихтовых материалов с использованием информации профилемера, состоящий в следующем. По показаниям системы измерения профиля поверхности засыпи определяется сектор окружности колошника с отличающейся в течение цикла загрузки скоростью опускания на 0,5 м/ч и (или) стабильным перекосом профиля поверхности засыпи на 0,5 м. Установленную разницу в скоростях опускания шихтовых материалов и (или) перекосом профиля поверхности засыпи по окружности печи компенсируют путем выгрузки в сектор, определенный с помощью системы измерения профиля поверхности засыпи, большего (меньшего) количества железосодержащих и кокса или одного из материалов, в зависимости от требуемой компенсации: объема или рудной нагрузки. Причем, прохождение сектора, в котором требуется указанная компенсация, вращающимся распределителем при выгрузке в первом по ходу загрузки порции угловом положении на один раз больше для увеличения количества материала в секторе печи или на один раз меньше для его уменьшения обеспечивается при необходимости путем изменения времени выгрузки порции. Поскольку время выгрузки порции регламентируется пропускной способностью системы загрузки, то увеличение или уменьшение времени выгрузки порции для реализации разработанного способа может быть кратковременным, т.е. устанавливаться на один или несколько циклов загрузки, в котором перевод лотка будет осуществляться по программе, необходимой для создания компенсационной неравномерности.

Изменение объемов шихтовых материалов, выгружаемых из заданных позиций лоткового распределителя, в зависимости от скоростей опускания шихты на колошнике при сохранении постоянной средней рудной нагрузки за цикл загрузки является одним из способов формирования заданного профиля поверхности засыпи. Обоснованием возможности уменьшения (увеличения) скорости опускания шихты увеличением (уменьшением) рудной нагрузки явилась установленная в результате исследований обратная взаимосвязь показателя рудной нагрузки, выраженного отношением высот слоев железосодержащих материалов и кокса, и скорости опускания шихты. Указанная зависимость, для которой коэффициент достоверности аппроксимации двух величин составил $r_{x,y} = -0,94$, была получена в результате анализа параметров работы ДП №9 в течение двух суток при постоянных программе загрузки и параметрах газодутьевого режима. При этом, величины отношений высот слоев и скоростей опускания шихты определялись в среднем за цикл загрузки печи.

Необходимым условием реализации приема управления окружным распределением шихты является контроль уровней точек поверхности засыпи в периферийной и промежуточной зонах сечения колошника, согласно сформулированным требованиям к установке измерителей, не менее чем в шести точках по его окружности.

На основе метода разработан прием управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике доменной печи, обеспечивающий изменение объема шихтовых материалов или рудной нагрузки в заданном секторе по окружности колошника, и позволяющий оперативно выравнять неравномерность

окружного распределения шихты созданием направленной (компенсационной) неравномерности.

Реализация предложенного приема осуществляется в соответствии с методом, предусматривающим следующую последовательность операций. По показаниям измерителей, входящих в состав радиолокационной системы измерения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике, установленных в периферийной и промежуточной зонах сечения колошника, определяют средние уровни засыпи по окружности колошника и их отклонения. Выполняется проверка условия:

$$\left(Y_{\max} - Y_{\min} \right) \geq 0,5 \text{ м}, \quad (6)$$

где Y_{\max} , Y_{\min} – максимальный и минимальный средний уровень засыпи шихты по окружности колошника за цикл загрузки.

Если условие (6) выполняется, определяются отклонения значений уровней засыпи в каждом секторе от разницы максимального и минимального уровней (Δ). Затем определяется сектор, для которого $\Delta \rightarrow \max$, в котором необходимо увеличить, выгружаемый объем материала, и определяется сектор, в котором необходимо уменьшить объем материала, для которого $\Delta \rightarrow \min$. Выбор варианта уменьшения или увеличения объема материала, выгружаемого в заданные сектора, основывается на условии большего количества секторов печи по окружности, для которых величина Δ превышает или не превышает 0,5 м. Для реализации указанных вариантов при прохождении лотком заданных гаражных положений для следующего цикла загрузки печи выдается команда на начало открывания ШЗ с учетом угла заноса материала. Угол заноса соответствует углу поворота лотка за время движения переднего фронта шихтового материала от шибера ШЗ по трактам БЗУ и лотку до поверхности засыпи. Величина угла заноса определяется экспериментальным путем перед задувкой печей после капитального ремонта. Для условий ДП №9 ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог» величина угла заноса составляет 180°.

При выполнении условия (6) для одного и того же сектора печи в течение более двух циклов загрузки подряд, в этом секторе с уровнем засыпи ниже (выше), чем у остальных, необходимо после второго подряд увеличения (уменьшения) выгружаемого объема, увеличить (уменьшить) рудную нагрузку. Для этого определяют средние скорости опускания шихты по окружности колошника за цикл загрузки и проверяют условие:

$$\left| V_{\text{Ш}i} - \left(V_{\text{Ш} \max} - V_{\text{Ш} \min} \right) \right| \geq 0,5 \text{ м/ч}, \quad (7)$$

где $V_{\text{Ш}i}$ – средняя скорость опускания шихты в секторе с уровнем засыпи ниже (выше), чем у остальных в течение двух циклов загрузки подряд,

$V_{\text{Ш} \max}$, $V_{\text{Ш} \min}$ – максимальная и минимальная средняя скорость опускания шихты по окружности колошника за цикл загрузки.

При выполнении условия (7) определяют знак отклонения скорости опускания шихты в заданном секторе по разнице максимальной и минимальной скорости опускания по окружности, при этом управление окружным распределением

осуществляют следующим образом. При указанном отклонении средней за цикл загрузки скорости опускания шихты в заданном секторе печи для уменьшения скорости опускания в этом секторе увеличивается рудная нагрузка, или уменьшается для случая необходимости увеличения скорости опускания.

Для увеличения рудной нагрузки в секторах печи управление гаражными положениями производится при выгрузке железосодержащих порций, что обеспечивает увеличение массы железосодержащих в заданном секторе. Порции кокса при этом выгружаются в режиме попарного смещения на 60° по окружности колошника начала выгрузки шихтовых материалов из бункеров БЗУ. Увеличение рудной нагрузки можно также обеспечить и уменьшением массы кокса в секторе.

Для уменьшения рудной нагрузки управление гаражными положениями осуществляется для порций кокса, что приводит к увеличению массы кокса в заданном секторе. Порции железосодержащих материалов при этом выгружаются в режиме попарного смещения по окружности колошника начала выгрузки порции. Уменьшение рудной нагрузки может быть реализовано также и путем уменьшения массы железосодержащих материалов в заданном секторе.

Подтверждением эффективности разработанного приема выравнивания окружного распределения шихтовых материалов являются результаты сопоставительного анализа технико-экономических параметров плавки на ДП №9 двух периодов работы печи. В первом периоде (базовом), в течение которого в составе АСУ не был реализован разработанный прием, печь в течение двух суток работала с перекосом уровней засыпи по окружности колошника, составившим, в среднем, 0,74 м. Во втором периоде – (сопоставимом), реализация в составе АСУ загрузкой разработанного приема позволила оперативно выравнивать возникающую на печи неравномерность уровней засыпи по окружности колошника. Для двух рассматриваемых периодов работы печи выполнен пофакторный сопоставительный анализ изменения удельного расхода кокса. В результате расчетов получено, что ожидаемый расход кокса в сопоставимом периоде работы печи должен был составить 467,1 кг/т. чугуна. Фактическая же его величина для этого периода работы составила 459,7 кг/т. чугуна, что на 7,4 кг меньше ожидаемого расхода кокса. Таким образом, использование приема управления окружным распределением шихты в автоматизированном режиме, позволяет обеспечить равномерное распределение шихты и газового потока по окружности печи, оцениваемое по равномерности распределения температур колошникового газа в газоотводах и газа на периферии, так и уменьшить удельный расход кокса. Колеблемость температуры колошникового газа в сопоставимом периоде, по сравнению с базовым, уменьшилась на 3,7 °С, температуры газа на периферии – на 14,1 °С. Пример выравнивания окружной неравномерности распределения шихты на колошнике печи с помощью способа управления окружным распределением для двух рассматриваемых периодов работы представлен на рис. 7. На рис. 7а показана окружная неравномерность уровней поверхности засыпи за цикл загрузки печи в базовом периоде, а на рис. 7б – в сопоставимом периоде после применения способа управления окружным распределением.

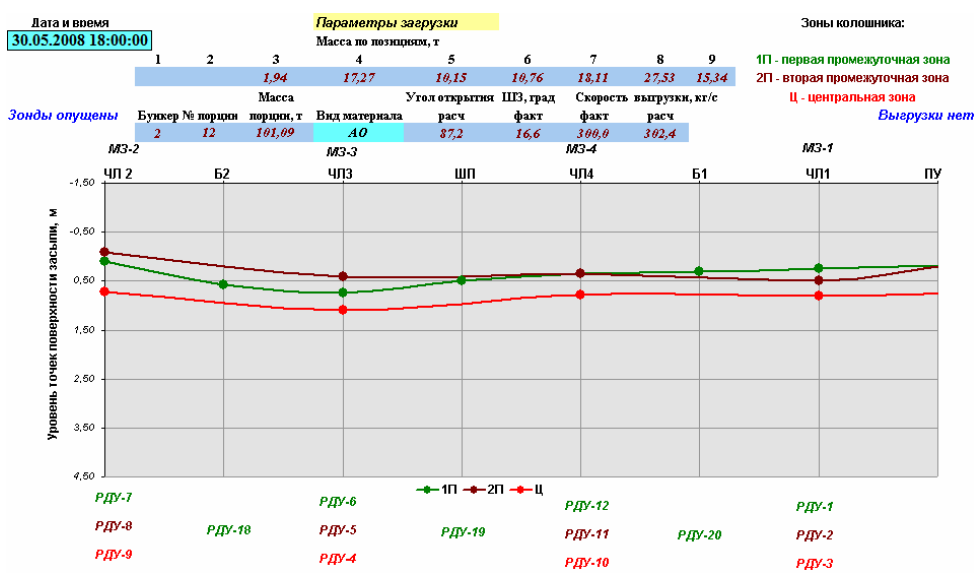
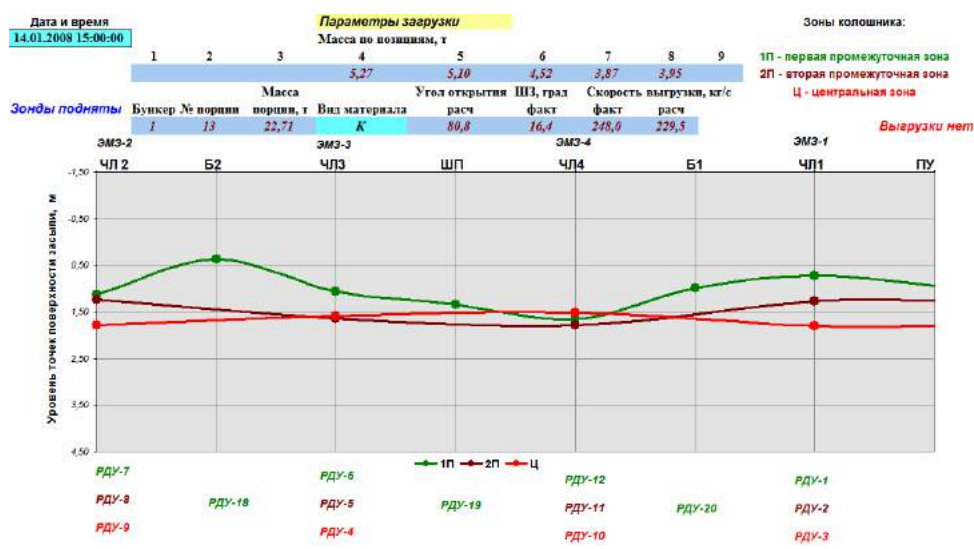


Рис. 7. Видеокادر распределения уровней поверхности засыпи шихты по окружности колошника за цикл загрузки печи в базовом (а) и в сопоставимом (б) периоде работы

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. На основе анализа результатов промышленного и опытно-промышленного использования профилемеров различных конструкций и принципов действия, а также представляемой ими информации показаны преимущества систем со стационарно установленными измерителями, основанными на радиолокационном способе контроля, заключающиеся в получении наиболее полной информации о состоянии поверхности засыпи шихты по сечениям печи, ее достоверности в условиях запыленности и высоких температур, свойственных доменной плавке, и безопасности эксплуатации.

2. Разработаны технологические положения представления информации о поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи, включающие следующие необходимые для технологического персонала сведения о: характере профиля поверхности засыпи шихты и углах ее откоса; глубине и смещении осевой воронки

относительно оси печи; образованных за цикл загрузки слоях шихтовых материалов; скоростях опускания шихтовых материалов в различных сечениях колошника; изменениях уровней засыпи по окружности колошника; отношениях толщин слоев железосодержащих материалов и кокса.

3. Впервые научно обоснованы технологические требования к системам контроля поверхности засыпи шихты доменных печей, оборудованных БЗУ и КЗУ, которые в обобщенном виде могут быть сформулированы следующим образом:

- количественный состав измерителей определяется условием контроля поверхности засыпи с дискретностью, исключающей наложение образуемых на поверхности пятен излучаемого сигнала;
- установка измерителей осуществляется из соображений получения информации по двум взаимно перпендикулярным диаметрам, один из которых, в зависимости от диаметра колошника и конструктивных особенностей купола печи, контролируют до 10 измерителей, а второй – не менее четырех измерителей, ориентированных в осевую и периферийную зоны печи;
- на доменных печах, оборудованных КЗУ, установка измерителей, контролирующей осевую зону печи, должна предусматривать их ориентацию на противоположный склон воронки поверхности засыпи;
- диаметр, контролируемый 10-ю измерителями, ориентирован под углом $\approx 20^\circ$ относительно диаметра устанавливаемых на печи средств контроля: термозондов и радиальных зондовых машин для отбора проб газа.

4. Разработаны методы расчета параметров поверхности засыпи шихты, позволяющие определить: профили поверхности засыпи шихты по радиусам сечения колошника печи, углы откоса поверхности шихтовых материалов, глубину и смещение осевой воронки, конфигурацию слоев выгруженных порций шихты по радиусам колошника, изменение параметров поверхности засыпи шихты по окружности печи. На основе методов расчета параметров поверхности засыпи шихты разработана информационная системы расчета и отображения информации, полученной с помощью радиолокационного профилемера, которая реализована в составе АСУ ДП №9.

5. На основе информации, полученной с помощью системы измерения профиля поверхности засыпи шихты, разработан метод определения объема вытесненного кокса по направлению к осевой зоне печи при выгрузке на него железосодержащих компонентов шихты, который может быть использован как в составе информационной системы расчета и отображения информации, полученной с помощью радиолокационного профилемера, для корректировки измеренных слоев кокса и железосодержащих материалов, так и в составе математической модели радиального распределения шихтовых материалов на колошнике доменной печи. Установлена зависимость количества вытесненного кокса от отношения масс железосодержащих материалов и кокса.

6. Разработан метод расчета скоростей опускания шихтовых материалов в различных сечениях колошника, включающий: выбор способа определения скоростей, установление временного диапазона их расчета и интервала допустимого усреднения, необходимого для оценки хода процесса, с помощью которого

определены фактические скорости опускания шихтовых материалов в кольцевых зонах сечения колошника. Установлено, что для различных программ загрузки, используемых на ДП №9, скорости опускания шихтовых материалов имеют максимальные значения в осевой зоне печи, расположенной на расстоянии 0,9 м от оси, и изменяются в диапазоне 0,074 – 0,115 м/мин; уменьшаются по направлению к стенке печи в двух промежуточных зонах, расположенных на расстоянии 2,5 м 3,8 м от оси печи в диапазоне 0,055 – 0,096 м/мин; и увеличиваются в диапазоне – 0,083 – 0,090 м/мин в периферийной зоне на расстоянии 5,05 м от оси печи.

7. С использованием радиолокационной системы измерения профиля поверхности засыпи на ДП №9 определены значения углов откоса поверхности засыпи на колошнике после выгрузки порций шихтовых материалов. Установлено, что сформированную в результате выгрузки порций шихтовых материалов поверхность засыпи характеризуют граничные значения углов ее откоса: к стенке печи (α_3), в промежуточной зоне (α_2) и к оси печи (α_1), значения которых, соответственно, составляют: для железосодержащих материалов – 18°; 34°; 29°; для кокса – 28°; 34°; 29°; для осевого кокса – 17° – к стенке и 26° – к оси печи.

8. Опробование разработанных методов расчета параметров поверхности засыпи шихты в условиях ДП №9 показало, что с их помощью могут быть определены профили поверхности засыпи, конфигурация слоев шихтовых материалов и изменение скоростей опускания шихты по сечению колошника печи, которые являются исходной информацией для выбора или корректировки программ загрузки и углов наклона лоткового распределителя БЗУ.

9. Разработаны рекомендации по совершенствованию технологических приемов оценки и управления окружным распределением материалов путем выбора варианта комбинаций интервалов времени между сменой направления вращения лоткового распределителя и вида материала в бункерах БЗУ. Для обоснованного выбора варианта этих комбинаций разработана форма представления информации в виде развертки значений уровней засыпи по окружности колошника печи, позволяющей персоналу цеха корректировать управляющие воздействия, направленные на создание максимально возможной окружной равномерности или заданной неравномерности с учетом характерного расположения «локальных зон» с пониженной газопроницаемостью.

10. Разработан и реализован в составе АСУ загрузкой прием управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике доменной печи с использованием информации профилемера, который позволяет оперативно выравнивать неравномерность окружного распределения шихты созданием направленной (компенсационной) неравномерности.

11. Впервые решен комплекс вопросов, направленных на обеспечение эффективной установки стационарных систем измерения профиля поверхности засыпи шихты, получение с их помощью наиболее полной информации о состоянии поверхности засыпи шихты и необходимой для дальнейшего использования ее в целях контроля, прогноза и управления доменной плавкой.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Оценка окружного распределения шихты в доменной печи радиолокационным профилемером / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Шулико С. Т.] – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», Вып. 17, 2008. – С. 74–85
2. Определение углов откоса поверхности засыпи шихтовых материалов в доменной печи / [Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Шулико С. Т., Шумельчик Е. И.] – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2007. – Вып. 14. – С. 40–50.
3. Оценка положения центра воронки поверхности засыпи шихты относительно оси печи / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Шулико С. Т.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2006. – №2. – С. 106–111.
4. Декларационный патент UA 9308U на полезную модель 7C21B7/00 Способ определения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи / В. А. Шеремет, В. С. Листопадов, В. И. Большаков, С. Т. Шулико, И. Г. Муравьева, Ю. С. Семенов. / Бюл., № 9, 2005. Заявл. 17.03.05. Опубл. 15.09.05.
5. Методика определения скоростей опускания шихты по сечению колошника в доменной печи / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Шулико С. Т., Шумельчик Е. И.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2008. – №2. – С. 114–118.
6. Оценка формирования слоев шихты на колошнике доменной печи с помощью радиолокационного профилемера / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Шулико С. Т.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2006. – №3. – С. 5–10.
7. Особенности выбора рабочих углов наклона распределительного лотка БЗУ с использованием информации профилемера / [Большаков В. И., Лебедь В. В., Семенов Ю. С., Шулико С. Т.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2008. – № 3. – С. 4–9.
8. Патент UA 87237 C2 на изобретение. Способ управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике доменной печи / Большаков В. И., Шутылев Ф. М., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Шумельчик Е. И., Листопадов В. С., Дмитренко К. А. – заявл. 02.01.08; опубл. 25.06.09, Бюл. № 12, 2009 г.
9. Технологические особенности автоматизированного измерения профиля засыпи шихты в доменной печи, оснащенной БЗУ / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Шулико С. Т., Семенов Ю. С., Листопадов В. С., Орел Г. И.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2003. – №2. – С. 112–114.
10. Анализ результатов эксплуатации профилемеров на доменных печах / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Шулико С. Т., Семенов Ю. С.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2003. – №4. – С. 123–127.
11. Анализ средств и результатов измерения профилей поверхности засыпи шихты в доменных печах / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Шулико С. Т., Семенов Ю. С.] – Новости науки Приднестровья, 2004. – №1. – С. 27–38

12. Особенности представления информации, полученной радиолокационным профилемером / [В. И. Большаков, И. Г. Муравьева, Ю. С. Семенов, С. Т. Шулико, Е. А. Белошапка] – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2004. – Вып. 9. – С. 45–50.
13. Анализ результатов исследований скоростей опускания шихты в доменных печах / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Шулико С. Т.] – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2006. – Вып. 12. – С. 109–117.
14. Использование информации профилемера для выбора управляющих воздействий на ход доменной плавки / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С. и др.] – «Черметинформация». Бюллетень «Черная металлургия», 2006. – № 5. – С. 29–34.

Дополнительные результаты опубликованы в работах:

15. Оценка изменения профиля засыпи шихты в доменной печи радиолокационным уровнемером / [Большаков В. И., Шулико С. Т., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С., Листопадов В. С., Дударенко А. А. и др.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2004. – №2. – С.117–121.
16. Перспективы использования профилемеров в управлении распределением шихтовых материалов в доменной печи / [Большаков В. И., Муравьева И. Г., Шулико С. Т., Семенов Ю. С., Листопадов В. С.] – Теория и практика производства чугуна, труды международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию КГГМК “Криворожсталь”, 2004, С. 404–408.
17. Распределение дутья по окружности в доменной печи объемом 5000 м³ при ее работе и выдувке / [Большаков В. И., Шулико С. Т., Лебедь В. В., Семенов Ю. С., Дмитренко К. А., Попов В. Н.] – Металлургическая и горнорудная промышленность, 2005. – №2. – С. 10–13.
18. Семенов Ю. С. Использование информации о параметрах поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи, полученной радиолокационной профилемером / Семенов Ю. С. – Матеріали IV Всеукраїнської науково-технічної конференції молодих учених та спеціалістів «Зварювання та суміжні технології» с. 214, Київ – 2007 р.
19. Большаков В. И. Оценка информации, полученной стационарным профилемером / Большаков В. И., Муравьева И. Г., Семенов Ю. С. – Сб. научн. тр. ИЧМ «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии», 2008. – Вып. 16. – С. 372–379.

АНОТАЦІЯ

Семенов Ю. С. Удосконалювання управління доменною плавкою на основі контролю поверхні засипу шихти – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.16.02 «Металургія чорних і кольорових металів та спеціальних сплавів». – Інститут чорної металургії ім. З. І. Некрасова НАН України, м. Дніпропетровськ, 2009.

Дисертаційна робота присвячена вдосконаленню управління коловим розподілом шихтових матеріалів на колошнику доменної печі з використанням розроблених науково-обґрунтованих технологічних вимог до установки стаціонарних систем вимірювання профілю поверхні засипу шихти на колошнику доменної печі і методичної бази розрахунку параметрів поверхні засипу.

Розроблені технологічні положення представлення інформації про поверхню засипу шихти на колошнику доменної печі. Вперше науково обґрунтовані технологічні вимоги до систем контролю поверхні засипу шихти доменних печей, обладнаних безконусними (БЗП) і конусними (КЗП) завантажувальними пристроями.

Розроблені методи розрахунку параметрів поверхні засипу шихти: профілів поверхні засипу шихти по радіусах колошника печі, кутів укусу поверхні, глибини і зміщення осьової воронки профілю поверхні засипу, конфігурації шарів вивантажених порцій шихтових матеріалів по радіусах колошника, параметрів поверхні засипу шихти по колу печі.

На основі методів розрахунку параметрів поверхні засипу шихти розроблена інформаційна системи відображення інформації, яка реалізована в складі АСУ ДП №9.

Розроблено метод визначення об'єму витисненого коксу при вивантаженні на шар коксу залізовмісних компонентів шихти і встановлено залежність кількості витисненого коксу від відношення мас залізовмісних матеріалів і коксу.

Розроблено метод розрахунку швидкостей опускання шихтових матеріалів в різних перетинах колошника. Встановлено, що для різних програм завантаження, які використовуються на ДП №9, швидкості опускання шихтових матеріалів досягають максимальної величини в осьовій зоні печі, зменшуються у напрямку до стіни печі в проміжних зонах і збільшуються в периферійній зоні печі.

На ДП №9 з використанням радіолокаційної системи вимірювання профілю поверхні засипу визначені значення кутів укусу поверхні засипу на колошнику до і після вивантаження порцій коксу і суміші залізовмісних матеріалів.

Розроблено рекомендації по вдосконаленню технологічних прийомів оцінки і управління коловим розподілом шихтових матеріалів шляхом вибору варіанту комбінацій інтервалів часу між зміною напрямку обертання лоткового розподільника і виду матеріалу в бункерах БЗП.

Розроблено і реалізовано в складі АСУ завантаженням ДП №9 прийом управління коловим розподілом шихтових матеріалів на колошнику з використанням інформації профілевимірювача, який дозволяє оперативно

вирівнювати розподіл шихти створенням направленої (компенсаційної) нерівномірності.

Ключові слова: доменна піч, безконусний завантажувальний пристрій (БЗП), програма завантаження, радіолокація, профілевимірювач, поверхня засипу шихти, швидкості опускання шихти, конфігурація шарів шихти, кути укосу поверхні засипу, витіснення коксу, коловий розподіл.

АННОТАЦІЯ

Семенов Ю. С. Совершенствование управления доменной плавкой на основе контроля поверхности засыпи шихты – Рукопись

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.16.02 «Металлургия черных и цветных металлов и специальных сплавов». – Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины, г. Днепропетровск, 2009.

Диссертационная работа посвящена совершенствованию управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике доменной печи, с использованием разработанных научно-обоснованных технологических требований к установке стационарных систем измерения профиля поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи и методической базы расчета параметров поверхности засыпи.

Разработаны технологические положения представления информации о поверхности засыпи шихты на колошнике доменной печи. Впервые научно обоснованы технологические требования к системам контроля поверхности засыпи шихты доменных печей, оборудованных бесконусными (БЗУ) и конусными (КЗУ) загрузочными устройствами.

Разработаны методы расчета параметров поверхности засыпи шихты: профилей поверхности засыпи шихты по радиусам колошника печи, углов откоса поверхности, глубины и смещения осевой воронки профиля поверхности засыпи, конфигурации слоев выгруженных порций шихтовых материалов по радиусам колошника, параметров поверхности засыпи шихты по окружности печи.

На основе методов расчета параметров поверхности засыпи шихты разработана информационная системы отображения информации, которая реализована в составе АСУ ДП №9.

Разработан метод определения объема вытесненного кокса при выгрузке на слой кокса железосодержащих компонентов шихты и установлена зависимость количества вытесненного кокса от отношения масс железосодержащих материалов и кокса.

Разработан метод расчета скоростей опускания шихтовых материалов в различных сечениях колошника. Установлено, что для различных программ загрузки, используемых на ДП №9, скорости опускания шихтовых материалов достигают максимальной величины в осевой зоне печи, уменьшаются по направлению к стенке печи в промежуточных зонах и увеличиваются в периферийной зоне печи.

На ДП №9 с использованием радиолокационной системы измерения профиля поверхности засыпи определены значения углов откоса поверхности засыпи на колошнике до и после выгрузки порций кокса и смеси железосодержащих материалов.

Разработаны рекомендации по совершенствованию технологических приемов оценки и управления окружным распределением шихтовых материалов путем выбора варианта комбинаций интервалов времени между сменой направления вращения лоткового распределителя и вида материала в бункерах БЗУ.

Разработан и реализован в составе АСУ загрузкой ДП №9 прием управления окружным распределением шихтовых материалов на колошнике с использованием информации профилемера, который позволяет оперативно выравнять распределение шихты созданием направленной (компенсационной) неравномерности.

Ключевые слова: доменная печь, бесконусное загрузочное устройство (БЗУ), программа загрузки, радиолокация, профилемер, поверхность засыпи шихты, скорости опускания шихты, конфигурация слоев шихты, углы откоса поверхности засыпи, вытеснение кокса, окружное распределение.

SUMMARY

Iu. S. Semenov. Improvement of the blast-furnace melting management based on burden control – Manuscript.

The dissertation research for the scientific degree of technical sciences candidate on specialty 05.16.02 “Ferrous, non-ferrous and other special alloys metallurgy” – Z. I. Nekrasov Iron and Steel Institute of National Academy of Sciences of Ukraine, the city of Dnipropetrovs’k, 2009.

The dissertation research is devoted to the management improvement of circular distribution of burden materials in the blast-furnace throat with the use of elaborated scientifically grounded technological requirements to the mounting of stationary determination systems of burden surface in the furnace throat and the methodic basis of burden surface parameters calculation.

The technological regulations of informational presentation as to the burden surface in the furnace throat, the technological requirements to the control systems of burden surface of blast-furnaces equipped with a bell-less charging device (BLCD) and a bell-type carding device (BTCD) have first been grounded scientifically.

The methods of burden surface calculation: burden surface stockline by the radiuses of the blast-furnace throat, angles of surface repose, depth and displacement of the axle hopper of the burden surface profile, configurations of unleaded portions of burden materials layers by the radiuses of the throat, burden surface parameters on the furnace circle have been elaborated.

On the basis of the methods of burden surface parameters calculation the information system of informational system of information reflection, realized in the structure of the control system of Blast-furnace N9, has been worked out.

The determination method of coke displacement volume during the unloading of ferrous components of burden onto the coke layer has been elaborated and the dependence

of the displaced coke quantity from the proportion of ferrous material and coke masses has been determined.

The calculation method of burden materials lowering speeds in different sections of the throat has been worked out. It has been determined that for different loading routine used in Blast-furnace N9 the burden materials lowering speeds reach their maximum quantity in the axle zone of the furnace, they decrease in the direction of the furnace wall in the intermediate zones and they increase in the periphery zone of the furnace.

In Blast- furnace N9 , with the use of the radiolocation system of burden surface stockline determination, the degrees of burden surface repose angles in the throat before and after unloading of coke and ferrous materials mixture portions have been determined.

The management ways of circular distribution of burden materials on account of their unloading into the furnace with frequency alteration of the rotation direction change of the chute distributor of burden and a kind of material in the bunkers of the BLCD have been elaborated.

During Blast-furnace N9 loading, in the structure of the control system, the managing approach to the circular burden materials distribution in the throat has been worked out and realized which allows to even the burden distribution operatively creating directed (compensatory) unevenness.

Key words: a (blast)-furnace, a bell-less charging device (BLCD), loading routine, radiolocation, profile meter, burden surface, burden lowering speeds, burden layers configuration, burden surface angles of repose, coke displacement, circular distribution.