

Н.Г.Иванча, В.И.Большаков, Т.П.Порубова, В.И.Вишняков

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКИХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УПРАВЛЕНИЯ РАСПРЕДЕЛЕНИЕМ ОСНОВНОСТИ В ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Рассмотрены возможности формирования заданного распределения основности по радиусу доменной печи, оснащенной бесконусным загрузочным устройством.

Современное состояние вопроса. Расчет химического состава конечных шлаков традиционно является одной из важных составляющих оценки эффективности доменной плавки, поскольку химический состав определяет физические (вязкость, поверхностное натяжение и в целом текучесть шлака) и химические свойства шлака, в том числе, обуславливающие способность шлака связывать и выводить из чугуна серу и другие вредные компоненты [1]. В связи с расширением применения бесконусных загрузочных устройств (БЗУ), наклонных конвейеров для доставки шихты на колошник и совершенствованием оборудования шихтоподачи, в первую очередь, на печах большого объема, возможности формирования порций многокомпонентных шихтовых материалов и распределения их по сечению печи существенно увеличились [2].

Наряду с этим, в последнее время в украинской и российской металлургии наблюдается тенденция увеличения использования в шихте низкоосновных окатышей. Перечисленные факторы обусловили ряд новых научно – технических задач, в частности, необходимость исследований распределения основности шихтовых материалов в печи, влияния свойств шихты на износ и разрушение футеровки шахты и горна печи, а также изучения температурных и восстановительных свойств смесей железорудных материалов, разработки способов и научно обоснованных приемов формирования смешанных порций железорудных материалов [3]. Результаты выполненных ИЧМ исследований позволили обосновать и реализовать на доменных печах комбината «Криворожсталь» автоматизированные системы определения требуемого соотношения компонентов шихты с различными свойствами для получения заданного состава конечного шлака.

В настоящее время на металлургических предприятиях Украины и России активно реконструируются доменные печи объемом от 1000 м³ до 3000 м³ с модернизацией шихтоподачи, оборудования литейного двора, установкой БЗУ, применением современных воздухонагревателей, систем аспирации, очистки доменного газа и газополучающих турбин. На реконструированных печах существенно расширяются технические и технологические возможности систем загрузки по формированию смешан-

ных многокомпонентных порций и распределения компонентов смеси по сечению печи.

На доменных печах, оборудованных конусными загрузочными устройствами, необходимое для обеспечения заданной основности конечного шлака количество известняка вводится в один из скипов подачи. В процессе загрузки порций в приемную воронку, межконусное пространство и в результате перемещения слоев материала по поверхности засыпи происходит частичное перемешивание компонентов, однако, распределение их по радиусу колошника практически неуправляемо.

Задачи исследования. Задачей настоящего исследования является оценка возможностей управления распределением основности шихты по сечению печи путем изменения структуры смешанных многокомпонентных порций, формируемых с использованием оборудования и систем управления шихтоподачи, скипового подъемника и БЗУ. Рациональное распределение окатышей в объеме доменной печи является одним из определяющих условий стабильного ровного хода печи, долговечности шахты и воздушных фурм, обеспечения качества чугуна. ДП №6 НТМК работает с высоким содержанием окатышей в шихте – на уровне 50 – 60%. Технологические требования к распределению компонентов железорудных порций на колошнике при работе доменной печи с высоким содержанием окатышей, как правило, заключаются в следующем:

- ограничение содержания окатышей в пристеночной зоне печи на уровне, определяемом допустимым содержанием закиси железа в первичном шлаке;

- близкое к равномерному распределение окатышей в смеси с агломератом в промежуточной зоне колошника;

- предотвращение концентрации окатышей в осевой зоне.

Указанные требования в практике работы доменных печей, оснащенных БЗУ, реализуются технологическими приемами, включающими направленные формирование порций железорудных материалов с головной частью, состоящей из агломерата, и смешанной частью, состоящей из агломерата и окатышей, в сочетании с программами загрузки, учитывающими данные требования.

Изложение основных материалов исследования. На ДП №6 при выборе программ загрузки руководствовались требованиями ограничения попадания окатышей в периферийную и осевую зоны колошника. Реализация этих требований осуществлялась нерационально – путем раздельной загрузки порций агломерата и окатышей, соответственно, в угловые позиции распределителя А – 12223399 и О – 566788, что обеспечивало выгрузку окатышей в промежуточную зону. При этом коксовые порции выгружались в промежуточную и осевую зоны колошника по программе К 4556677889. Распределение объемов шихтовых материалов по радиусу колошника приводило к формированию куполообразного профиля засыпи, что могло способствовать сползанию слоев окатышей к стенке печи.

Для предотвращения образования выпуклого профиля засыпи была разработана программа загрузки, которая обеспечила формирование воронкообразного профиля засыпи, более равномерное распределение окатышей по сечению колошника и уменьшила вероятность концентрации окатышей в пристеночной зоне. Корректировка программ загрузки осуществлялась также с учетом технологических требований к распределению окатышей на колошнике: выгрузка окатышей осуществлялась в промежуточную зону из угловых позиций лотка 3–7, а коксовые порции, предшествующие в цикле загрузки порциям из окатышей, выгружались, как правило, с образованием углубления в промежуточной зоне за счет соответствующего распределения объемов этих порций. Качество реализации выше указанных технологических требований в значительной мере зависело от исходных профилей поверхности засыпи, на которые выгружались порции агломерата и окатышей, положения гребня и размеров осевой воронки. Кроме этого, раздельная загрузка порций агломерата и окатышей могла приводить к разрывам полей плавления и шлакообразования в объеме столба шихты, а также к образованию трудновосстановимых конгломератов (спеков) из размягченных окатышей.

Для предотвращения этих негативных проявлений свойств окатышей на начальном этапе работы ИЧМ было рекомендовано применение смешанной загрузки агломерата и окатышей. При увеличении содержания окатышей в шихте до 60% окатыши были введены во второй скип первой железорудной порции полуцикла подач в количестве 10,0 – 11,0 т (при цикле загрузки, состоящем из восьми порций). Вторая железорудная порция состояла из окатышей. В дальнейшем количество окатышей в первой порции было увеличено до 18,0 – 22,0 т, а часть агломерата в количестве 6,0 – 10,0 т загружалась в первый скип второй железорудной порции полуцикла подач. Оставшаяся масса окатышей загружалась в смеси с агломератом (8,0 – 12,0 т) во второй порции полуцикла.

Для оценки распределения компонентов железорудных порций по радиусу колошника выполнено математическое моделирование процесса выгрузки железорудных порций из бункера БЗУ двух подач цикла загрузки, состоящего из восьми порций (полуцикла из четырех порций). Распределение компонентов порции в потоке материала, подаваемого в загрузочное устройство, формируется при наборе компонентов в бункерные весы и скип. В системах загрузки со скиповой доставкой шихты на колошник порция в законченном виде формируется в бункере БЗУ. Последовательность выхода компонентов порции из бункера БЗУ, а, следовательно, и распределение компонентов потока выгружаемых материалов в течение времени выгрузки бункера, определяется расположением компонентов по объему порции в бункере БЗУ перед выгрузкой, которое, существенно зависит от распределения компонентов в потоке материалов при загрузке бункера. Задача создания требуемой структуры смешанных порций решается путем реализации заданного распределения масс компонен-

тов по скипам одной или нескольких подач и последовательности их загрузки в бункерные весы железорудных материалов.

В матрицу загрузки системы управления шихтоподачей ДП №6 вводится задание на набор компонентов четырех железорудных скипов (двух порций) в бункерные весы. Как правило, агломерат и окатыши из-за недостаточной производительности сборных конвейеров загружаются в бункерные весы железорудных материалов последовательно.

При математическом моделировании процесса выгрузки шихтовых материалов из бункера приняты следующие допущения:

- поверхность загруженного в бункер материала представляет собой конус с углом наклона образующей, равным углу естественного откоса при загрузке данного вида материала;

- зона интенсивного движения материала в бункере БЗУ имеет конусообразную форму с углом наклона образующей ($70 - 75^0$ к вертикали);

- в процессе истечения шихтового материала на его поверхности в бункере формируется воронка с углом наклона, равным углу естественного откоса, характерному для данного шихтового материала;

- объемный расход при истечении шихтовых материалов из бункера остается постоянным в течение выгрузки порции.

Последовательность выхода отдельных массивов материала из бункера принята в соответствии с основными положениями известных математических моделей истечения сыпучих материалов. То есть, предполагается, что вначале из бункера выгружаются объемы материалов, ограниченные конусообразной зоной интенсивного движения. После выгрузки указанных объемов из бункера, в зону активного движения материала поступает объем материала, в процессе выгрузки которого на поверхности материала формируется воронка с углом наклона образующей, равным углу естественного откоса материала. Далее, зона активного движения расширяется за счет послойного сдвига материала с поверхности воронки.

В качестве исходных данных математической модели задаются геометрические размеры бункера БЗУ, структура и масса порции, массы отдельных слоев компонентов в бункерных весах, содержание окатышей в порции, распределение массы порции по угловым позициям лотка, насыпные массы компонентов, углы естественного откоса шихтовых материалов при загрузке и выгрузке, угол наклона образующей зоны интенсивного движения материалов. В процессе формирования исходных данных учтено, что при выгрузке скипов в бункер БЗУ происходит смешивание компонентов порции, расположенных в различных слоях скипа.

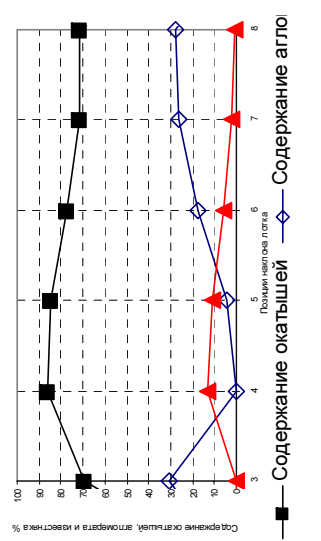
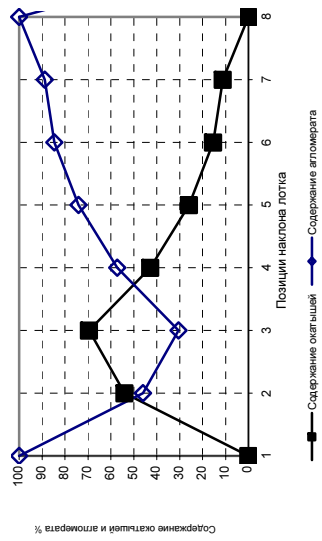
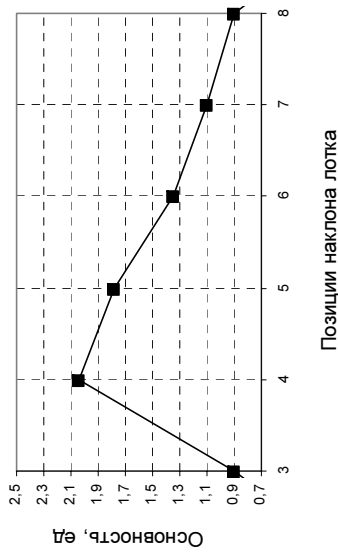
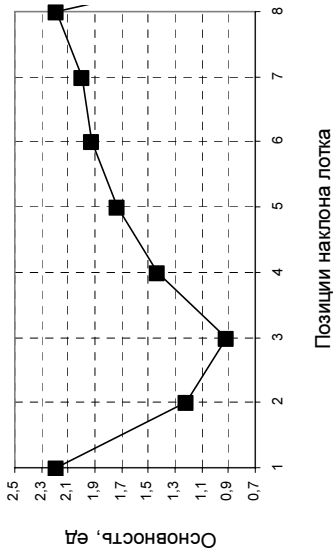
С мая 2006 г. формирование железорудных порций осуществляется с частичным смешиванием агломерата и окатышей, в соответствии с матрицей загрузки 1, приведенной в табл.1. Результаты математического моделирования распределения компонентов железорудных порций, сформированных в соответствии с матрицей 1, приведены на рис.1. Первая железорудная порция приведенной матрицы загружалась по программе

122233445678 (распределение компонентов показано на рис.1а, распределение основности – на рис.1б), вторая – по программе 33444555666778 (рис.1в, 1г). Формирование порций в соответствии с матрицей 1 в сочетании с указанными программами загрузки в течение второй половины 2006г. способствовало стабилизации хода печи и повышению эффективности плавки. Полученные результаты показывают, что загрузка несмешанного агломерата в первый скип полуцикла подач обеспечивает реализацию технологических требований по ограничению концентрации окатышей в периферийной и осевой зонах при выгрузке первой железорудной порции на колошник. При выгрузке второй железорудной порции обеспечивается достаточно равномерное распределение окатышей по всем позициям с некоторым уменьшением их содержания в периферийной и осевой зонах. Вместе с тем, распределение основности шихты в целом по радиусу колошника характеризуется существенной неравномерностью. Во второй порции полуцикла подач неравномерность распределения основности определяется распределением известняка при выгрузке из бункера БЗУ. Известняк загружается на днище второго скипа второй порции и в бункере БЗУ располагается в верхнем слое, что и обуславливает его повышенную концентрацию в зонах, соответствующих четвертой и пятой позициям лотка (рис.1в, 1г). Это может привести к образованию обособленных массивов материала, характеризующихся существенными различиями параметров шлакообразования.

Уменьшение неравномерности распределения основности шихты по радиусу колошника может быть достигнуто изменением распределения массы известняка по скипам полуцикла подач. В табл.2 (матрица загрузки 2) показан один из вариантов повышения равномерности распределения основности шихты по радиусу колошника путем распределения массы известняка равными долями во второй, третий и четвертый скипы полуцикла подач. Как показывают результаты математического моделирования процесса выгрузки железорудных порций из бункера БЗУ, приведенные на рис.2, такой прием позволяет существенно уменьшить неравномерность распределения основности шихты по позициям лотка при выгрузке как первой, так и второй порций рассматриваемого полуцикла.

Таблица 1 – Матрица загрузки шихтовых материалов в бункерные весы ЖРМ, применяемая с мая 2006г.
(матрица 1 – базовый вариант).

| № скипа в полу- цикле подач | Левая сторона шихтоподачи | | | | | | Правая сторона шихтоподачи | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|----------------|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|----------------------------|------|---------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------|------|------|---------------------------------|------------------------|----------------|------------------------|------------------------|--|--|--|
| | Последовательность загрузки материала в бункерные весы ЖРМ | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 2 | 2 | | | | | | |
| Агло- мерат КТОК | Агло- мерат КТОК | Агло- отсев | Агло- отсев | Ока- тыши КТОК | Ока- тыши КТОК | Из- вест- няк | Кокс | Кокс | Из- вест- няк | Ока- тыши КТОК | Ока- тыши КТОК | Ока- тыши КТОК | Из- вест- няк | Кокс | Кокс | Агло- мерат марг. ВГОК | Агло- мерат КТОК | Агло- отсев | Агло- мерат КТОК | Агло- мерат КТОК | | | |
| 1 | | | | | | | 6550 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | 6550 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 4965 | 4965 | 2180 | 2180 | | | | | | | | | | | | | | 2180 | 4965 | 4965 | | | |
| 4 | 2150 | 2150 | | | 5050 | 5050 | | | | | | 5050 | | | 5050 | | | | 2150 | 2150 | | | |
| 5 | | | | | | | 6550 | | | | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | 6550 | | | | | | 6550 | | | | | | | | | |
| 7 | 2150 | 2150 | | | 5050 | 5050 | | | | 5050 | 5050 | | | | 5050 | | | | 2150 | 2150 | | | |
| 8 | | | | | 6250 | 6250 | | | 1979 | 6250 | 6250 | | 1979 | | 6250 | 502 | | | | | | | |



б)

а)

г)

в)

Рис. 1. Распределение компонентов железорудных порций по позициям лотка при загрузке скипов в соответствии с матрицей 1 (базовый вариант).

Таблица 2. Матрица загрузки шихтовых материалов в бункерные весы ЖРМ с загрузкой известняка равными долями во второй, третьей и четвертой скипы (матрица 2).

| № скипа в полуцикле подач | Левая сторона шихтоподачи | | | | | Правая сторона шихтоподачи | | | | | | | | |
|--|--|-----------|-----------|--------------|-----------|----------------------------|------|-----------|--------------|-----------|------|----------------------|----------------|----------------|
| | Последовательность загрузки материала в бункерные весы ЖРМ | | | | | | | | | | | | | |
| | 2 | 2 | 3 | 3 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | | | |
| Вид и масса материала, загружаемого в бункерные весы ЖРМ, кг | | | | | | | | | | | | | | |
| Агломерат КГОК | Агломерат КГОК | Аглоотсев | Аглоотсев | Окатыши КГОК | Известняк | Кокс | Кокс | Известняк | Окатыши КГОК | Известняк | Кокс | Агломерат марг. ВГОК | Агломерат КГОК | Агломерат КГОК |
| 1 | | | | | | 6550 | 6550 | | | | | | | |
| 2 | | | | | | 6550 | | | | | | | | |
| 3 | 4965 | 4965 | 2180 | 2180 | | | | | | | | | 2180 | 4965 |
| 4 | 2150 | 2150 | | | 5050 | 660 | | 660 | 5050 | 660 | | | 5050 | 2150 |
| 5 | | | | | | | 6550 | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | | | | 6550 | | | |
| 7 | 2150 | 2150 | | | 5050 | 660 | | 660 | 5050 | 660 | | | 5050 | 2150 |
| 8 | | | | | 6250 | 660 | | 660 | 6250 | 660 | | | 6250 | 502 |

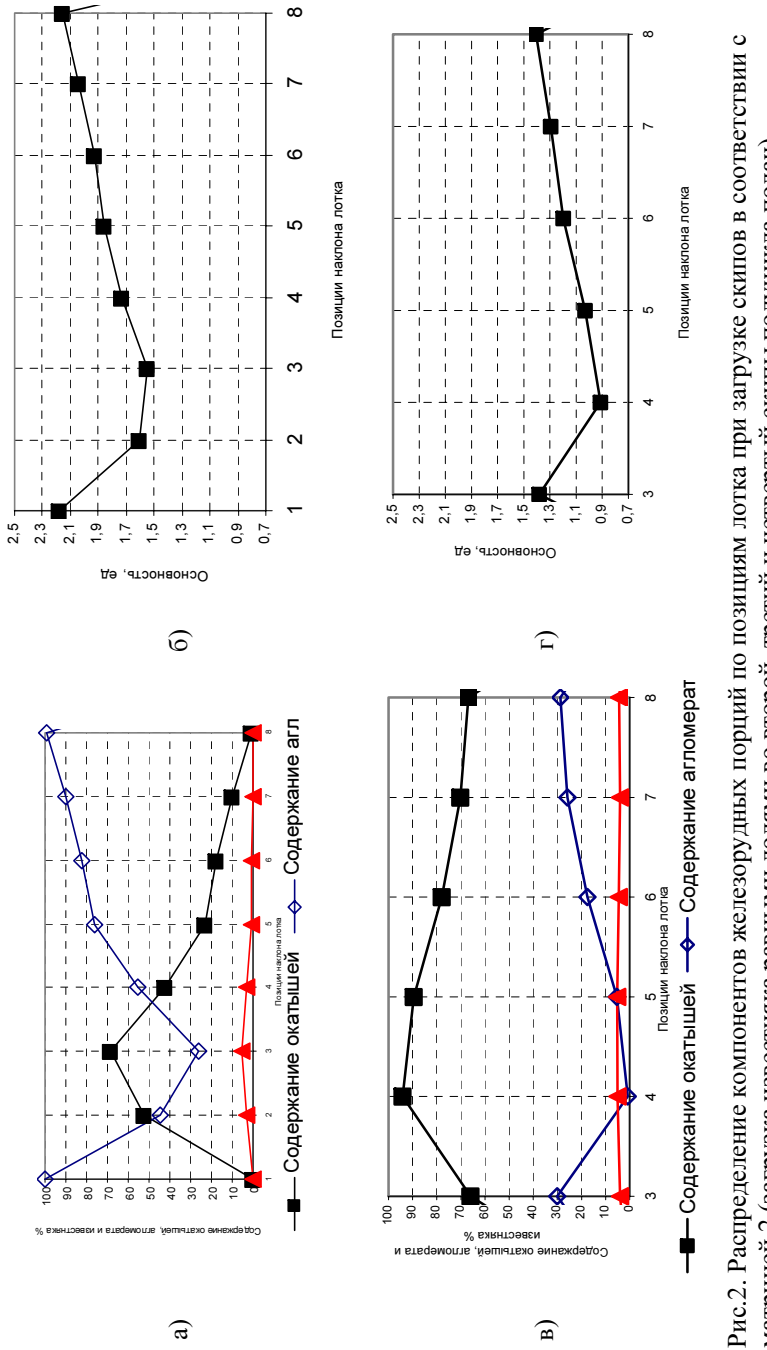


Рис.2. Распределение компонентов железорудных порций по позициям лотка при загрузке скипов в соответствии с матрицей 2 (загрузка известняка равными долями во второй, третий и четвертый скипы полуцикла подач).

Таблица 3. Матрица загрузки шихтовых материалов в бункерные веса ЖРМ, обеспечивающая в периферийной зоне колошника соотношение агломерата и окатышей 40% : 60% и равномерное распределение основности по позициям лотка (матрица 3).

| № скани в полу- цикле подач | Левая сторона шихтоподачи | | | | | | | | | | Правая сторона шихтоподачи | | | | | | | | | | |
|--------------------------------------|--|------------------------|----------------|----------------|----------------------|----------------------|---------------------|------|------|---------------------|--|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------|----------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------|
| | Последовательность загрузки материала в бункерные веса ЖРМ | | | | | | | | | | Последовательность загрузки материала в бункерные веса ЖРМ | | | | | | | | | | |
| | 2 | 2 | 3 | 3 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| | Агло- мерат КГОК | Агло- мерат КГОК | Агло- отсев | Агло- отсев | Ока- тыши КГОК | Ока- тыши КГОК | Из- вест- няк | Кокс | Кокс | Из- вест- няк | Из- вест- няк | Ока- тыши КГОК | Ока- тыши КГОК | Ока- тыши КГОК | Агло- мерат марг. ВГОК | Агло- отсев | Агло- мерат КГОК | Агло- мерат КГОК | Агло- мерат КГОК | Агло- мерат КГОК | |
| 1 | | | | | | | | 6550 | | | | | | | | | | | | | |
| 2 | | | | | | | | 6550 | | | | | | | | | | | | | |
| 3 | 2180 | | | | | 8175 | | | | | | 8175 | | | | 3270 | | | | 2180 | |
| 4 | 2725 | 2725 | | | | 8175 | 660 | | | 660 | | | | | | | 2725 | | | 2725 | |
| 5 | | | | | | | | 6550 | | | | | | | | | | | | | |
| 6 | | | | | | | | 6550 | | | | | | | | | | | | | |
| 7 | 2725 | 2725 | | | | | 660 | | | 660 | | 8175 | | | | | | | | 2725 | 2725 |
| 8 | 2725 | 2725 | | | | 8175 | 660 | | | 660 | | | | | | | 8175 | 502 | | 2725 | 2725 |

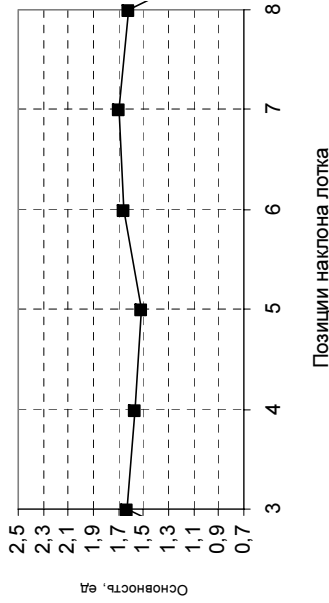
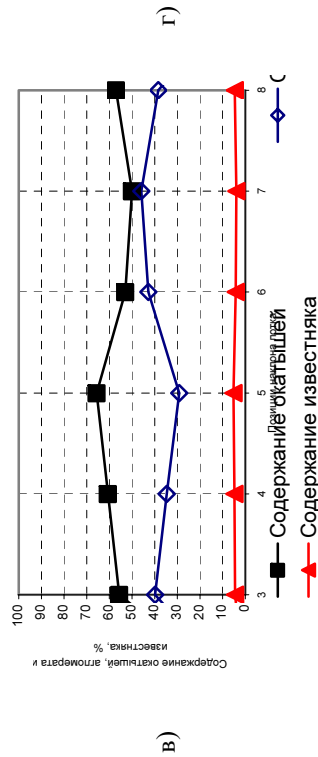
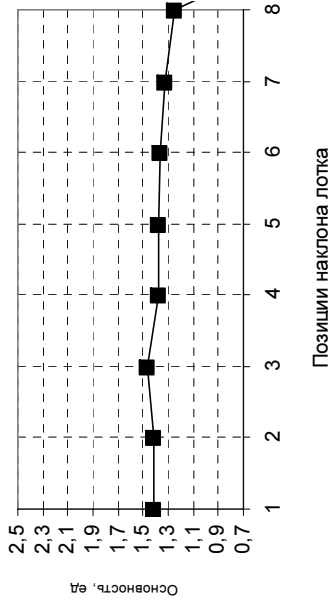
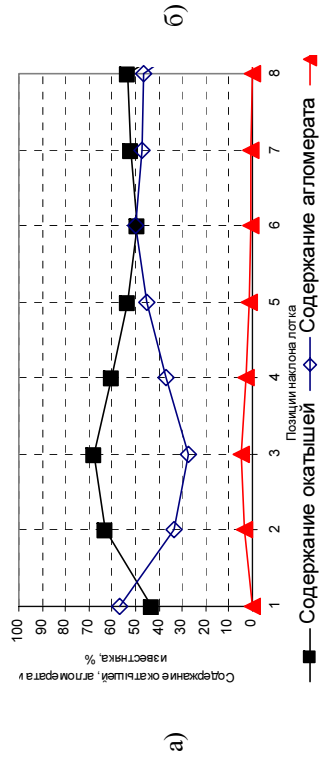


Рис.3. Распределение компонентов железорудных порций по позициям лотка при загрузке скипов с матрицей 3 (загрузка агломерата и окатышей в соотношении 40% : 60% в каждый скип, известняк – равными долями во второй, третий и четвертый скипы полуцикла).

Исследованиями, выполненными Уральским институтом металлов (УИМ), установлено, что наиболее благоприятные условия для образования гарнисажа при работе доменной печи с высоким содержанием окатышей создаются в том случае, когда слой шихты в пристеночной зоне представляет собой смесь агломерата и окатышей в соотношении 60% : 40%. Следует отметить, что указанное соотношение нельзя однозначно трактовать, как достаточно строгий технологический критерий, определяющий оптимальное соотношение агломерата и окатышей в периферийной зоне, оно может быть использовано в качестве ориентира, который требует практического подтверждения.

В качестве варианта формирования порций с соотношением агломерата и окатышей в пристеночной зоне, близким к предложенному УИМ, приведены массы компонентов и их последовательность загрузки в бункерные весы железорудных материалов в табл.3 (матрица 3). В матрице 3 массы агломерата и окатышей распределены равными частями по всем четырем скипам полуцикла подач. Известняк не грузится в первый скип, а в последующие три скипа полуцикла загружается равными частями. Результаты математического моделирования распределения компонентов железорудных порций, сформированных в соответствии с матрицей 3, по позициям лотка приведены на рис.3. Предложенный вариант формирования железорудных смешанных порций и программа их распределения на колошнике обеспечивают рекомендуемое УИМ соотношение агломерата и окатышей в периферийной зоне печи и, наряду с этим, достаточно равномерное распределение основности шихты по радиусу колошника. Опробование этого варианта формирования и загрузки смешанных железорудных порций должно производиться путем постепенного изменения матрицы загрузки от базового варианта (или варианта, соответствующего матрице 2), при постоянном контроле параметров плавки.

Заключение. Выполнена оценка технологических возможностей оборудования системы загрузки в отношении формирования смешанных железорудных порций шихтовых материалов и распределения их компонентов по радиусу колошника. Показано, что имеющиеся возможности по изменению структуры смешанных порций и реализации программ загрузки печи позволяют обеспечить заданное соотношение агломерата и окатышей в периферийной зоне и управление распределением основности шихты по радиусу колошника.

1. Готлиб А.Д. Доменный процесс. – М.:Металлургия, 1966.–504 с.
2. Большаков В.И. Теория и практика загрузки доменных печей. – М.:Металлургия, 1990.–256 с.
3. Доменное производство «Криворожстали» /В.И. Большаков, А.В. Бородулин, Н.А. Гладков и др.//Днепропетровск, 2004.–377с.

Статья рекомендована к печати д.т.н., проф. Д.Н.Тогобицкой