

В.И.Большаков, Н.Г.Иванча, В.И.Вишняков

**РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ЗАГРУЗКИ
МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ ПОРЦИЙ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ
В БУНКЕР БЕСКОНУСНОГО ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА
И ВЫГРУЗКИ ИХ ИЗ БУНКЕРА**

Целью настоящей работы является разработка расчетного инструмента определения компонентного состава потока при выгрузке смешанных порций шихтовых материалов в доменную печь из бункера бесконусного загрузочного устройства (БЗУ). Изложены основные положения математических моделей загрузки и выгрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов. Показаны особенности формирования порций в системах загрузки с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник. Разработана математическая модель определения компонентного состава шихтовых материалов, выгружаемых из заданных угловых положений лотка БЗУ.

доменная печь, бесконусное загрузочное устройство, шихтовые материалы, модели загрузки

Современное состояние вопроса. В современных условиях ведения доменной плавки, характеризующихся многокомпонентностью используемых шихтовых материалов, а также вовлечением в состав шихты отсевов железосодержащих материалов и кокса особую актуальность приобретает необходимость прогнозирования распределения компонентов шихты в доменной печи, в значительной степени определяющего эффективность доменной плавки. Решение этой задачи представляется возможным только при наличии расчетных методов прогноза на базе математического моделирования процессов загрузки шихтовых материалов в бункер БЗУ и их последующей выгрузки в доменную печь. При выполнении проекта целевой программы НАН Украины «Фундаментальные проблемы создания материалов с заданными свойствами, методов их соединения и обработки» в ИЧМ разработаны математические модели загрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов в бункер БЗУ и их выгрузки из бункера.

Основные результаты исследований. Формирование параметров распределения компонентов в потоке шихтовых материалов, выгружаемых на поверхность засыпи, осуществляется на всех стадиях формирования порций шихтовых материалов, доставки их на колошник и выгрузки в печь. В зависимости от способа доставки шихты на колошник формирование порций шихтовых материалов осуществляется путем выгрузки компонентов шихты в определенной последовательности и с заданным распределением масс компонентов на конвейере или в скипах на основании технологических требований к структуре порции. Технологические требования к структуре порции должны содержать параметры, на основа-

нии которых однозначно определяется распределение компонентов по объему порции.

Структура порции в системах загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник может быть задана присвоением компонентам соответствующих индексов, заданием масс доз компонентов, определением ведущего компонента (поступающего первым в бункер загрузочного устройства), заданием значений смещения начала и окончания дозы каждого компонента, выраженных в единицах массы, относительно начала дозы ведущего компонента. Указанное смещение для конкретного компонента задается в виде значений суммарной массы шихтовых материалов, выгруженных на конвейер, к моменту начала выгрузки дозы этого компонента. При этом принимается допущение о постоянстве расхода шихтового материала при выгрузке из бункерных весов на конвейер. Пример схематического изображения структуры многокомпонентной порции на конвейере с указанием параметров, необходимых для формализованного описания процесса загрузки в бункер БЗУ, приведен на рис. 1.

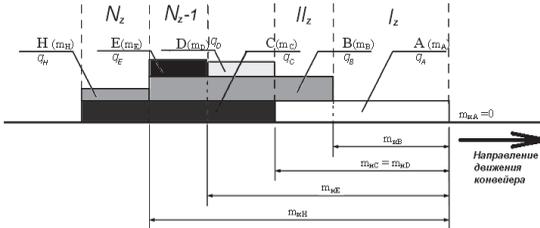


Рис. 1. Структура смешанной многокомпонентной порции шихтовых материалов на конвейере.

А, В, С, D, Е, Н – индексы компонентов; $m_A, m_B, m_C, m_D, m_E, m_H$ – массы доз компонентов, т; $m_{HA}=0$ –

начало порции шихтовых материалов; $m_{HA}, m_{HB}, m_{HC}, m_{HD}, m_{HE}, m_{HN}$ – значения суммарной массы шихтовых материалов, выгруженных на конвейер к моменту начала выгрузки соответствующего компонента, т; $q_A, q_B, q_C, q_D, q_E, q_H$ – расходы доз компонентов, т/с; $I_2, I_1, \dots, N_2-1, N_2$ – индексы слоев материалов, образующихся при загрузке порции в бункер БЗУ.

При конвейерной загрузке в бункер БЗУ каждая часть порции на конвейере, отличающаяся составом компонентов, образует в бункере отдельный слой, в котором сохраняются исходные массы компонентов и их соотношение.

В системах со скиповой доставкой шихты на колошник порция шихтовых материалов в законченном виде формируется в бункере загрузочного устройства, в связи с чем, наряду с последовательностью загрузки скипов подачи, должно задаваться расположение слоев компонентов и их смесей для каждого скипа подачи в виде индекса слоя, соответствующего очередности поступления компонента или смеси компонентов в скип с указанием масс шихтовых материалов в каждом слое (рис.2). При синхронной загрузке в скип двух и более компонентов состав слоя, образованного смесью компонентов, определяется из условия постоянства расходов потоков компонентов в течение времени их загрузки в скип.

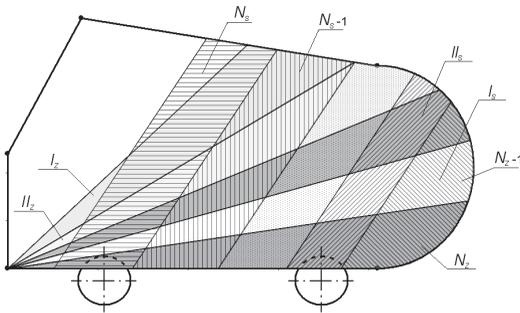


Рис.2. Схема условной разбивки объема шихтовых материалов в скипе на слои, последовательно выгружающиеся в бункер БЗУ.

$I_{s1} \dots N_{s1}$ – индексы слоев материалов, образующихся при загрузке скипа; $I_2, \dots N_2$ – индексы слоев материалов, образующихся при выгрузке скипа в бункер БЗУ.

Основной целью первого этапа разработки являлось создание формализованного описания процесса загрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов для систем с конвейерной и скиповой загрузкой их в бункер загрузочного устройства, позволяющего на основании заданной структуры смешанных порций и параметров бункера БЗУ определить расположение слоев материала с различным содержанием компонентов, образующихся при загрузке в бункер БЗУ, и компонентный состав каждого слоя.

Основные допущения, принятые при разработке математического описания процесса загрузки многокомпонентных порций в бункер БЗУ в системах загрузки с конвейерной доставкой шихты на колошник:

- последовательность расположения доз компонентов по длине порции на конвейере соответствует очередности загрузки этих доз в бункер загрузочного устройства;
- расход шихтового материала при выгрузке из бункерных весов на конвейер является постоянной величиной;
- внутри слоя, выделенного в бункере БЗУ, компоненты распределены (смешаны) равномерно;
- поверхность загруженного в бункер слоя представляет собой конус, вершина которого расположена на вертикальной оси бункера, а угол наклона образующей определяется углами естественного откоса компонентов и их содержанием в данном слое;
- насыпная масса материала слоя определяется как средневзвешенное значение насыпных масс компонентов этого слоя;
- предполагается, что последующий загружаемый слой шихтовых материалов полностью накрывает поверхность предыдущего загруженного слоя.

При математическом моделировании процесса загрузки многокомпонентных порций в бункер БЗУ в системах загрузки со скиповой доставкой шихты на колошник приняты следующие основные допущения:

- последующий загружаемый в скип слой полностью накрывает собой предыдущий загруженный слой;

- поверхность загруженного в скип материала представляет собой наклонную в направлении затвора бункерных весов плоскость с углом наклона к горизонтали на $5-10^\circ$ меньшим угла естественного откоса;

- при движении скипа до входа в разгрузочные кривые слои материала в скипе сохраняют свое положение, сформировавшееся при его загрузке;

- выгрузка материалов из скипа в бункер БЗУ осуществляется в процессе движения скипа в разгрузочных кривых, начиная с момента, когда угол наклона свободной поверхности материала в скипе к горизонтали превысит угол сопротивления сдвигу материала (как правило, для основных компонентов доменной шихты указанный угол находится в пределах $35-45^\circ$).

Для разработки математического описания процесса выгрузки шихтовых материалов из скипа весь объем шихтовых материалов в скипе разбивается на отдельные, последовательно ссыпающиеся слои равного объема, размер которых определяется необходимой точностью последующего определения распределения масс компонентов в бункере БЗУ. Каждому слою присваивается индекс, соответствующий очередности его поступления в бункер БЗУ. Во время выгрузки шихтовых материалов при повороте скипа в разгрузочных кривых, из-за различия значений углов наклона поверхностей слоев, образующихся при загрузке скипа, и углов внутреннего трения материала, плоскость, по которой происходит ссыпание очередного слоя, пересекает контуры слоев материалов, образовавшихся при загрузке скипа, вследствие чего происходит перемешивание компонентов различных слоев. В процессе математического моделирования определяются площади и объемы геометрических фигур, образующихся при пересечении линий, ограничивающих ссыпающийся слой, с контурами слоев с различным составом шихтовых материалов, образовавшихся при загрузке скипа (рис.2).

Определение распределения масс компонентов и их смесей в объеме порции, загруженной в бункер БЗУ, для вариантов скиповой и конвейерной загрузки бункера осуществляется идентично. Для упрощения математического описания и достижения определенной гибкости математической модели целесообразно принять допущение о осесимметричности загрузки бункера, то есть, о совпадении вертикальной оси симметрии бункера БЗУ и оси загружаемого в него потока шихтовых материалов. Подобное допущение не приводит к существенным качественным искажениям в описании закономерностей процессов загрузки и выгрузки шихтовых материалов из бункеров и используется в известных разработках математических моделей аналогичных объектов [2,3,5,6].

На основании известного объема слоя шихтовых материалов, загружаемых в бункер БЗУ, определяются координаты точек пересечения обра-

зующих поверхности шихтовых материалов, формирующейся после загрузки данного слоя, с линиями внутреннего контура бункера БЗУ. При этом предполагается, что поскольку вертикальная ось загрузки совпадает с вертикальной осью бункера, то объем каждого последующего слоя, загруженного в бункер, сверху ограничивается конической поверхностью с углом наклона образующей, значение которого приближается к углу естественного откоса данного вида материала. Таким образом, становится возможным представить структуру порции в бункере БЗУ в виде последовательного ряда слоев различной формы с известным объемом и составом компонентов каждого слоя, что при наличии индекса каждого слоя однозначно характеризует структуру многокомпонентной порции в бункере. Пример формализованного представления структуры многокомпонентной порции, приведенной на рис.1, после загрузки в бункер БЗУ показан на рис.3.

Второй этап разработки заключался в создании формализованного описания выгрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов из бункера загрузочного устройства и вывод зависимостей для оценки распределения содержания компонентов порций по позициям лотка БЗУ. Результаты многочисленных наблюдений и экспериментальных исследований на промышленных объектах доменного производства позволяют классифицировать истечение порций шихтовых материалов из бункеров БЗУ, как нормальный вид истечения [7].

В общем виде последовательность выхода отдельных, условно выделенных, массивов сыпучего материала при указанном виде истечения может быть представлена следующим образом. При открывании затвора в первую очередь из бункера выгружается объем материала, ограниченный поверхностью «фигуры выпуска», представляющей собой тело вращения конусообразной формы, вертикальная ось которого совпадает с вертикальной осью бункера, и расположенное непосредственно над выпускным отверстием. Зона, которая в начале процесса истечения определяется, как «фигура выпуска», в дальнейшем преобразуется в зону активного движения материала, где скорость движения сыпучего материала к выпускному отверстию значительно больше, чем за ее пределами.

После выгрузки из бункера объема материала, ограниченного «фигурой выпуска» на свободной поверхности материала образуется воронка с углом наклона образующей, определяющимся физико-механическими свойствами данного вида материала. Далее, в зону активного движения в основном поступает материал, послонно ссыпающийся с поверхности воронки. Послойно ссыпание материала в зону активного движения сохраняется до окончания истечения и сопровождается понижением уровня шихтовых материалов в бункере [1,4,5,8]. Последовательность выхода отдельных массивов шихтового материала из бункера БЗУ схематически показана на рис.3.

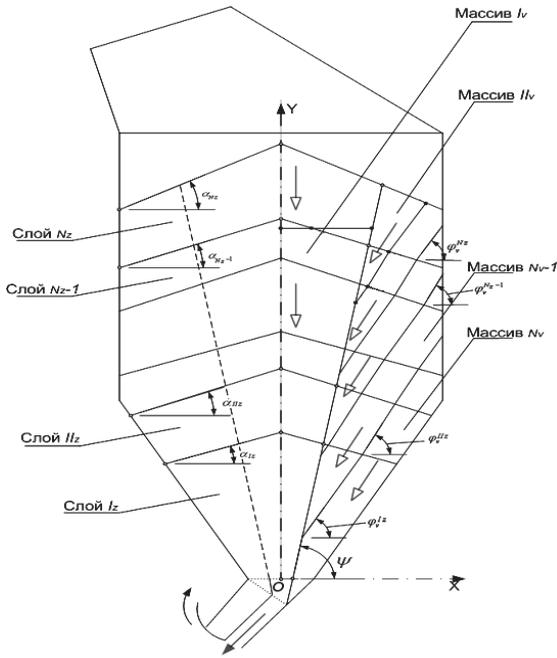


Рис.3. Схематическое изображение слоев шихтовых материалов, образовавшихся после загрузки порции в бункер БЗУ, и последовательности выгрузки условно выделенных массивов шихтовых материалов из бункера.

$\alpha_{I_z} \dots \alpha_{N_z}$ - углы откоса образующих поверхностей слоев, загруженных в бункер, град.;
 $\varphi_v^{I_z} \dots \varphi_v^{N_z}$ - углы динамического откоса образующих воронок схода шихтового материала, град.; Ψ - угол образующей «фигуры выпуска», град.; I_z, \dots, N_z - индексы слоев материалов, образо-

вавшиеся при загрузке порции в бункер БЗУ; I_v, \dots, N_v - индексы массивов материалов, образующихся при выгрузке порции из бункера БЗУ.

Для описания процесса движения шихтовых материалов в бункере БЗУ использован подход, на базе которого к настоящему моменту созданы математические модели для конкретных объектов и получены результаты, приемлемые для практического использования. Этот подход основан на описании закономерностей истечения шихтового материала в виде геометрических зависимостей, определяющих объем «фигуры выпуска», форма которой определяется экспериментально, и объемы массивов сыпучего материала, последовательно поступающих в дальнейшем в зону активного движения материала и движущихся вертикально к выпускному отверстию бункера.

Одним из обязательных условий является равенство объема материала, поступающего в единицу времени в зону активного движения, и объемного расхода выгружаемого материала. Для учета разрыхления материала внутри массива в бункере во время истечения и поступления некоторого количества материала в зону активного движения с поверхности, ограничивающей эту зону, некоторыми авторами вводится эмпирическая постоянная величина [3–7, 9].

Для разработки математического описания процесса выгрузки многокомпонентных порций из бункера БЗУ принят ряд допущений, которые позволяют упростить математическое описание без существенного ухудшения точности определяемых параметров и искажения качественных характеристик процесса. При формулировании допущений использовался опыт и оценка результатов математического моделирования процессов загрузки и истечения сыпучих материалов, полученных в ранее выполненных исследованиях [1–6], а также результаты собственных экспериментальных исследований процесса на действующих доменных печах [7].

Основные положения и допущения, принятые при разработке математического описания процесса выгрузки многокомпонентных порций из бункера БЗУ:

- ось зоны активного движения материала (ось потока, выгружаемых из бункера шихтовых материалов) совпадает с вертикальной осью бункера;

- в объеме загруженного в бункер БЗУ слоя шихтовых материалов компоненты, составляющие рассматриваемый слой, распределены равномерно;

- угол наклона образующей поверхности воронки, образующийся при выгрузке каждого загруженного в бункер слоя, определяется как средневзвешенное значение углов откоса компонентов слоя при выгрузке;

- при послойном ссыпании шихтовых материалов во время выгрузки в зону активного движения единичный рассматриваемый слой (элементарный массив) состоит из нескольких элементарных объемов (как правило, с различным содержанием компонентов), последовательно поступающих в зону активного движения материала. Предполагается, что в объеме выгруженного единичного слоя (элементарного массива) шихтовых материалов, составляющие его компоненты распределены равномерно.

Весь объем материала в бункере БЗУ, образующийся после загрузки порции, разбивается на условно выделенные элементарные объемы, последовательность выгрузки которых определяется их начальными координатами. Объем любого выгружаемого массива материала определяется в виде суммы объемов тел вращения, образованных пересечением границ массива с границами слоев материалов, сформированных при загрузке бункера БЗУ. При известном составе компонентов в элементарном объеме, дальнейшее определение состава выгружающихся массивов шихтового материала не представляет трудностей. В результате выполнения расчета определяется качественный и количественный состав шихтовых материалов в заданном интервале времени выгрузки порции. При этом указанный интервал может быть задан посредством текущих значений массы порции в бункере БЗУ. Структурная схема модели расчета компонентного состава потока шихтовых материалов, выгружаемого из бункера БЗУ, представлена на рис.4.



Рис.4. Структурная схема модели расчета компонентного состава потока шихтовых материалов, выгружаемого из бункера БЗУ.

Выходные данные математических моделей, описывающих физико-механические процессы загрузки шихтовых материалов в бункеры БЗУ и выгрузки из них, являются исходными для расчета параметров движения шихты в колошниковом пространстве и распределения шихтовых материалов на поверхности засыпи.

Выводы. Приведены основные положения и сформулированы допущения для математических моделей загрузки и выгрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов из бункера бесконусного загрузочного устройства (БЗУ). Использование указанных моделей обеспечивает возможность определения изменений компонентного состава потока шихтовых материалов при выгрузке порции. Показаны особенности задания параметров и формирования порций в системах загрузки с конвейерной и скиповой доставкой шихты на колошник. Разработано математическое описание процесса загрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов в бункер загрузочного устройства и алгоритм расчета геометрических параметров слоя шихтовых материалов, загруженного в бункер, что позволяет на основании заданной структуры смешанных порций и параметров бункера БЗУ определить расположение слоев материала с различным содержанием компонентов, образующихся при загрузке в бункер, и компонентный состав каждого слоя. Разработано математическое описание процесса выгрузки многокомпонентных порций шихтовых материалов из скипов в бункер БЗУ. Предложено математическое описание процесса выгрузки многокомпонентных порций шихты из бункера БЗУ, на основании которого разработана математическая модель, обеспечивающая возможность определения компонентного состава шихтовых материалов, выгружаемых из заданных угловых положений лотка БЗУ в соответствии с программой загрузки доменной печи.

1. *Алферов К.В., Зенков Р.Л.* Бункерные установки. М.: Машгиз.-1955.-308 с.
2. *Калинин А.П., Загайнов С.А., Ярошенко Ю.Г.* Математическая модель оценки качественных характеристик потока при их циклической загрузке и выгрузке из бункера / Изв. ВУЗов. Черная металлургия, 1985, №8.-С.95-98.
3. *Малахов Г.М.* Выпуск руды из обрушенных блоков. М.: Металлургиздат, 1952.- 288 с.
4. *Кватил Р.* Движение сыпучих материалов в бункерах. М.: Госгортехиздат, 1961.-81 с.
5. *Панич Ю.В., Пайкин М.З.* Математическая модель загрузки и истечения сыпучих материалов из накопительных емкостей с целью усреднения руд // Обогащение руд.- 1977, №3.- С.6-10.
6. *Куликов В.В.* Выпуск руды. М.: Недра, 1982.- 262 с.
7. *Большаков В.И., Зарембо А.Ю.* Особенности истечения шихтовых материалов из бункера бесконусного загрузочного устройства // Сб. ст. Металлургия и коксохимия, вып. 88, 1985,- С.31-34.
8. *Гячев Л.В.* Движение сыпучих материалов в трубах и бункерах. М.: Машиностроение.-1968.-184 с.

9. *Фиалков Г.М.* Параметры процесса разгрузки бункеров обогатительных фабрик / Изв. ВУЗов. Горный журнал, 1983, №6.- С.122-124.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук И.Г.Муравьевой*

В.І.Большаков, Н.Г.Іванча, В.И.Вишняков

Розробка математичних моделей завантаження багатоконпонентних порцій шихтових матеріалів у бункер безконусного завантажувального пристрою та вивгрузки їх з бункера

Метою роботи є розробка розрахункового інструменту визначення компонентного складу потоку при вивантаженні змішаних порцій шихтових матеріалів у доменну піч з бункера безконусного завантажувального пристрою (БЗП). Викладено основні положення математичних моделей завантаження і вивантаження багатоконпонентних порцій шихтових матеріалів. Показано особливості формування порцій в системах завантаження з конвеєрною і скиповою доставкою шихти на колошник. Розроблено математичну модель визначення компонентного складу шихтових матеріалів, що вивантажуються із заданих кутових положень лотка БЗП.