

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫГРУЗКИ ПОРЦИЙ ШИХТЫ ИЗ БУНКЕРОВ ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДОМЕННЫХ ПЕЧЕЙ

Сформулированы ограничения для продолжительности выгрузки порций из бункера бесконусного загрузочного устройства (БЗУ), обеспечивающие требуемый уровень пропускной способности системы загрузки и исключение «кострения» шихтовых материалов. Показана зависимость окружной неравномерности распределения шихты на колошнике от изменения расхода шихтовых материалов из бункера БЗУ. Исследованы зависимости расхода шихтовых материалов от величины открывания шихтового затвора. Получены зависимости для определения объемного расхода шихтовых материалов при выгрузке из бункера БЗУ.

доменная печь, бункер БЗУ, шихтовые материалы, распределение, расход, шихтовый затвор, угол открывания

Современное состояние вопроса. Повышение эффективности использования восстановительной способности газов в доменной печи обеспечивается, в первую очередь, за счет рационального распределения шихтовых материалов на колошнике. Требуемый уровень практической реализации рациональных программ загрузки и заданных параметров распределения шихтовых материалов достигается при наиболее полном использовании технологических возможностей оборудования системы загрузки. Заданное (или близкое к заданному) распределение рудной нагрузки может быть реализовано применением нескольких вариантов программы загрузки, однако, при выборе конкретной программы предпочтительнее варианты с использованием большего количества угловых рабочих положений лотка, поскольку в этом случае уменьшается вероятность искажения заданного распределения шихтовых материалов, вызванного самопроизвольным перемещением шихты по поверхности засыпи. Современная технология загрузки доменных печей, оснащенных бесконусными загрузочными устройствами (БЗУ), предусматривает выгрузку отдельных порций железорудных материалов и кокса с использованием до 10 угловых положений лотка, а требуемая неравномерность распределения рудных нагрузок по радиусу печи реализуется перераспределением масс компонентов в рамках заданного программой количества угловых положений. Количество используемых в программе загрузки угловых положений лотка определяет требуемую продолжительность выгрузки порций. При выборе рабочих значений продолжительности выгрузки порций шихты следует исходить из требований обеспечения достаточной пропускной способности системы загрузки, с учетом исключения возможности «кострения» шихтовых материалов в зоне выпускного отверстия бункера БЗУ, и минимизации окружной неравномерности распределения шихтовых материалов.

Постановка задачи. Условия обеспечения требуемой пропускной способности системы загрузки и стабильного истечения шихтовых материалов при выгрузке порций из бункера БЗУ могут быть представлены в виде:

$$t_{e j} > t_{en j} \cdot (1 - 2 \cdot n_{q j}), \quad (1)$$

$$t_{e j} > \frac{m_j}{q_{j \min}}, \quad (2)$$

где: $t_{e j}$ – расчетная допустимая продолжительность выгрузки текущей (j -й) порции шихтового материала, с; $t_{en j}$ – расчетная номинальная продолжительность выгрузки j -й порции, реализуемая без увеличения текущей продолжительности цикла загрузки, с; $n_{q j}$ – коэффициент вариации расхода шихтовых материалов j -й порции; m_j – масса j -й порции, кг; $q_{j \min}$ – минимальное значение расхода шихтовых материалов j -й порции, исключая возможность «кострения» в зоне выпускного отверстия, кг/с.

Расчетная номинальная продолжительность выгрузки порции $t_{en j}$, реализуемая без увеличения текущей продолжительности цикла загрузки порции, с учетом нестабильности скорости схода шихты, может быть определена как математическое ожидание «скользящей» выборки нескольких, предшествующих выгрузке данной порции, значений:

$$t_{en j} = \frac{1}{l} \cdot \sum_{j=1}^l (\Delta t_{3 j-1, j} - t_{uz} - t_3), \quad (3)$$

где: l – объем (количество значений) «скользящей» выборки; $\Delta t_{3 j-1, j}$ – интервал времени между началом подъема электромеханических зондов (уровнемеров) перед выгрузкой ($j - 1$) – й и j -й порций, с; t_{uz} – суммарная продолжительность операций открывания и закрывания шихтового затвора, с; t_3 – суммарная продолжительность операций опускания и подъема электромеханических зондов (уровнемеров), с.

Величина $q_{j \min}$ определяется по известным зависимостям $q = f(S)$ (S – площадь выпускного отверстия, м²) при минимальном допустимом линейном размере открытой части выпускного отверстия $a \geq (8 \div 10) \cdot d_j$ (d_j – средний размер куска шихтового материала в j -й порции, м) [1].

Окружную неравномерность распределения шихтовых материалов при выгрузке из одного, отдельно взятого углового положения лотка, предлагается учитывать следующим образом. При образовании незамкнутой части кольца материала в секторе с углом не менее 180°, неравномерность распределения (μ_i) оценивается как отношение массы материалов, выгруженных в это кольцо, к заданной массе материалов, выгружаемой в данном угловом положении лотка:

$$\mu_i = \frac{\Delta m_i}{m_i} = \frac{a_i \cdot q_j \cdot t_r}{m_i} \quad \text{при } a_i \leq 0,5, \quad (4)$$

где: Δm_i – масса материалов, выгруженная в незамкнутое кольцо в i -м угловом положении лотка, кг; m_i – заданная масса материалов, выгружаемая в i -м угловом положении лотка в соответствии с программой загрузки, кг; a_i – загруженная часть незамкнутого кольца (дробная часть числа k_i – количества оборотов лотка в i -м угловом положении); q_j – заданный расход шихтовых материалов при выгрузке j -й порции, кг/с; t_r – продолжительность одного оборота лотка, с.

$$k_i = \frac{m_i}{q_j \cdot t_r} = c_i + a_i, \quad (5)$$

c_i, a_i – соответственно, целая и дробная части числа k_i .

В случае, когда незамкнутая часть кольца образуется в секторе с углом менее 180° , неравномерность распределения принимается равной отношению массы, недогруженной в это кольцо до полного его замыкания ($\Delta m'_i$), к заданной массе материала, выгружаемой в этом угловом положении лотка:

$$\mu_i = \frac{\Delta m'_i}{m_i} = \frac{(1 - a_i) \cdot q_j \cdot t_r}{m_i} \quad \text{при } a_i > 0,5, \quad (6)$$

Для определения рациональной продолжительности выгрузки порций, исходя из требования минимизации окружной неравномерности распределения шихтовых материалов, могут быть применены два подхода. Первый в качестве основного критерия предусматривает минимальную сумму отношений массы шихтовых материалов, соответствующей незамкнутой части кольца материала, к заданной массе шихтовых материалов, в каждом угловом положении лотка БЗУ, используем при выгрузке порции в соответствии с программой загрузки. То есть, целевая функция может быть представлена в виде:

$$\sum_{i=1}^n \mu_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta m_i}{m_i} \rightarrow 0 \quad \text{или} \quad \sum_{i=1}^n \mu_i = \sum_{i=1}^n \frac{\Delta m'_i}{m_i} = \sum_{i=1}^n \frac{(1 - a_i) \cdot q_i \cdot t_r}{m_i} \rightarrow 0 \quad (7)$$

Второй подход предусматривает приоритетное обеспечение окружной равномерности распределения шихты в периферийной зоне путем гарантированного замыкания колец шихтовых материалов, выгружаемых в крайнем периферийном угловом положении лотка, используем в программе загрузки, и минимизации суммы $\sum_{i=1}^{n-1} \mu_i = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta m_i}{m_i}$ при выгрузке шихтовых материалов в остальных угловых положениях применяемой программы, то есть:

$$\Delta m_n = \mu_n \rightarrow 0; \sum_{i=1}^{n-1} \mu_i = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta m_i}{m_i} \rightarrow 0 \text{ или } \sum_{i=1}^{n-1} \mu_i = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{\Delta m_i'}{m_i} \rightarrow 0 \quad (8)$$

Таким образом, во втором случае для выбора рационального значения продолжительности порции из всего множества значений расхода шихтовых материалов рассматриваются только значения, обеспечивающие выполнение условия:

$$k_n = \frac{m_n}{q_j} = c_n; a_n = 0. \quad (9)$$

Оценка влияния расхода шихтовых материалов q_j на величину $\sum_{i=1}^n \mu_i$

показала, что с уменьшением расхода при выгрузке порций окружная неравномерность распределения шихты в целом снижается, однако на отдельных участках диапазона изменения расхода функция

$\sum_{i=1}^n \mu_i = f(q_j)$ имеет локальные экстремумы. На рис.1, в качестве приме-

ра, приведена зависимость показателя окружной неравномерности $\sum_{i=1}^n \mu_i$

от величины расхода шихтовых материалов q_j , полученная по формуле (7) при выгрузке железорудной порции массой 100,0 т по программе распределения, приведенной в таблице.

Для предотвращения возникновения выраженной окружной неравномерности распределения шихты целесообразно осуществлять выгрузку порций с максимально возможной продолжительностью истечения шихтовых материалов, поскольку, в этом случае, снижается относительная окружная неравномерность распределения массы материалов в любом из угловых положений лотка, а, кроме этого, снижается погрешность распределения шихты по угловым положениям, обусловленная выгрузкой материалов в течение времени перехода лотка из одного углового положения в другое и погрешностями определения начала перехода лотка. В связи с этим, конструкция шихтового затвора БЗУ должна обеспечивать возможность регулирования расхода шихтовых материалов в требуемом диапазоне и исключать возможность «кострения» шихтовых материалов при работе низкими значениями расхода.

Таблица. Программа распределения железорудной порции.

№ углового положения лотка БЗУ	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
Масса материала, т	–	15,0	18,0	22,0	17,0	12,0	16,0	–	–	–

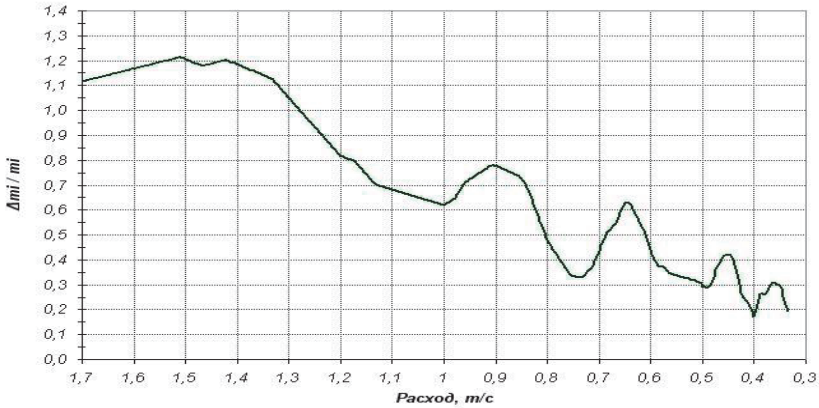


Рис.1. Зависимость показателя окружной неравномерности $\sum_{i=1}^n \mu_i$ от расхода шихтовых материалов q_j при выгрузке железорудной порции.

Изложение основных материалов исследования. С целью уточнения ранее полученных расходных характеристик шихтовых затворов БЗУ типа ND 1100 [2,3,4] и получения расчетных зависимостей, которые могут быть применены для затворов других типоразмеров, выполнены исследования зависимости величины объемного расхода шихтовых материалов от величины открывания шихтового затвора секторного типа при выгрузке из бункеров БЗУ фирмы «P. WURTH» на доменных печах объемом 2700–5580 м³. Бункеры БЗУ доменных печей, на которых проводились исследования, отличаются практически только высотой цилиндрической части, которая определяет общий объем бункера. Угол наклона рабочей поверхности нижней горловины (выпускной тетки) бункера к горизонтали составляет 50°. В рабочем положении шихтового затвора свободное сечение выпускного отверстия представляет собой многоугольник сложной формы (рис.2).

Фактический рабочий диапазон изменения угла открывания затвора (реальное угловое перемещение сектора затвора от полного перекрытия выпускного отверстия до полного открывания) составляет ≈60°. В АСУ доменных печей, как правило, шкала изменения положения шихтового затвора включает диапазон 0–90° или 0–120°, поэтому значения угла открывания, которые вводятся в соответствующие матрицы системы управления и отображаются при помощи средств индикации, не совпадают непосредственно с фактическим углом поворота сектора затвора и различных доменных печей при одинаковой площади свободного сечения выпускного отверстия могут существенно отличаться. Однако, независимо от диапазона применяемой в системе управления шкалы указанного пара-

метра реальный диапазон изменения угла поворота сектора шихтового затвора ND 1100, обуславливающий стабильное истечение и изменение расхода шихтового материала, находится в пределах $\approx 20\text{--}60^\circ$.

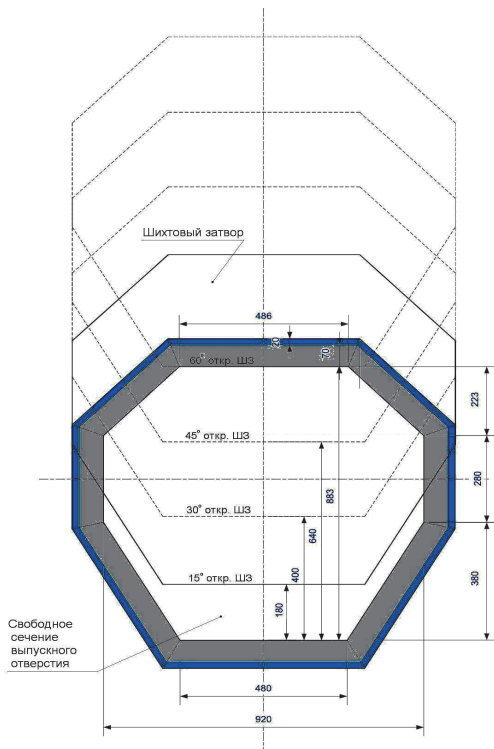


Рис.2. Шихтовый затвор бункера БЗУ в рабочих положениях.

В связи с этим, далее в тексте под углом открывания шихтового затвора подразумевается фактический угол поворота сектора от положения передней кромки рабочего органа, обеспечивающего полное перекрывание выпускного отверстия, то есть, положения в котором проекция передней кромки рабочего органа находится на одной вертикальной линии с проекцией нижней точки выпускной точки.

Зависимость площади свободного сечения выпускного отверстия от угла поворота шихтового затвора приведена на рис.3.

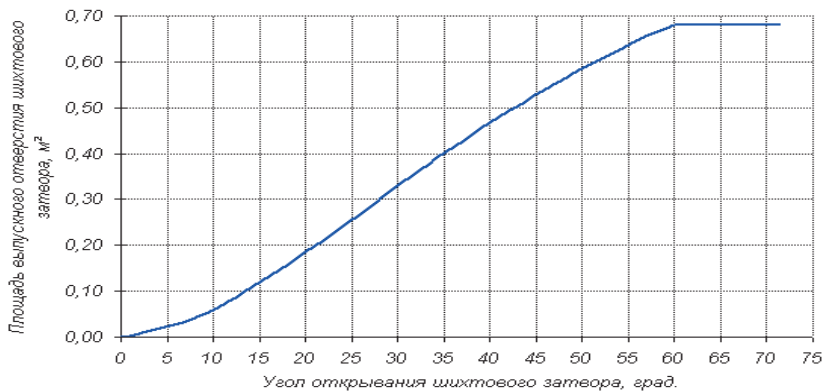


Рис.3. Зависимость площади свободного сечения выпускного отверстия бункера БЗУ от угла открывания шихтового затвора.

В процессе экспериментальных исследований получен ряд значений зависимости величины объемного расхода железорудных шихтовых материалов и кокса от угла открывания шихтового затвора и площади выпускного отверстия бункера БЗУ, приведенные на рис.4–7. Для расчетного определения объемного расхода материала в зависимости от площади выпускного отверстия при помощи метода анализа размерностей получены аналитические формулы (10,11), которые могут быть использованы при проектировании, настройке и исследованиях затворов аналогичной конструкции других типоразмеров.

Объемный расход кокса (W_k) и железорудных материалов ($W_{жр}$) при выгрузке из бункеров БЗУ может определяться по формулам (10) и (11), соответственно:

$$W_k = k_k \cdot \sin \alpha_{эм} \cdot S_{во}^{1,75} \cdot \frac{\sqrt{g}}{d_{ксп}}, \quad (10)$$

$$W_{жр} = k_{жр} \cdot \sin \alpha_{эм} \cdot S_{во}^{1,75} \cdot \frac{\sqrt{g}}{d_{жрсп}}, \quad (11)$$

где: $k_k = 0,0363$; $k_{жр} = 0,0162$ – численные коэффициенты в зависимостях для кокса и железорудных материалов, соответственно; $\alpha_{эм}$ – угол наклона рабочей поверхности нижней горловины (выпускной течки) бункера к горизонту, град; $S_{во}$ – площадь свободного сечения выпускного отверстия бункера БЗУ, м²; $g = 9,81$ м/с²; $d_{ксп}$; $d_{жрсп}$ – средние диаметры кусков кокса и железорудных материалов, соответственно, м.

Расчетные значения величин объемного расхода шихтовых материалов при выгрузке из бункера БЗУ, полученные с использованием формул (10) и (11) при $\alpha_{эм} = 50^\circ$; $d_{ксп} = 0,05$ м; $d_{жрсп} = 0,02$ м, а также значения, полученные по известным, традиционно применяющимся зависимостям [5], показаны на рис.4 и рис.5.

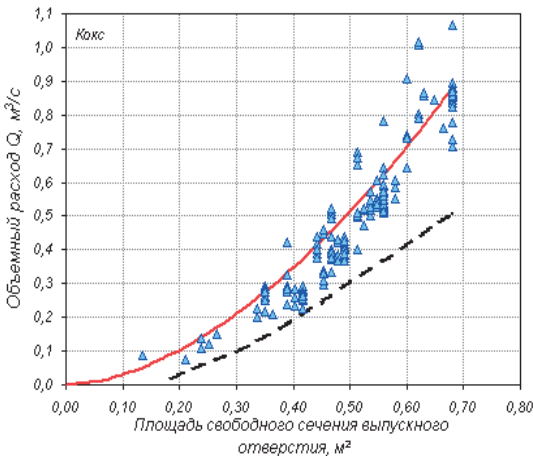


Рис.4. Экспериментальные и расчетные значения объемного расхода кокса при выгрузке из бункера БЗУ в зависимости от площади свободного сечения выпускного отверстия.

Δ – экспериментальные значения;
— – расчетные значения по предложенной формуле;
 - - - - - – расчетные значения по известной формуле [5].

могут потребовать уточнения (корректировки) значений численных коэффициентов $d_{кр}$ и $d_{жрер}$. Для первичной настройки шихтового затвора используется зависимость $\alpha_{шз} = f(W_{из})$ ($\alpha_{шз}$ – угол открывания шихтового затвора, град; $W_{из}$ – заданный объемный расход i -го шихтового материала, $м^3$), которая достаточно легко может быть получена на основании зависимостей (10) и (11) при аппроксимации зависимости $S_{го} = f(\alpha_{шз})$ (рис.3) линейной функцией (коэффициент достоверности аппроксимации составляет 0,98).

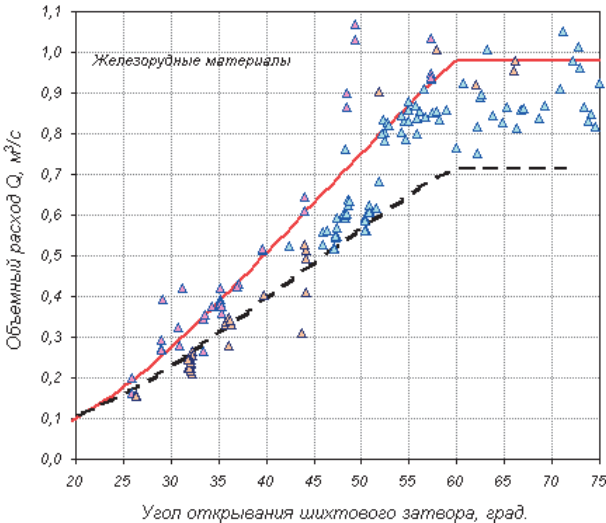


Рис.7. Экспериментальные и расчетные значения объемного расхода железорудных материалов при выгрузке из бункера БЗУ в зависимости от угла открывания шихтового затвора. Δ – экспериментальные значения; — — — — — расчетные значения по предложенной формуле; — — — — — расчетные значения по известной формуле [5].

Кроме этого, при первичной настройке шихтовых затворов БЗУ требуется привести в соответствие фактические значения угла поворота сектора затвора и значения шкалы системы управления.

В современных системах управления БЗУ после первичной настройки шихтовых затворов задача обеспечения достоверности параметров расходной характеристики для управления шихтовыми затворами решается при помощи специализированных алгоритмов обработки информации, поступающей от соответствующих средств контроля. В целом, сущность этих алгоритмов заключается в следующем: в процессе работы печи коэффициенты зависимости $\alpha_{шз} = f(W_{из})$ непрерывно обновляются на основе новых поступающих значений $\alpha_{шз}$ и $W_{из}$ с использованием метода «скользящей выборки» объемом 3–5 значений, что обеспечивает оперативную адаптацию указанной зависимости к изменениям характеристик шихтовых материалов и условий процесса их истечения.

Заклучение.

1. Предложены зависимости для выбора рациональной продолжительности порций шихты из бункеров загрузочных устройств доменных печей с учетом требований обеспечения заданной пропускной способности системы загрузки, исключения «кострения» шихтовых материалов в зоне выпускного отверстия бункера БЗУ и уменьшения окружной неравномерности распределения шихтовых материалов.

2. Получены зависимости для определения объемного расхода шихтовых материалов при выгрузке из бункера БЗУ, которые могут использоваться для оценки продолжительности выгрузки порций шихты на колошник при проектировании, настройке и исследованиях БЗУ современных доменных печей.

1. *Рогинский Г.А.* Дозирование сыпучих материалов. М.: Химия, 1978. – 176с.
2. *Большаков В.И., Шутылев А.Ф.* Определение расходных характеристик истечения шихтовых материалов из бункеров бесконусного загрузочного устройства. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 1988. № 1. – С.56–58.
3. *Большаков В.И., Зарембо А.Ю.* Особенности истечения шихтовых материалов из бункера бесконусного загрузочного устройства. // *Металлургия и коксохимия.* 1985. Вып. №88. – С.31–34.
4. *Большаков В.И., Шутылев А.Ф., Мамчиц Е.К.* Технологические требования к точности остановки рабочего органа шихтового затвора. // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* 1991. № 1. – С.54–56.
5. *Зенков Р.Л., Гриневич Г.П., Исаев В.С.* Бункерные устройства. М.: Машиностроение, 1977. – 225с.

*Статья рекомендована к печати
академиком НАН Украины В.И.Большаковым*

Н.Г.Іванча, В.І.Вишняков

Дослідження вивантаження порцій шихти з бункерів завантажувальних облаштувань доменних печей

Сформульовано обмеження для тривалості вивантаження порцій з бункера бесконусного завантажувального пристрою (БЗП), що забезпечують необхідний рівень пропускної здатності системи завантаження і виключення утворення «затору» шихтових матеріалів. Наведено залежності для оцінки окружної нерівномірності розподілу шихтових матеріалів. Показано залежність окружної нерівномірності розподілу шихти на колошнику від зміни витрати шихтових матеріалів з бункера БЗП. Досліджено залежності витрати шихтових матеріалів від величини відкриття шихтового затвора. Отримано залежності для визначення об'ємної витрати шихтових матеріалів при вивантаженні з бункера БЗП.