

А.Н. Селегей, В.П. Иващенко, В.И. Головки,

Н.В. Михайловский, С.Н. Селегей, А.С. Миргородская

ИСТЕЧЕНИЕ ШИХТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ ИЗ КОНУСНОГО ЗАТВОРА ЗАГРУЗОЧНЫХ УСТРОЙСТВ ДОМЕННОЙ ПЕЧИ

Пропускная способность загрузочного устройства имеет значительное влияние на параметры загрузки и хода доменной печи. Во многом характеристиками загрузки регулируется сход шихты и показатели плавки. В связи с этим, определение объемного расхода шихтовых материалов, проходящих через конусный затвор загрузочного устройства доменной печи, является актуальной научно-технической задачей. Целью исследования является вывод аналитической зависимости, определяющей объемный расход шихтовых материалов, проходящий через зазор большого конуса. Метод определения объемного расхода шихты, предложенный авторами, позволяет определять фактическую крупность шихты, поступающей на поверхность засыпи колошника доменной печи.

Ключевые слова: доменная печь, конусный затвор, расход шихты, крупность, мелочь, время истечения, кокс, агломерат.

Методика определения параметров выхода шихтовых материалов из бункеров бесконусных загрузочных устройств доменных печей может быть использована для расчета расхода шихтовых материалов при сходе с большого конуса конусного загрузочного устройства доменной печи [1]. В этом случае цель истечения будет иметь форму кольца. Главными параметрами, влияющими на истечение материала, являются средняя длина окружности кольцевого зазора и ее толщина. Распределение зон состояния материала при истечении являются идентичными как для бункера, так и для конусного загрузочного устройства лишь только с той разницей, что на конусе сечения расположены по окружности. Следует помнить, что кольцо зазора в нашем случае не является плоской геометрической фигурой, оно представляет собой поверхность усеченного конуса относительно небольшой высоты. Расход шихты с большого конуса можно представить в виде

$$Q = \frac{2}{3} l \delta^{1,5} \sqrt{g} \frac{1}{\sqrt{1+\zeta}} \frac{K_1^{1,5}}{(K_1 - \chi')} \left[1 - \left(\frac{\chi'}{K_1} \right)^{1,5} \right], \quad (1)$$

где l – длина рабочего периметра большого конуса засыпного устройства доменной печи, м; δ – ширина щели зазора ссыпания шихтовых материалов, м; g – ускорение свободного падения, м/с²;

$$K_1 = \frac{1}{2} \left(f + \sqrt{1 + f^2} \right),$$

где f – коэффициент внутреннего трения сыпучего груза;

$$\chi' = f + \frac{1}{f} - \sqrt{1 + f^2}.$$

ζ – коэффициент местных потерь при движении сыпучего груза в зоне обрушения, характеризующий потери механической энергии потока сыпучего груза при столкновении частиц между собой [2].

На рис. 1 представлена схема для определения величины зазора при открывании большого конуса загрузочного устройства доменной печи.

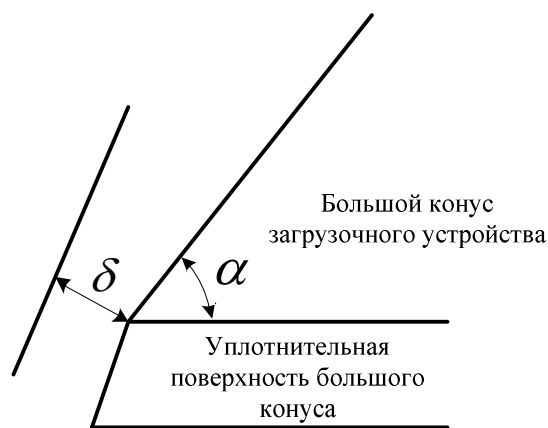


Рисунок 1 – Схема определения зазора ссыпания шихтовых материалов с большого конуса загрузочного устройства доменной печи

Коэффициент ζ можно рассчитать таким образом:

$$\zeta = K_1 K_2 \frac{k^2 d^2}{a^2}, \quad (2)$$

где k – безразмерный коэффициент, зависящий от формы частиц ($k = 10-13$);

K_2 – некоторый безразмерный коэффициент, зависящий от условий истечения сыпучего груза из бункера (прямое или боковое истечение сыпучего груза из бункера, форма выпускного канала), определяемый из эксперимента.

d – средний диаметр частиц сыпучего груза, м.

Однако следует помнить, что величина δ при ссыпании материалов с большого конуса изменяется во времени. Поэтому при расчетах необходимо применять функциональную зависимость зазора от времени. На основании литературных данных [3], экспериментальных исследований и инструкций по эксплуатации засыпных аппаратов установлено, что средняя скорость опускания большого конуса равна 100 мм/с. Учитывая равномерность движения опускания конуса предлагается вертикальное перемещение конуса представить в виде следующей зависимости:

$$S(t) = 0,1t \quad (3)$$

где t - время, с.

С учетом (3) и рис. 1 зависимость зазора от времени будет иметь следующий вид:

$$\delta(t) = 0,1t \cos \alpha \quad (4)$$

С учетом (3) и (4), (1) после преобразований принимает вид:

$$Q(t) = \frac{\Omega t^{1,5} \cos^{1,5} \alpha}{\sqrt{1 + \frac{\theta}{t^2 \cos^2 \alpha}}}, \quad (5)$$

где

$$\Omega = 0,067 \cdot \frac{K_1^{1,5} \left(1 - \left(\frac{\chi}{K_1} \right)^{1,5} \right)}{(K_1 - \chi)}, \quad (6)$$

$$\theta = 0,0417k^2 d^2 \frac{K_1}{2}. \quad (7)$$

Таким образом, получена зависимость объемного расхода шихтовых материалов сыпавшихся с большого конуса загрузочного устройства доменной печи в конкретный момент времени. Интегрируя (7) по времени можно получить аналитическую зависимость фактического расхода шихты за весь интервал времени сыпания шихты в доменную печь. Однако первообразная функция при прямом интегрировании оказалась весьма неудобной для практических расчетов, было принято решение вычислить определенный интеграл от выражения (7) с шагом 1 секунда и вывести зависимость на график. На рисунке 2 показана графическая зависимость общего за промежуток времени расхода кокса крупностью 50 и 80 мм для большого конуса диаметром 5000 мм. По оси абсцисс отложено время в секундах, по оси ординат расход в метрах кубических. Сплошная кривая для кокса 50 мм, прерывистая для 80 мм крупностью соответственно кружками показаны экспериментальные данные на заводе. Эти данные хорошо коррелируются с экспериментальными исследованиями, проведенными Институтом черной металлургии НАН Украины для доменной печи №5 Енакиевского металлургического завода [4].

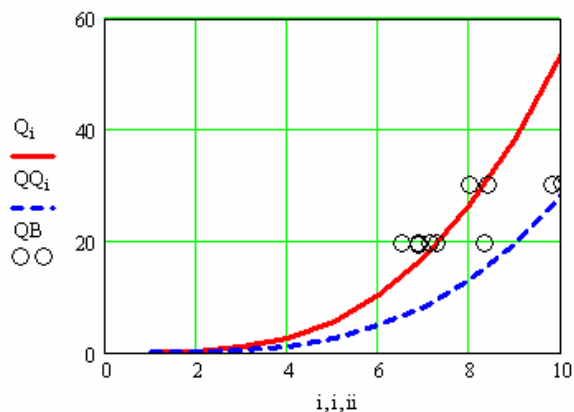


Рисунок 2 – Зависимость общего расхода за промежутки времени открывания большого конуса

В источнике [5] была предложена методика по определению расхода сыпучего материала через конусные затворы засыпных устройств, в которой учитывается изменение скорости ссыпания материала в функции переменного расходного сечения. Методика учитывает геометрические параметры конусного затвора, ход конуса, коэффициент истечения. Результаты теоретических исследований приведены на кривых и сравнены с реальными показателями работы конусного загрузочного аппарата на ДП-5 Запорожстали с диаметром большого конуса 4800 мм. Анализ показал хорошую сходимость экспериментальных и теоретических данных. На рис. 3 приведены точечные значения расхода во времени из источника [5] и кривая, полученная с использованием выражения (5). Как видно из рисунка данные также имеют хорошую сходимость.

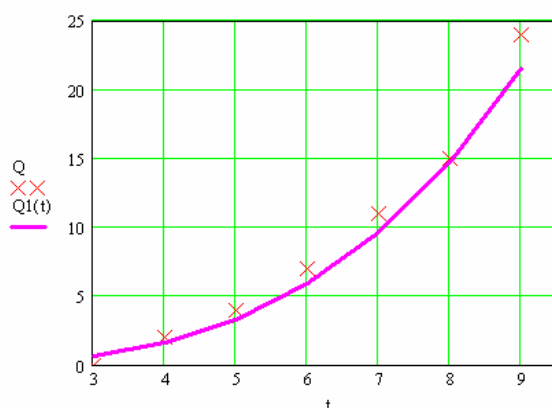


Рисунок 3 – Сравнение результатов моделирования

Таким образом, анализируя материал, приведенный выше, можно сделать вывод о том, что предлагаемый автором метод по определению расхода шихтового материала проходящего через конусный затвор в функции времени с достаточной точностью описывает процесс истечения шихты и может быть

применен при разработке и эксплуатации конусных загрузочных устройств современных доменных печей.

Отличительной чертой новой методики является возможность учета не только геометрических и кинематических параметров конусного затвора, но и физико-механических характеристик частиц шихтового материала. В рассмотренной методике [5] эти характеристики косвенно учитываются коэффициентом истечения λ , который рекомендуется принимать в пределах 0,4-0,6. Однако это не в полной мере позволяет учитывать параметры шихты, которые в современных условиях постоянно меняются.

Используя приведенные выше материалы, можно разработать методику определения количества мелочи в шихте, подаваемой непосредственно в печь с межконусного пространства. Спектр кривых, описывающих зависимость высыпаемого объема шихты от времени ссыпания (рис. 2) хорошо описываются уравнением вида:

$$Q(t) = \nu \cdot t^{3,2}, \quad (8)$$

где ν - коэффициент, соответствующий среднему размеру частиц;
 t - время ссыпания материала, с.

Для кокса с коэффициентом внутреннего трения $f=0,532$, углом конуса $\alpha=53^\circ$, $l=15,7$ м, $k=13$ была составлена таблица соответствия среднего размера частиц d и коэффициента ν .

Таблица 1

Соответствие среднего размера частиц d и коэффициента ν

| | | | | | | | | | | |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|
| d | 0,035 | 0,04 | 0,045 | 0,05 | 0,055 | 0,06 | 0,065 | 0,07 | 0,075 | 0,08 |
| ν | 0,035 | 0,031 | 0,029 | 0,026 | 0,024 | 0,023 | 0,021 | 0,02 | 0,019 | 0,018 |

На рисунке 4 приведены точки в соответствии с таблицей 1 и линия линейной аппроксимации.

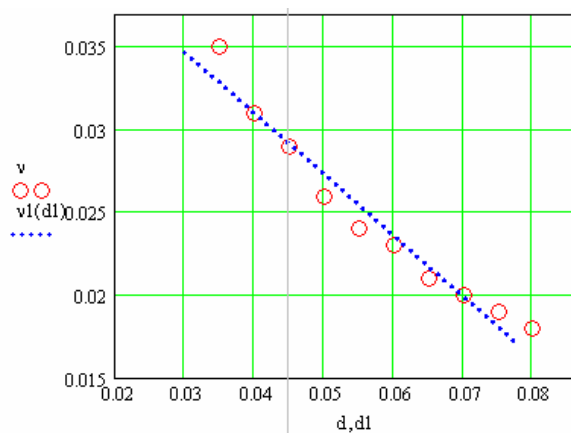


Рисунок 4 – Данные аппроксимации

Зависимость коэффициента ν от среднего размера частиц можно представить в виде:

$$\nu(d) = kd + \beta, \quad (9)$$

где k и β – некоторые постоянные коэффициенты.

Для определения коэффициентов составим систему (в соответствии с таблицей 1):

$$\begin{cases} 0,031 = k \cdot 0,04 + \beta \\ 0,02 = k \cdot 0,07 + \beta \end{cases} \quad (10)$$

Решение системы (9) приводит к следующим результатам: $k = -0,031$; $\beta = 0,0458$.

Таким образом, согласно (9) имеем:

$$\nu(t) = -0,37d + 0,0458 \quad (11)$$

Подставив выражение (11) в уравнение (8), с учетом, что $t^{3,2} = t^{\frac{16}{5}} = \sqrt[5]{t^{16}}$ после преобразований можно получить:

$$t = \sqrt[16]{\frac{Q^5}{\nu^5}} = \sqrt[16]{\frac{Q^5}{(-0,37d + 0,0458)^5}} \quad (12)$$

Дальнейшие преобразования приводят к следующему выражению:

$$d = -\frac{Q}{0,37 \cdot \sqrt[5]{t^{16}}} + 0,124 \quad (13)$$

Таким образом, получена зависимость вида $d = f(Q, t)$, позволяющая определять средний размер частиц шихты (в данном случае кокса) при известных фактических значениях дозы, ссыпанной с межконусного пространства и соответствующего времени ее истечения.

График зависимости (13) для кокса при дозе $Q = 30,29 \text{ м}^3$ имеет следующий вид (рис. 5):

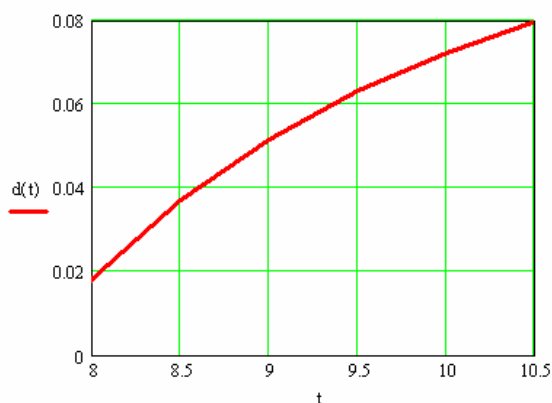


Рисунок 5 – Зависимость среднего размера кокса в дозе $30,29 \text{ м}^3$ от времени истечения

С другой стороны средний размер шихты может быть рассчитан следующим образом [6]:

$$d = \frac{\sum g_i d_i}{\sum g_i}, \quad (14)$$

где g_i – доля отдельных фракций, d_i – размер соответствующих фракций.

Если принять, что доза состоит из двух основных фракций – основного компонента и мелочи и обозначить через φ долю мелочи, то можно записать:

$$d = \frac{(1-\varphi)D + \varphi dm}{1-\varphi + \varphi} = (1-\varphi)D + \varphi dm, \quad (15)$$

где D – размер основного компонента шихты, dm – размер мелочи.

Преобразовав (15) можно получить:

$$\varphi = \frac{D - dm}{D + d} \quad (16)$$

На основании (15) была построена графическая зависимость вида $\varphi = f(dm)$ для $D=0,05$ м, $dm=0,02$ м. зависимость представлена на рис. 6.

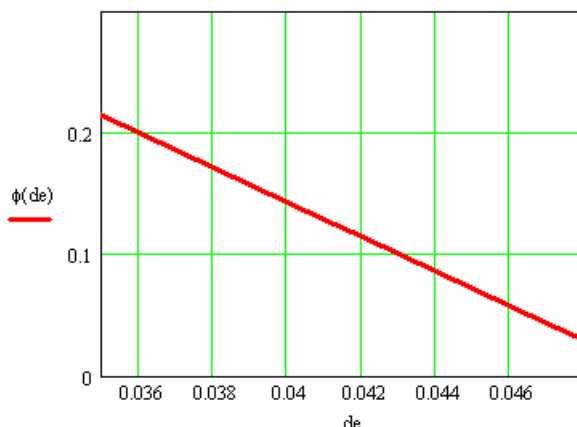


Рисунок 6 – Изменение фракционного состава сыпавшейся шихты

Таким образом, зная фактические значения дозы и время ее сыпания при помощи уравнения (13) находим значение среднего диаметра частиц шихты в дозе. После этого согласно (16) можно определить фактическую долю мелочи, высыпанную на колошник доменной печи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иващенко В.П. Определение параметров выгрузки шихты из бункеров бесконусного загрузочного устройства доменной печи. / В.П. Иващенко, Р.В. Кирия, А.Н. Селегей, В.И. Головкин, М.А. Рыбальченко, Г.А. Папанов, С.Н. Селегей // Сборник научных трудов горного университета. Днепр: 2017. Вып. 52 – С. 192-198. Библиогр.: 5 назв.

2. Кирия Р.В. О коэффициенте внутренних потерь при движении сыпучей среды по элементам перегрузочных узлов ленточных конвейеров / Р.В. Кирия // Геотехническая механика: Межвед. сб. научн. тр. / ИГТМ НАНУ. – Днепропетровск, 2003. – Вып. 41. – С. 159–167.
3. Грузинов В. К. Управление газовым потоком в доменной печи программой загрузки / Грузинов В. К. – ГНТИ ЧЦМ, Свердловск, 1960. – 214с.
4. Иванча Н.Г. Исследование выгрузки порций шихты из бункеров загрузочных устройств доменных печей / Н.Г. Иванча, В.И. Вишняков // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: Сб. научн. тр. – Днепропетровск.: ИЧМ НАН Украины, 2011. – Вып. 23. – С. 70-79. – Библиогр.: 5 назв.
5. Сторожик Д.А. Определение пропускной способности конусного затвора с учетом переходных процессов / Д.А. Сторожик, В.Д. Сергиенко, Н.Г. Селегей // Известия ВУЗов. Черная металлургия. 1982. – №2 – С. 142-144. – Библиогр.: 4 назв.
6. Ганин Д.Р. Анализ способов оценки эквивалентного диаметра гранул окомкованной агломерационной шихты в условиях ОАО «Уральская сталь» / Д.Р. Ганин, В.Г. Дружков, А.А. Панычев, А.Н. Шаповалов // Теория и технология металлургического производства, 2015. – №1 (16) – С. 5-11. – Библиогр.: 7 назв.

REFERENCES

1. Ivaschenko V.P. Opredelenie parametrov vyigruzki shihtyi iz bunkerov beskonusnogo zagruzochnogo ustroystva domennoy pechi. / V.P. Ivaschenko, R.V. Kiriya, A.N. Selegey, V.I Golovko, M.A. Ryibalchenko, G.A. Papanov, S.N. Selegey // Sbornik nauchnykh trudov gornogo universiteta. Dnepr: 2017. Vyip. 52 – S. 192-198. Bibliogr.: 5 nazv.
2. Kiriya R.V. O koeffitsiente vnutrennih poter pri dvizhenii syipuchey sredyi po elementam peregruzochnykh uzlov lentochnykh konveyerov / R.V. Kiriya // Geotekhnicheskaya mehanika: Mezhhved. sb. nauchn. tr. / IGTM NANU. – Dnepropetrovsk, 2003. – Vyip. 41. – С. 159–167.
3. Gruzinov V. K. Upravlenie gazovym potokom v domennoy pechi programmoy zagruzki / Gruzinov V. K. – GNTI ChTsM, Sverdlovsk, 1960. – 214s.
4. Ivancha N.G. Issledovanie vyigruzki portsiy shihtyi iz bunkerov zagruzochnykh ustroystv domennykh pechey / N.G. Ivancha, V.I. Vishnyakov // Fundamentalnyie i prikladnyie problemy chernoy metallurgii: Sb. nauchn. tr. – Dnepropetrovsk.: IChM NAN Ukrainyi, 2011. – Vyip. 23. – S. 70-79. – Bibliogr.: 5 nazv.
5. Storozhik D.A. Opredelenie propusknoy sposobnosti konusnogo zatvora s uchetom perehodnykh protsessov / D.A. Storozhik, V.D. Sergienko, N.G. Selegey // Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya. 1982. – #2 – S. 142-144. – Bibliogr.: 4 nazv.
6. Ganin D.R. Analiz sposobov otsenki ekvivalentnogo diametra granul okomkovannoy aglomeratsionnoy shihtyi v usloviyah ОАО «Uralskaya stal» / D.R. Ganin, V.G. Druzhkov, A.A. Panyichev, A.N. Shapovalov // Teoriya i tehnologiya metallurgicheskogo proizvodstva, 2015. – #1 (16) – S. 5-11. – Bibliogr.: 7 nazv.

Received 07.01.2020.

Accepted 16.01.2020.

UDC 669.162

A. Selegej, V. Ivaschenko, V. Golovko, N. Mikhajlovsky, S. Selegej, A. Myrgorodskaya

BURDEN MATERIAL DISCHARGE FROM THE ISOLATION BELL OF THE BLAST FURNACE CHARGING AREA

Blast furnace practice has been remaining the most suitable one in the steel production route. A rather large amount of blast furnaces (BF) is equipped with bell-like charging equipment. The discharge capability of such equipment has a drastic influence on the parameters of the charging operations and blast furnace driving rates. The charging features regulate in many cases burden materials descend and the parameters of the BF

smelt. In relation to the mentioned, it is revealed that to determine the volume of the burden materials flow passing through the isolation bell of the BF charging area is an urgent scientific and engineering problem. A number of publications is devoted to the problem how to define the burden materials flow coming from the large bell. Most of these studies are grounded on the expressions by prof. Zenkov. However, there is a drawback apparently present in these findings and it can be expressed as the lack of the complex approach to incorporate such parameters as the material type, its granulometry and the geometry of the isolation bell outlet hole. The aim of the current research is to reveal the analytic dependence capable of determining the volumetric flow of the burden materials passing through the hole of the large bell. Thus, possessing the data on the burden materials flow and the geometry of the isolation bell outlet hole, one can determine the initial conditions for developing the trajectory of burden materials movement within the top area of the blast furnace. Moreover, the method proposed with the current publication permits determining the actual aggregate size of the burden materials coming to the BF top charge through the data of burden materials volumetric flow. Further, the actual size of the material particles being charged can be derived from the dependences presented in this work and this, in its turn, influences the permeability of the burden materials column for gases at a given point of BF top radius. Taking these data into account, the real opportunity emerges for an on-line correction of the BF drive by incorporating the certain on-line conditions of BF smelt. The results of the findings reported in this article are to be utilized for improvements on the automation system of blast furnace charge control.

Key words: blast furnace, isolation bell, burden materials flow, aggregate size, fines, discharge time, coke, sinter.

Селегей Андрей Николаевич – к.т.н., доцент, кафедра прикладной механики, Национальная металлургическая академия Украины.

Иващенко Валерий Петрович – д.т.н., профессор, первый проректор, Национальная металлургическая академия Украины.

Головко Вячеслав Ильич – д.т.н., профессор, кафедра автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Михайловский Николай Владимирович – к.т.н., доцент, кафедра автоматизации производственных процессов, Национальная металлургическая академия Украины.

Селегей Светлана Николаевна – ассистент, кафедра машин и агрегатов, Национальная металлургическая академия Украины.

Миргородская Александра Сергеевна – старший преподаватель, кафедра перевода и иностранных языков, Национальная металлургическая академия Украины.

Селегей Андрій Миколайович – к.т.н., доцент, кафедра прикладної механіки, Національна металургійна академія України.

Иващенко Валерій Петрович – д.т.н., професор, перший проректор, Національна металургійна академія України.

Головко В'ячеслав Ілліч – д.т.н., професор, кафедра автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Михайловський Микола Володимирович – к.т.н., доцент, кафедра автоматизації виробничих процесів, Національна металургійна академія України.

Селегей Світлана Миколаївна – асистент, кафедра машин та агрегатів, Національна металургійна академія України.

Миргородська Олександра Сергіївна – старший викладач, кафедра перекладу та іноземних мов, Національна металургійна академія України.

Selegei Andrey – Associate Professor, Department of Applied Mechanics, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Ivaschenko Valery – First Vice-Rector, Professor, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Golovko Vyacheslav – professor of the Department of Automation of Production Processes, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Mikhailovsky Nikolay – Associate Professor, Department of Automation of Production Processes, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Selegey Svetlana – Assistant of the Department of Machines and Units, The National Metallurgical Academy of Ukraine.

Mirgorodskaya Alexandra – Senior Lecturer, Department of Translation and Foreign Languages, The National Metallurgical Academy of Ukraine.