

БУНКЕР КАК ГЕНЕРАТОР КОЛЕБАНИЙ СИТОВОГО СОСТАВА ШИХТЫ

А. Г. Астахов, В. И. Кириллов

К и е в

На современных аглофабриках в качестве промежуточных емкостей исключительно широко используются бункеры. Так как один поток шихтового отделения обслуживает обычно n бункеров (агломашин) спе-

тельного отделения, а работа систем распределения шихты не автоматизирована, то каждый бункер, как правило, заправляется целиком за один прием приходом

$$Q_{\text{запр}} = Q_{\text{подг}} - \frac{Q_{\text{потр}}}{n}, \quad (1)$$

где $Q_{\text{подг}}$ — секундный расход отделения подготовки шихты;

$Q_{\text{потр}}$ — секундный расход всех потребителей шихты;

полностью опорожняется расходом

$$Q_{\text{опор}} = \frac{Q_{\text{потр}}}{n}. \quad (2)$$

Допуская равенство подготовленной шихтовым отделением и потребленной спекательным отделением шихты, т. е.

$$Q_{\text{подг}} = Q_{\text{потр}}, \quad (3)$$

из (1) и (2) получим

$$Q_{\text{запр}} = (n - 1) Q_{\text{опор}}. \quad (4)$$

Это, в свою очередь, означает, что время опорожнения бункера t_n (время между двумя последовательными заправками) в $(n - 1)$ раз больше времени заправки t_3 , т. е.

$$t_n = (n - 1) t_3. \quad (5)$$

Практически равенство (5) от случая к случаю не соблюдается, а справедливо только примерно и в среднем, т. е.

$$t_{n \text{ ср}} \cong (n - 1) t_{3 \text{ ср}}. \quad (6)$$

Это объясняется следующими причинами.

1. Производительность потребителей шихты $Q_{\text{потр}}$ не является величиной постоянной, а колеблется в зависимости от хода процесса переработки шихты (в данном случае — от хода процесса спекания), т. е. $Q_{\text{потр}} = Q_{\text{потр}}(t)$ — случайная функция времени.

2. Число работающих потребителей n зависит от надежности каждого из них и довольно часто изменяется (агломашины останавливаются для устранения вредных прососов, неисправностей в электромеханическом хозяйстве и т. п.), т. е. $n = n(t)$ — случайная дискретная функция времени.

3. Производительность отделения подготовки шихты, являясь также величиной переменной (ее иногда изменяют в зависимости от потребности отделения потребителей шихты), согласована с производительностью отделения потребителей только в среднем, т. е.

$$\frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} Q_{\text{подг}}(t) dt = \frac{1}{\tau} \int_0^{\tau} Q_{\text{потр}}(t) dt, \quad (7)$$

где τ — достаточно большой промежуток времени — например, час, смена и т. п., — но не согласована каждую секунду (из-за большого транспортного запаздывания), т. е. нарушается равенство (3).

Указанный цикл заполнения — опорожнения вызывает сегрегацию (перераспределение частиц, химического состава и газопроницаемости шихты), что нарушает нормальный ход процесса спекания [1]. Использование сегрегации для выделения постели описывается в работе [2]. Отдельные сведения о сегрегации шихты в бункерах имеются в работах [3, 4]. Тем не менее не существует строгой математической модели колебаний ситового состава шихты, вносимых бункером при существующем цикле заполнения — опорожнения. Частичному восполнению указанного пробела и служит предлагаемая работа.

Так как шихта не обладает идеальной текучестью, при заполнении бункера (рис. 1, а) образуется конус материала, перемещающийся из положения abc при $t = 0$ в положение ABC при $t = t_3$.

Вполне естественно, что крупная фракция шихты, обладая меньшей сцепляемостью, в течение всего времени заправки скатывается к основанию (точки a' и c'), конуса, оказываясь отделенной от мелкой фракции, скапливающейся в области с центром по линии движения bV .

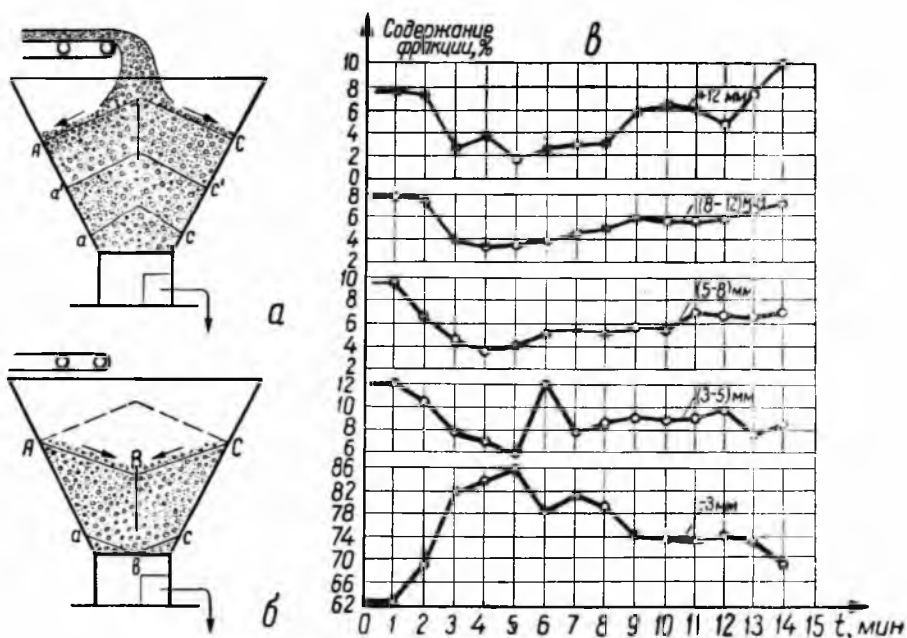


Рис. 1. Образование и движение конуса материала в бункере:

а — при непрерывной загрузке; б — при опорожнении без загрузки; в — ситовый состав шихты на выходе из бункера в функции времени при существующем методе загрузки.

При опорожнении бункера первыми покидают его частицы, находящиеся ближе к течке, т. е. мелкие частицы центральной части бункера. Конус ABC постепенно видоизменяется, становится в повернутое на 180° относительно первоначального положение и движется сверху вниз (рис. 1, б). При этом движении крупная фракция, сегрегированная ранее к стенкам бункера, частично скатывается к вершине B опрокинутого конуса, ослабляя колебания ситового состава шихты. Однако интенсивность этого движения намного меньше интенсивности сегрегации при заполнении бункера, когда материал падает на вершину B поднимающегося конуса с большой скоростью, а крупные частицы обладают значительной кинетической энергией. В конце опорожнения к течке направляется материал, находившийся при заполнении у стенок бункера, т. е. материал с большим содержанием крупной фракции.

Для проверки указанного предположения и определения точной картины колебаний ситового состава аглошихты при различной влажности последней был неоднократно поставлен эксперимент в спекательном отделении одной из аглофабрик страны. Заправка бункера началась к моменту выхода из него остатков шихты предыдущей заправки и непрерывно продолжалась до достижения конусом abc положения ABC

(рис. 1, а). Во время заправки на выходе бункера отбирались контрольные пробы шихты. При опорожнении бункера дозаправка не производилась; пробы отбирались на выходе из бункера. При достижении конусом ABC положения abc (рис. 1, б) эксперимент считался законченным. Величина проб в проведенных экспериментах составляла 22—27 кг, сита для отсева +12, +8, +5 и +3 мм.

Результаты первого же эксперимента показали (рис. 1, в), что содержание фракции +12 мм изменяется по мере опорожнения от 2 до 10%, т. е. в 5 раз; фракции 8—12 мм — от 3 до 8%, т. е. более чем в два раза и т. д. Можно утверждать также, что гипотеза о связи образования и эволюции конуса материала с сегрегацией шихты не противоречит опытным данным: выход крупных фракций (+12), (8—12) и (5—8) мм в начале опорожнения резко уменьшается, а затем увеличивается, достигая почти максимального значения при $t = t_n$ (тогда как колебания тех же фракций шихты на входе в бункер не превышали 1—2% средних значений).

Из рис. 1, в видно, что диаметр «несегрегирующей» фракции заключен в пределах 3—5 мм. Этим воспользовались для облегчения отсева шихты в последующих экспериментах, применяя только одно сито (+5 мм).

Для определения спектра колебаний ситового состава шихты производился гармонический анализ кривых — по правилам работы [5]:

$$F_{+5}^w = f(t), \quad (8)$$

где F_{+5}^w — процентное содержание фракции +5 мм на выходе из бункера в шихте с влажностью $w\%$.

В результате для кривых F_{+5}^4 , F_{+5}^8 и F_{+5}^{12} (рис. 2, а; 2, б и 2, в соответственно) получены следующие аппроксимации:

$$F_{+5}^4 = 24,3 - 6,9 \sin(0,0087t - 46^\circ) - 3,5 \sin(0,0174t + 54^\circ) + 1,8 \sin(0,0261t - 52^\circ); \quad (9)$$

$$F_{+5}^8 = 15,8 - 5,9 \sin(0,0075t - 63^\circ) + 3 \sin(0,015t + 30^\circ) + 1,33 \sin 0,0225t; \quad (10)$$

$$F_{+5}^{12} = 8,5 - 3,7 \sin(0,0087t - 62^\circ) + 1,66 \sin(0,0174t - 64^\circ) + 2,18 \sin(0,0261t - 82^\circ) + 1,15 \sin(0,0348t - 41^\circ), \quad (11)$$

где t — время, сек.

Выражения (9) — (11) дают основание утверждать, что при принятом цикле заполнение — опорожнение бункер с составом шихты (при любой практически встречающейся влажности последней) представляет собой генератор низкочастотных синусоидальных колебаний с достаточно узким (3—4 гармоники) спектром.

Из соотношений (9) — (11) также видно, что частота первой (основной) гармоники колебаний ситового состава шихты составляет примерно 0,007—0,008 1/сек, т. е. очень низка, а период колебаний примерно равен времени опорожнения $T_{\text{е.с}} \cong t_n$.

Исследованиями [6] установлено, что тракт подачи шихты на участке бункер — спекательного отделения — аглолента описывается в первом приближении моделью инерционного звена с чистым запаздыванием

$$W(p) = e^{-p\tau_0} \frac{1}{T_0 p + 1}. \quad (12)$$

Время чистого запаздывания τ_0 и постоянная времени инерционного звена T_0 различны для отдельных аглофабрик, но находятся в следую-

ших пределах: $\tau_0 = 50 \div 80$ сек; $T_0 = 30 \div 100$ сек, причем основными факторами, определяющими порядок этих величин, являются конструкции и углы наклона вторичных смесителей. Время опорожнения бункеров спекательного отделения так же различно для различных аглофабрик и составляет $t_n = 600 \div 1600$ сек.

Видно, что период колебаний ситового состава шихты, возникаемых на выходе из бункера при цикле заполнение — опорожнение в несколько раз больше постоянной времени следующего за бункером тракта, поэтому фильтрующее действие последнего явно недостаточно [7].

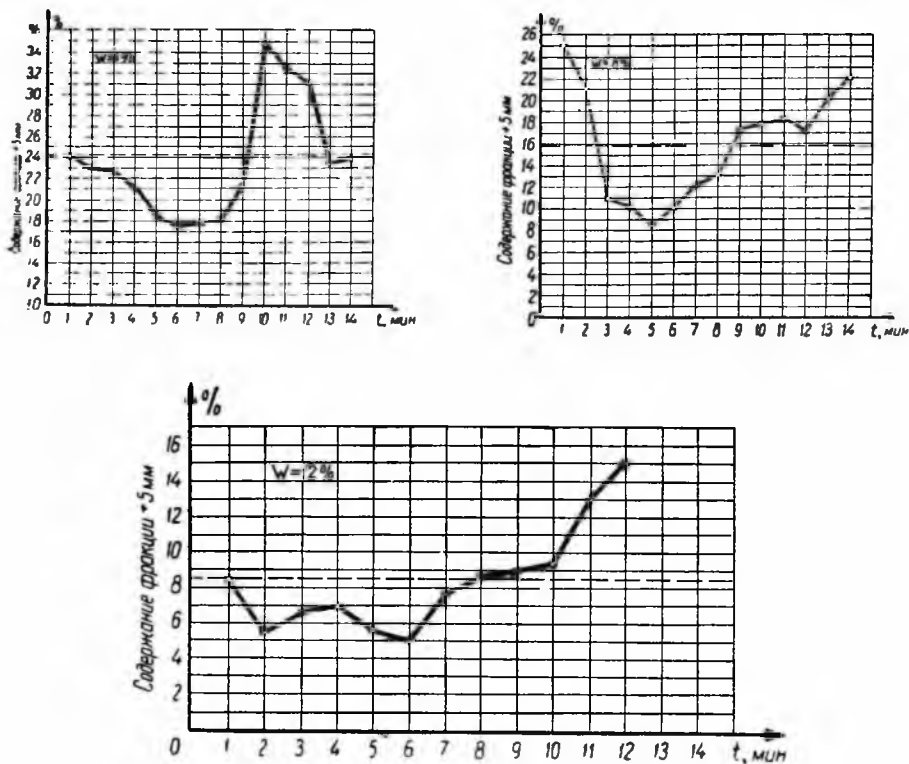


Рис. 2. Колебания процентного содержания фракции +5 мм на выходе из бункера.

Укажем относительно простой способ ликвидации возмущений, вносимых бункером в ситовый состав шихты, без изменения конструкции тракта подачи шихты от бункера до аглоленты. Этот способ заключается в **повышении частоты** вносимых бункером возмущений до такой величины, чтобы имеющийся тракт полностью отфильтровал колебания ситового состава или сводил к практически допустимой величине.

Из электротехники известно, что угловая частота

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T}. \quad (13)$$

Подставляя $T_{0.0} = t_{\text{п.ср}}$ и учитывая (6), получим

$$\omega_{0.0} \cong \frac{2\pi}{(n-1)t_{\text{з.ср}}}. \quad (14)$$

Из уравнения (14) видно, что увеличить частоту колебаний ситового состава $\omega_{с.с}$ шихты можно двумя путями:

- 1) уменьшая число обслуживаемых одним потоком бункеров n ;
- 2) уменьшая среднее время заправки $t_{з.ср.}$.

Первый метод можно осуществить на проектируемых фабриках, а также там, где конструктивно легко обеспечить разделение приходящего из шихтового отделения потока на n непрерывно действующих отдельных для каждого бункера потоков (например, с помощью плужковых сбрасывателей).

Второй метод предполагает применение автоматической системы распределения шихты по приемным бункерам. В этом случае конструкция распределителя шихты не изменяется, остаются справедливыми уравнения (1) — (2), но бункер из режима заполнения — опорожнение с помощью указанной системы автоматики перейдет в режим стабилизации уровня шихты, что практически будет осуществляться частыми, но непродолжительными дозаправками бункера. При этом из элементарных зависимостей теории авторегулирования следует, что существующие колебания ситового состава шихты ($\pm 6 \div 7\%$) могут быть сглажены следующим за бункером смесителем до допустимой величины ($\pm 0,6 \div 0,7\%$) в том случае, если частота среза смесительного барабана $\omega_{с.б}$ будет по крайней мере на один порядок ниже наинизшей частоты колебаний ситового состава $\omega_{с.с}$. Это приводит к следующему неравенству:

$$t_{з.ср.} \leq 0,628 \frac{T_{с.б.}}{n-1}, \quad (15)$$

где $T_{с.б.} = \frac{1}{\omega_{с.б.}}$ — постоянная времени смесительного барабана.

Естественно, что если при работе системы автоматического распределения шихты соблюдать неравенство (15), то прекратится процесс образования и эволюции конуса материала в бункере, а колебания ситового состава шихты останутся высокочастотными и легко отфильтруются последующим трактом.

Следует заметить, что работа указанной системы стабилизации уровня шихты будет особенно эффективна при условии автоматического согласования производительности шихтового отделения с потребностью спекательного и оборудовании бункеров надежными системами обрушения зависшего материала.

На рис. 3 представлена кривая изменения ситового состава шихты на выходе из бункера при одной дозаправке (в момент времени $t = 5$ мин) и работе систем обрушения. Кривая аппроксимируется следующим выражением:

$$\begin{aligned} F_{+5 \text{ до запр}}^8 &= 17,9 + 0,316 \sin(0,0087 t + 72^\circ) + 2,21 \sin(0,0174 t - 5^\circ) + \\ &+ 1,42 \sin(0,0261 t - 30^\circ) + 1,21 \sin(0,0348 t + 60^\circ) + \\ &+ 1,79 \sin(0,0435 t + 9^\circ) + 0,6 \sin(0,0522 t - 90^\circ). \end{aligned} \quad (16)$$

Видно, что колебания ситового состава в этом случае имеют меньшую амплитуду и более широкий спектр. Самой «опасной» низкочастотной гармоникой можно пренебречь, так как ее амплитуда, равная 0,316%, мала и не окажет влияния на процесс спекания. Три высокочастотные гармоники отфильтруются последующим трактом. Поэтому (16) примет вид

$$F_{+5(\text{до запр})}^8 \cong 17,9 + 2,21 \sin(0,0174 t - 5^\circ) + 1,42 \sin(0,0261 t - 30^\circ). \quad (17)$$

Большей высокочастотности колебаний ситового состава шихты при отсутствии системы стабилизации уровня достичь не удалось.

ВЫВОДЫ

1. При цикле заполнение — опорожнение бункер спекательного отделения относительно ситового состава шихты практически любой влажности ведет себя как генератор низкочастотных синусоидальных колебаний с довольно узким спектром.

2. Частота колебаний ситового состава шихты настолько низка, что фильтрующее действие последующего тракта для большинства аглофабрик явно недостаточно.

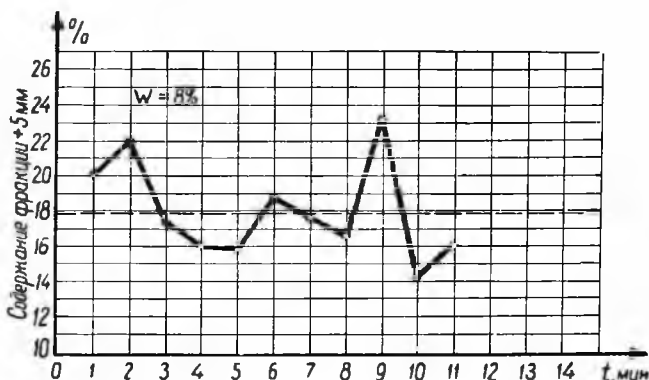


Рис. 3. Колебания процентного содержания фракции $+5$ мм на выходе из бункера при одной дозавровке и работе системы обрушения зависшего материала.

3. Для ликвидации вносимых бункером возмущений необходимо стремиться к тому, чтобы каждый бункер обслуживался отдельным, непрерывно действующим потоком шихты, а там, где это невозможно, применять автоматическую систему распределения шихты, способную осуществлять частые, но непродолжительные дозавправки бункера с целью стабилизации уровня шихты.

4. При определении максимально допустимого времени заправки бункера для конкретного случая каждой аглофабрики получено неравенство (15), ограничивающее время заправки числом заправляемых бункеров n и свойствами смесителя $T_{с. 6}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. Х. П. Зайцев, А. И. Мачковский. Организация и планирование агломерационных фабрик. «Металлургиздат», 1959.
2. А. М. Парфенов. Агломерация железных руд. «Металлургиздат», 1954.
3. А. И. Буров и др. Автоматизация агломерационных цехов цветной металлургии. «Металлургиздат», 1965.
4. А. И. Никитин, В. А. Арбузов. Агломерация железных руд. «Металлургиздат», 1957.
5. Л. А. Бессонов. Теоретические основы электротехники. Изд-во «Высшая школа», 1964.
6. А. Г. Астахов, В. И. Кириллов, А. М. Немировский, А. М. Хоник. Методы определения частотных характеристик смесительных систем. «Автоматизация агломерационного и доменного производства». Изд-во «Техніка», Киев. 1969.
7. В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. Теория систем автоматического регулирования. Изд-во «Наука», 1966.