

Ю.М. Пазюк, доцент, к.т.н.

М.Ю. Пазюк, проректор, д.т.н., профессор

Н.А. Миняйло, доцент, к.т.н.

ПРИМЕНЕНИЕ БАЛАНСОВОГО МЕТОДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ПОДГОТОВКИ РУДНОГО СЫРЬЯ К ОКУСКОВАНИЮ

Запорожская государственная инженерная академия

Виконано обґрунтування застосування для моделювання процесів підготовки сипучих матеріалів до огрудкування балансового методу. Виявлено, що врахування механізмів структурних змін сировини при русі його через технологічні агрегати дозволить удосконалити математичний підхід і створити теоретичні передумови для вибору раціональних режимів роботи кожної з ділянок агломераційного виробництва.

Выполнено обоснование применения для моделирования процессов подготовки сыпучих материалов к окускованию балансового метода. Виявлено, что учет механизмов структурных изменений сырья при движении его через технологические агрегаты позволит усовершенствовать математический подход и создать теоретические предпосылки для выбора рациональных режимов работы каждого из участков агломерационного производства.

The ground of application for the modeling of processes of preparation of friable materials is executed to okuskovaniyu of balance method. It is educed, that the account of mechanisms of structural changes of raw material at motion of him through technological asms will allow to perfect mathematical approach and create theoretical pre-conditions for the choice of the rational modes of operations of each of areas of sintering production.

Введение. В условиях широкого использования многоуровневых систем управления современными металлургическими предприятиями, одной из основных задач автоматизации агломерационного производства является теоретическое обоснование и выбор основных технологических параметров систем управления, определение их оптимальных значений с целью создания благоприятных условий для окускования железорудных материалов [1,2].

При их планировании и проведении могут эффективно использоваться балансовые методы [3]. Они универсальны, позволяют с высокой достоверностью исследовать влияние производственных факторов на работу агломерационных машин, сравнивать работу различных агрегатов, эффективно решать сложные вопросы выбора оптимальных значений основных технологических параметров процесса.

Постановка задачи. В связи с этим для уточнения и расширения понимания механизма структурных преобразований сыпучих материалов, протекающих при движении их через технологические агрегаты в процессе подготовки к окускованию, а также с целью формирования общего методологического подхода к исследованию данных процессов необходимо рассмотреть особенности применения балансового метода на каждом участке агломерационного производства.

Основная часть. Так, для расчета агломерационной шихты традиционно используются уравнения минерального баланса спекания, теплового баланса агломерации и уравнениями баланса содержания химических компонентов Fe, SiO₂, CaO, MgO,

Al_2O_3 и P, то исходными данными являются химический состав компонентов шихты и заданный состав агломерата, обусловленный требованиями доменного процесса [1].

При обжиге железорудных окатышей учитываются процессы окисления соединений железа, разложения известняка, испарения влаги.

Характеристики технологических объектов поточно-транспортных систем (ПТС) и процесса транспортировки шихты в целом определяются на основании уравнений материального баланса, в предположении неразрывности потока материала [2].

$$\Delta Q_{\Sigma} = \int_0^{t_p} q_n dt - \sum_{i=1}^n \int_0^{t_p} q_{vi} dt = 0, \quad (1)$$

где q_n – производительность шихтового отделения, m^3/c ; q_{vi} – производительность дозатора i -го приемного бункера, m^3/c ; t_p – время работы ПТС, с.

В то же время балансовые методы, несмотря на их большие возможности, еще широко не используются при решении сложных производственных проблем, связанных с интенсификацией агломерационного процесса, а также при исследовании отдельных участков подготовки железорудного материала к окускованию. Это обусловило актуальность их применения для анализа процессов распределения шихты между бункерами ПТС, ее усреднения, окомкования и загрузки на аглоленту.

При параллельном расположении технологических агрегатов спекательного отделения аглофабрики, возникают технические сложности с распределением поступающего сыпучего материала между ними, требующие теоретического исследования. Свойства сыпучих материалов исключают возможность их самостоятельного движения под действием гравитационных сил и требуют применения механических распределителей. В условиях непрерывной работы агрегатов спекательного отделения, принудительная подача на них материалов может осуществляться только периодически с интервалом, определяемым количеством параллельных технологических цепей. Поэтому в начале каждой технологической цепи спекательного отделения необходимо устанавливать приемный бункер. Его емкость определяется согласно уравнения:

$$Q_i = \frac{\Delta q \cdot \tau_{tp} \cdot k}{n} + \tau_p \cdot (n-1) \cdot q_{vi}, \quad \Delta q = q_n - q_c, \quad (2)$$

где n – количество параллельных агрегатов спекательного отделения; τ_p – время движения распределителя материала между двумя бункерами, с; τ_{tp} – время транспортного запаздывания между шихтовым и спекательным отделениями аглофабрики, с; k – коэффициент, учитывающий конкретные особенности работы ПТС; q_c – производительность спекательного отделения, m^3/c .

При указанной выше структуре спекательного отделения, условие синхронной работы отделений аглофабрики (1) дополняется необходимостью обеспечения стабильной работы каждого из параллельно работающих агрегатов:

$$\Delta Q_i = \int_0^{t_s} q_{vi} dt - \int_0^{t_s} q_n dt = 0, \quad (3)$$

где t_6 – время выгрузки материала из i -го бункера, с; t_3 – время загрузки i -го бункера, с.

Для постоянного обеспечения заданного q_{vj} , необходимо, чтобы в i -м приемном бункере находилось соответствующее количество материала ΔQ_i на время прекращения его подачи в этот агрегат - τ_{oi} .

$$\Delta Q_i = q_{vсpi} \cdot \tau_{oi} \quad , \quad (4)$$

где $q_{vсpi}$ – средняя производительность дозатора i -го бункера за анализируемое время, м³/с.

Для его загрузки необходимо время τ_{zi} :

$$\tau_{zi} = \frac{\Delta Q_i}{q_n - q_{vсpi}} \quad .$$

Сумма τ_o и τ_{zi} образуют минимальный временной интервал, обеспечивающий устойчивое движение сыпучего материала через i -й приемный бункер спекательного отделения с заданной амплитудой колебаний ΔQ_i . Обычно его принято называть временем цикла загрузки i -го бункера:

$$\square + \square = \tau_{\mu i} \cdot$$

Для обеспечения устойчивой работы каждого параллельного агрегата и спекательного отделения аглофабрики в целом необходимо выполнение условия:

$$\begin{aligned} q_n \cdot \tau_{z1} &= q_{vсp1} \cdot \tau_{\mu 1} \ , \\ q_n \cdot \tau_{z2} &= q_{vсp2} \cdot \tau_{\mu 2} \ , \\ &----- \\ q_n \cdot \tau_{zk} &= q_{vсpk} \cdot \tau_{\mu k} \ . \end{aligned} \quad (5)$$

Совместное решение уравнений, входящих в систему (5), позволит определить условия работы распределителя шихты, обеспечивающее стабильную работу участка приемных бункеров ПТС в пределах заданных технологических ограничений на колебания количества материала в них.

При $q_{vсpi} = \text{const}$, решение (5) имеет вид:

$$\tau_o = \tau_3 \cdot (n-1) \quad .$$

Колебания количества материала в приемных бункерах ΔQ_i определяются в этом случае только характеристиками распределителя.

$$\Delta Q = q_{vсpi} \cdot \tau_3 \cdot (n-1).$$

При $q_{vсpi} \neq \text{const}$, решение (5) усложняется необходимостью определения значений \square и \square , которые обеспечивают устойчивую работу всех приемных бункеров ПТС.

Указанные статические зависимости характеризуют связь между основными параметрами процесса транспортировки шихты на участке приемных бункеров ПТС и являются исходными для алгоритмизации и построения системы управления им.

Поступающий в спекательное отделение аглофабрики полидисперсный сыпучий материал характеризуется значительной неоднородностью по составу. Поэтому перед окомкованием его необходимо усреднить. Наиболее распространенными агрегатами, используемыми для этой цели, являются барабанные смесители [1].

Поступающая на усреднение сыпучая масса может быть представлена как совокупность локальных областей с различным фракционным составом:

$$\begin{aligned} \Phi_{11} + \Phi_{12} + \dots + \Phi_{1n} &= \Phi_{1\Sigma} \quad , \\ \Phi_{21} + \Phi_{22} + \dots + \Phi_{2n} &= \Phi_{2\Sigma} \quad , \\ \text{-----} \\ \Phi_{k1} + \Phi_{k2} + \dots + \Phi_{kn} &= \Phi_{k\Sigma} \quad . \end{aligned}$$

где Φ_{ij} – содержание i -й фракции шихты в j -й области, %.

В процессе перемещения сыпучей массы внутри вращающегося барабанного смесителя, происходит ее псевдооживление и создаются условия для движения фракций между отдельными локальными областями. Основным его условием является различное содержание фракций в этих областях $\Phi_{ij} \rightarrow \Phi_i \cdot (j+1)$, при $\Phi_i \cdot (j+1) < \Phi_{ij}$.

Скорость перемещения отдельных фракций определяется их содержанием в контактируемых областях и физико-механическими свойствами.

Одновременно с продольным перемешиванием сыпучей массы, в ее поперечном сечении наблюдается разделение движущегося материала по фракциям [4]. Это обстоятельство накладывает ограничения на условия и продолжительность процесса усреднения.

Усредненная в смесителе шихта увлажняется и окомковывается в гранулирующих агрегатах. Поступающий в гранулятор сыпучий материал в результате окомкования изменяет свой фракционный состав:

$$\begin{aligned} \Phi_{11} + \Phi_{12} + \dots + \Phi_{1n} &= \Phi_{1\Sigma} \quad , \\ \Phi_{21} + \Phi_{22} + \dots + \Phi_{2n} &= \Phi_{2\Sigma} \quad . \end{aligned}$$

где Φ_i – содержание i -й фракции в сыпучем материале до и после окомкования, %.

Общее количество его остается без изменения – .

Количество отдельных фракций изменяется в зависимости от их участия в процессе окомкования:

$$\begin{aligned} \Phi_{21} - \Phi_{11} &= \Delta_1 \quad , \\ \Phi_{22} - \Phi_{21} &= \Delta_2 \quad , \\ \text{-----} \\ \Phi_{2n} - \Phi_{1n} &= \Delta_n \quad . \end{aligned}$$

где Δ_i – изменение количества i -й фракции в процессе окомкования, %.

$$\sum_{i=1}^n \Delta_i = 0 \quad .$$

При известном времени пребывания материала в грануляторе, знание Δ_i позволяет рассчитать скорости изменения каждой фракции в процессе окомкования и определить основные технологические факторы, влияющие на его протекание [5].

Окомкованный материал по тракту подачи шихты поступает на загрузочное устройство, которое состоит из промежуточного бункера агломашины, дозатора и загрузочного лотка. Принимая, что в процессе движения по поверхности загрузочного лотка фракционный состав материала не изменился, можем записать:

$$\begin{aligned} \Phi_{11} \cdot d_1 + \Phi_{12} \cdot d_2 + \dots + \Phi_{1n} \cdot d_n &= \Phi_{1\Sigma} \cdot d_{1\Sigma} \quad , \\ \Phi_{21} \cdot d_1 + \Phi_{22} \cdot d_2 + \dots + \Phi_{2n} \cdot d_n &= \Phi_{2\Sigma} \cdot d_{2\Sigma} \quad . \end{aligned}$$

где d_i – средний диаметр i -й фракции материала, мм; $d_{i\Sigma}$ - средний диаметр фракций сыпучего материала, мм.

Но в отдельных горизонтах слоя материала из-за сегрегационных процессов при загрузке приведенные выше равенства нарушаются [6]

$$\begin{aligned} \Phi_{11} + \Phi_{12} + \dots + \Phi_{1n} &= \Phi_{1\Sigma} \quad , \\ \Phi_{21} + \Phi_{22} + \dots + \Phi_{2n} &= \Phi_{2\Sigma} \quad , \\ \text{-----} & \\ \Phi_{k1} + \Phi_{k2} + \dots + \Phi_{kn} &= \Phi_{k\Sigma} \quad . \end{aligned} \tag{6}$$

$$\begin{aligned} \Phi_{11} \cdot d_1 + \Phi_{12} \cdot d_2 + \dots + \Phi_{1n} \cdot d_n &= \Phi_{1\Sigma} \cdot d_{1\Sigma} \quad , \\ \Phi_{21} \cdot d_1 + \Phi_{22} \cdot d_2 + \dots + \Phi_{2n} \cdot d_n &= \Phi_{2\Sigma} \cdot d_{2\Sigma} \quad , \\ \text{-----} & \\ \Phi_{k1} \cdot d_1 + \Phi_{k2} \cdot d_2 + \dots + \Phi_{kn} \cdot d_n &= \Phi_{k\Sigma} \cdot d_{k\Sigma} \quad . \end{aligned} \tag{7}$$

Системы уравнений (6) и (7) не могут быть решены аналитически и требуют применения усовершенствованных численных методов. Их совместное решение позволяет определить фракционный состав шихты на различных горизонтах подготовленного к спеканию слоя. Используя полученные данные о сегрегации шихты и распределении минералогического состава материала по фракциям $k_i = f(\Phi_i)$, становится возможным определить закономерности его сегрегации по высоте слоя:

$$\begin{aligned} k_{11\Sigma} + k_{12\Sigma} + \dots + k_{1k\Sigma} &= k_{1\Sigma} \quad , \\ k_{21\Sigma} + k_{22\Sigma} + \dots + k_{2k\Sigma} &= k_{2\Sigma} \quad , \\ \text{-----} & \\ k_{n1\Sigma} + k_{n2\Sigma} + \dots + k_{nk\Sigma} &= k_{n\Sigma} \quad . \end{aligned}$$

где $k_{n\Sigma}$ – содержание i -го компонента в шихте, %; $k_{ij\Sigma}$ – содержание i -го компонента в j -й зоне слоя, %.

Аналогично определяется количество топлива в каждой зоне слоя ($C_{j\Sigma}$):

$$\begin{aligned} C_1 \cdot \Phi_{11} + C_2 \cdot \Phi_{12} + \dots + C_n \cdot \Phi_{1n} &= C_{1\Sigma} \quad , \\ C_1 \cdot \Phi_{21} + C_2 \cdot \Phi_{22} + \dots + C_n \cdot \Phi_{2n} &= C_{2\Sigma} \quad , \\ \hline C_1 \cdot \Phi_{k1} + C_2 \cdot \Phi_{k2} + \dots + C_n \cdot \Phi_{kn} &= C_{k\Sigma} \quad . \end{aligned}$$

где C_i – содержание углерода в i -й фракции, %; $C_{j\Sigma}$ – содержание углерода в j -й зоне слоя.

Результаты расчета $\Phi_i = f(h_i)$, $k_i = f(h_i)$ и $C_i = f(h_i)$ позволяют уточнить механизм тепловых процессов, протекающих в спекаемом слое и служат основой для моделирования оптимальных условий его формирования.

В процессе движения по тракту загрузки на аглоленту окомкованная шихта существенно изменяет свой гранулометрический состав. Это объясняется существованием значительных ударных и истирающих нагрузок, действующих на отдельные гранулы окомкованного материала при прохождении им промежуточного бункера агломашины, загрузочного узла и в процессе формирования слоя на аглоленте (рис. 1, 2).

Анализ работы тракта загрузки на основе фракционных рассевов не обеспечивает полного решения этой задачи, так как на них оказывают существенное влияние процессы, протекающие внутри сыпучей массы при ее движении, что вносит искажения в конечные результаты.

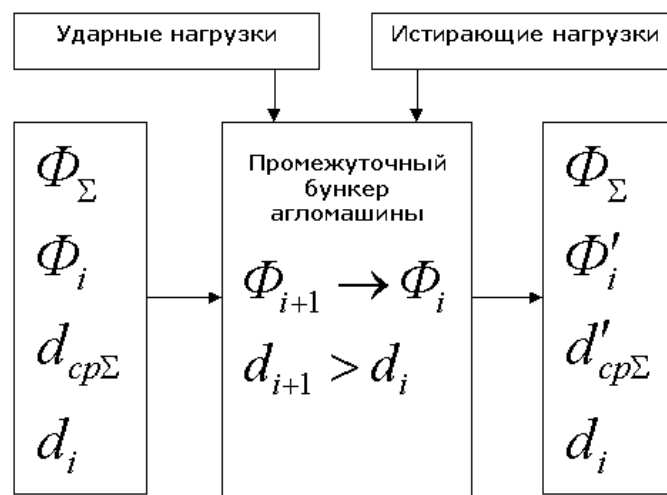


Рисунок 1 – Структурные изменения в массе сыпучего материала при движении через промежуточный бункер агломашины

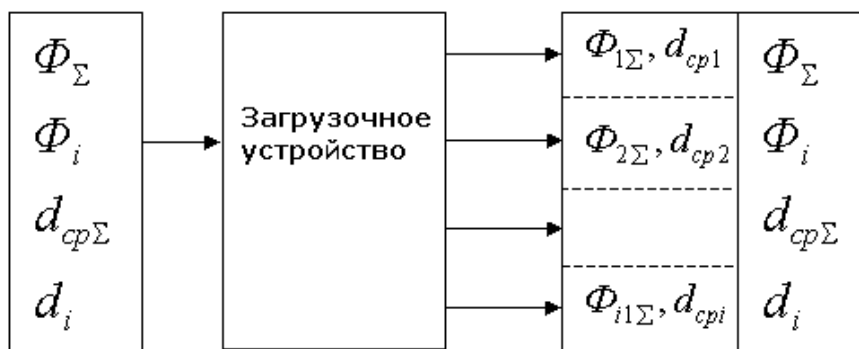


Рисунок 2 – Структурные изменения в массе сыпучего материала при формировании слоя на аглоленте
а – исходный материал, *б* – слой на аглоленте.

Уточнить и расширить понимание механизма процессов, протекающих при движении окомкованной шихты по тракту загрузки на аглоленту (рис. 3) позволяет использование для их анализа балансового метода [2]. Это создает теоретические предпосылки для выбора рациональных режимов работы спекательного отделения аглофабрики, что обеспечит повышение стабильности потока транспортируемого материала и улучшение его физико-механических свойств.

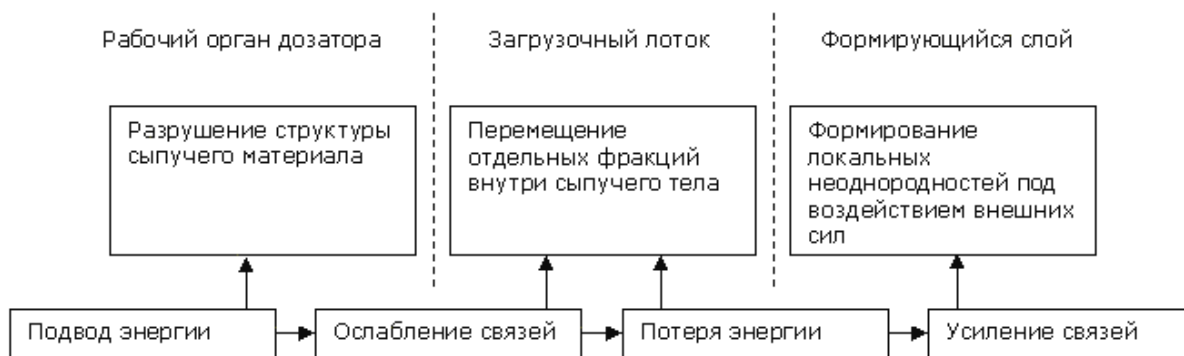


Рисунок 3 – Механизм сегрегационных явлений в процессе формирования стационарного слоя полидисперсного материала

Несмотря на конструктивные различия устройств дозирования сыпучих материалов, протекающие в них основные процессы, с достаточной достоверностью, характеризуются параметрами движения сыпучего материала по плоскости ограниченного размера.

Выводы. Сыпучие материалы, в зависимости от внешних воздействий и внутреннего состояния, могут характеризоваться свойствами твердого тела или вязкой жидкости. Применение определенных схем для характеристики их механических свойств затруднительно, в связи со значительной неоднородностью структуры.

Основное влияние на процесс формирования структуры полидисперсного материала оказывают его физико-механические свойства и условия работы технологических устройств.

Для исследования физического состояния сыпучего тела необходимо учет всей совокупности действующих на него сил, определяемых коэффициентами трения и внешними воздействиями.

При пересыпании полидисперсных сыпучих материалов, наряду с независимым движением крупных частиц, перемещаются массивы, которые, несмотря на частичную деформацию и разрушения, способствуют образованию в слое локальных объемных неоднородностей. Можно выделить три основных вида объемной неоднородности: структурную, заключающуюся в неоднородном сочетании фракций в сопоставляемых объемах; химическую, вызванную различным вещественным составом гранул; неоднородность шихты по плотности, обусловленную закономерностями формирования структуры сыпучего материала.

Использование балансового метода позволяет выделить основные технологические объекты, сформировать общий методологический подход к их исследованию, что упрощает его проведение и существенно повышает достоверность полученных результатов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Производство агломерата и окатышей [Текст]: справочник / Под общей редакцией Ю.С. Юсфина. – М.: Металлургия, 1984. – 216 с. – Библиогр. : с.
2. Гончаров, Ю.Г. Автоматизация процессов окускования железных руд / Ю. Г. Гончаров, А.В. Дримбо, А.Д. Ищенко. – М.: Металлургия, 1983. – 190 с. – Библиогр. : с.
3. Балансовые методы в исследовании и автоматизации мартеновских печей [Текст] / В.С. Кочо, В.И. Гранковский, В.Л. Найдек и др. – Киев.: Техника, 1966. – 243 с. - Библиогр. : с.
4. Коротич, В.И. Теоретические основы окомкования железорудных материалов [Текст] / В. И. Коротич. – М.: Металлургия, 1966. –150 с. – Библиогр. : с.
5. Пазюк, М. Ю. Математическая модель процесса окомкования шихтовых материалов [Текст] / М. Ю. Пазюк, Ю. Г. Качан, О. В. Ренгевич // Теория и практика металлургии. – 1997. – № 3. – С. 40-42.
6. Пазюк, М.Ю. Моделирование процесса формирования слоя полидисперсного сыпучего материала [Текст] / М.Ю. Пазюк, В.П. Гирич // Известия вузов. Черная металлургия. – 1991. – № 12. – С. 75-78.