

Б.Б. ЗОБНИН, С.В. ЕНДИЯРОВ,  
С.Ю. ПЕТРУШЕНКО

**Разработка имитационной модели  
диагностики процесса усреднения  
рудных материалов**

УДК 004.9

Уральский  
государственный горный  
университет,  
г. Екатеринбург

*В статье представлена применительно к процессу смешивания потоков сыпучих компонентов имитационная модель, основанная на данных. Представленная модель имитирует как источники получения данных, так и их преобразования, основанные на изучении физических феноменов, зарегистрированных при изучении объекта.*

*The article presents for the process of mixing streams of loose components simulation model based on the data. The constructed model simulates both sources of data and their transformation, based on the study of physical phenomena, reported in the study of the object.*

Задача разработки имитационной модели диагностики процесса усреднения рудных материалов применительно к аглодоменному производству является сложной, многокритериальной задачей, так как объединяет в себе задачи диагностики состояния усреднительного и дозирующего оборудования, а также диагностики процесса гомогенизации потоков рудных материалов, поступающих на усреднение. Поэтому для решения поставленной задачи необходимо применение ансамбля математических моделей, позволяющего более точно контролировать исходный процесс, а именно были использованы:

- математическая модель диагностики технологического комплекса, на основе расчета погрешностей измерений. Которая подразумевает собой использование алгоритма, позволяющего в режиме реального времени отслеживать изменение с заданным уровнем

вероятности возникновения аномальных зон, что в свою очередь позволяет уменьшить колебания химического состава агломерата, за счет фиксирования отклонения химического состава общего материального потока, поступающего на усреднения [1].

- математическая модель статистического контроля технологического процесса усреднения (на основе последовательного анализа Вальда). Которая в свою очередь позволит определить время разладки процесса, а так же время принятия решения для изменения управляющих воздействий [2].

- математическую модель управления дозированием, позволяющую оперативно корректировать расходы рудных материалов [3].

Процесс формирования штабеля рудосодержащих материалов может быть описан движением в многомерном пространстве, спроектированным на плоскости, отображающим зависимости параметров штабеля от времени.

Модель загрузки штабеля строится при следующих допущениях. Загрузочная тележка, формирует штабель, укладывая один за другим последовательно  $N_c$  слоев материала, двигаясь со скоростью  $v_3=0.2$  м/с. Время загрузки  $i$ -го слоя составляет  $T_{3i}$  и рассчитывается по формуле:

$$T_3 = \frac{L}{v_3}, \quad (1)$$

где  $L$  – длина штабеля ( $L=100$  м).

При этом время загрузки одного слоя составляет  $500с=8.3$  мин., а количество слоев руды – 240. Ширина штабеля по основанию -24 м. При высоте штабеля 15-16 м толщина одного слоя составляет 0.066 м.

При средней производительности входного потока 1200 т/ч штабель объемом 40 тыс т заполняется за 33.33 часа.

После того, как штабель сформирован в соответствии с технологической инструкцией, начинается его разгрузка.

Емкость ковша грейферного крана составляет  $V_c = 4$  м<sup>3</sup> Объем зоны обрушения  $V_o$ , в которой при черпании происходит полное перемешивание, составляет 8 м<sup>3</sup>

Объем руды в слое, идентифицируемом при позиционировании загрузочной тележки, рассчитывается по формуле:

$$V_u = \Delta l * d_{ci} * b_{cm} \quad (2)$$

где  $\Delta l$  – шаг позиционирования;  $b_{cm}$  – ширина слоя в  $m$ -ном сечении.

Должно выполняться условие:

$$V_u \leq V_o \quad (3)$$

При шаге позиционирования 5м, ширине слоя в среднем сечении 10м и толщине слоя 0.066м  $V_u=3.3$  м<sup>3</sup>, при шаге позиционирования 10м  $V_u=6.6$  м<sup>3</sup> что удовлетворяет условию (3).

Модель формирования и разгрузки штабеля на складе концентрата строится при допущении, что состав входного материального потока не успевает существенно измениться за время загрузки одного слоя материала в штабель, известен расход подаваемого материала и его качественные характеристики, полученные путем прогнозирования химического состава компонентов сырья. При этом состав материала, разгружаемого из штабеля, будет определяться технологией разгрузки штабеля в течение всего времени разгрузки  $T$ . На выходе двухштабельной усреднительной системы низкочастотные изменения состава материала описываются кусочно-постоянной функцией, изменяющейся с периодом  $T$ . В любой момент времени должна быть известна масса сырья, уже загруженного в штабель, и его качественные характеристики.

При этом дисперсия содержания железа в шихте, отгружаемой со склада, рассчитывается по формуле:

$$D_{\Delta\alpha}(T_3) = M \left\{ (1 - \xi^2) [\Delta\alpha_{Pi}(T_3)]^2 + \frac{\xi^2}{T_3} \int_0^T [\Delta\alpha_{Pi}(t)]^2 dt \right\}, \quad (4)$$

где  $\xi = 1 - \left(\frac{V_{эф}}{V}\right)$  – характеризует гомогенизационную способность циклической усреднительной системы;

$V_{эф}$  – объем зоны интенсивного перемешивания при выгрузке шихты со склада концентрата;

$V$  – рабочий объем штабеля (12900 м<sup>3</sup>);

$T_3$  – время загрузки штабеля.

$\Delta\alpha_{\Pi}$  – отклонение содержания железа в штабеле от заданного значения.

При  $\xi=0$  получается модель идеального перемешивания. При  $\xi=1$  усреднение практически отсутствует. Сглаживающий эффект при усреднении оказывается тем больше, чем меньше период колебаний входного потока по сравнению с периодом загрузки штабеля.

Полученный критерий имеет ясный физический смысл. При неидеальном перемешивании материала в штабеле необходимо сочетать стремление к компенсации средних по штабелю отклонений показателей качества шихты (первое слагаемое критерия (4) с требованием текущей стабилизации показателей качества шихты, поступающей на вход участка гомогенизации второе слагаемое критерия (4).

Представим каждую формируемую частицу в виде агента с индивидуальными свойствами. Изменение числа агентов изменяется по следующим правилам:

1 На каждом шаге добавляется один агент в случайно выбранной ячейке:  $Z(i, j) = Z(i, i) + 1$ ; где  $i, j = 1, \dots, N$ .

2 Ячейка, в которой имеется более 4 агентов, считается неустойчивой; число агентов уменьшается в ней на 4, они распределяются в 4 соседние ячейки:

$$\begin{aligned} Z(i, j) &= Z(i, j) - 4 \\ Z(i-1, j) &= Z(i-1, j) + 1 \\ Z(i, j-1) &= Z(i, j-1) + 1 \\ Z(i+1, j) &= Z(i+1, j) + 1 \\ Z(i, j+1) &= Z(i, j+1) + 1 \end{aligned} \quad (4)$$

Если происходит перераспределение агентов из неустойчивой ячейки, находящейся на краю сетки, то происходит потеря одного агента, если неустойчивая ячейка находится в одном из углов сетки, то происходит потеря двух агентов

3 После перераспределения частиц в одной и более соседних ячейках также может возникнуть состояние неустойчивости, для этих ячеек производятся перераспределения описанные в пункте 2.

4 Шаг завершается, когда состояние всех ячеек устойчивое.

Физика, отражаемая моделью укладки штабеля, является серьезным упрощением реальности. Реальные частицы имеют различ-

ный размер и форму. Процессы обрушения возникают не только на поверхности штабеля, но и вследствие трещинообразования внутри. Процесс обрушения зависит от того как отдельные частицы материала взаимодействуют друг с другом. Падение частицы есть движение, которое определяется действием гравитационного поля и взаимодействием между частицами которое может «затормозить» это движение. Рассмотренные упрощения не ограничивается приведенным списком. Вследствие этого необходимо разработать подходы к адаптации предлагаемой модели.

Подход к адаптации модели штабеля происходит на основе информации о положении автостеллы, и контурах штабеля на различных этапах его формирования.

Решение вопроса оптимизации представляется возможным с использованием динамического программирования Беллмана и теории генетических алгоритмов, так как данная задача может быть представлена как многостадийная задача принятия решений.

Генетический алгоритм - это эвристический алгоритм поиска, используемый для решения задач оптимизации и моделирования путём случайного подбора, комбинирования и вариации искомым параметров с использованием механизмов, напоминающих биологическую эволюцию. Является разновидностью эволюционных вычислений. Отличительной особенностью генетического алгоритма является акцент на использование оператора «скрещивания», который производит операцию рекомбинации решений-кандидатов, роль которой аналогична роли скрещивания в живой природе. Задача формализуется таким образом, чтобы её решение могло быть закодировано в виде вектора («генотипа») генов, где каждый ген может быть битом, числом или неким другим объектом.

В качестве генотипа предполагается использовать информацию о характеристиках материала и алгоритмах взаимодействия частиц штабеля. На первом этапе создаётся множество генотипов начальной популяции на основе имитационной модели штабеля. Они оцениваются с использованием «функции приспособленности», которая принимает максимальное значение, когда смоделированный штабель полностью совпадает с полученными контурами штабеля. В результате чего с каждым генотипом ассоциируется определённое

значение («приспособленность»), которое определяет насколько хорошо фенотип, им описываемый, решает поставленную задачу.

Из полученного множества решений («поколения») с учётом значения «приспособленности» выбираются решения, к которым применяются «генетические операторы», результатом чего является получение новых решений. Для них также вычисляется значение приспособленности, и затем производится отбор («селекция») лучших решений в следующее поколение.

Для более детального контроля формирования штабеля, визуализировались расходы компонентов, поступающих на усреднение, их химический состав, оперативное время контроля за процессом усреднения, график изменения затрачиваемых материальных средств на формирование штабеля, исходя из стоимости приведенной массы рудосодержащего материала, а также индикаторы прерывания расходов компонентов, из-за снижения производительности усреднительного и дозирующего оборудования.

Экранная форма разработанной имитационной модели представлена на рисунке 1.

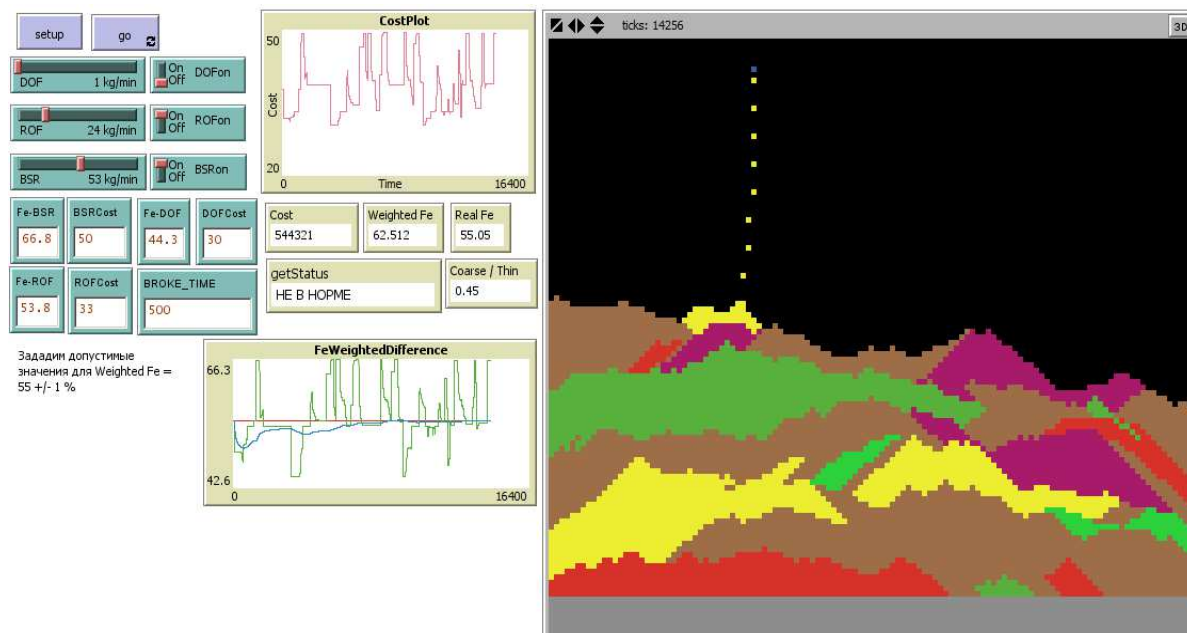


Рис.1. Имитационная модель диагностики процесса усреднения рудных материалов

Дополнительно в имитационную модель была введена возможность объемной визуализации формируемого штабеля рудных материалов (рис.2).

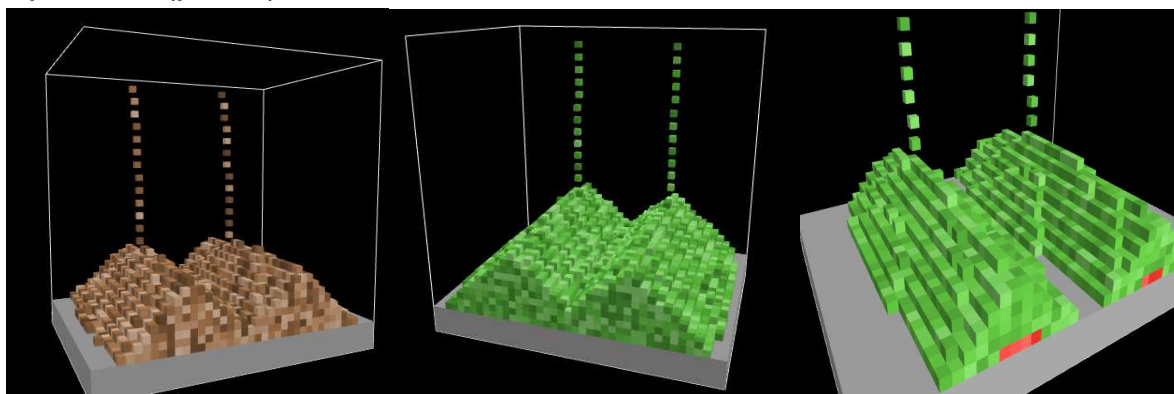


Рис.2. Объемная визуализация формируемого штабеля рудных материалов

Работе усреднительного склада уделяется особое внимание, так как он является первым звеном в составе исследуемого технологического комплекса, с помощью которого можно стабилизировать химический состав сырья. Проводились исследования отдельных звеньев технологического комплекса на имитационной модели, которая позволила исследовать влияние режимов формирования и отгрузки штабеля на характеристики отгружаемого со штабеля потока шихты.

Моделировалась загрузка сырья в штабель на усреднительном складе в течение четырех рабочих смен (8 часов) до полного его заполнения (рисунок 2).

Исследовалось изменение содержания железа в различных режимах работы усреднительного склада. В частности, в качестве нарушения регламента загрузки штабеля имитировалась неравномерная подача концентрата ДОФ-5 в течение смены. Результаты имитационного моделирования представлены на графиках изменения содержания железа в потоке железорудной части шихты при загрузке и отгрузке штабеля по результатам получена таблица 1.

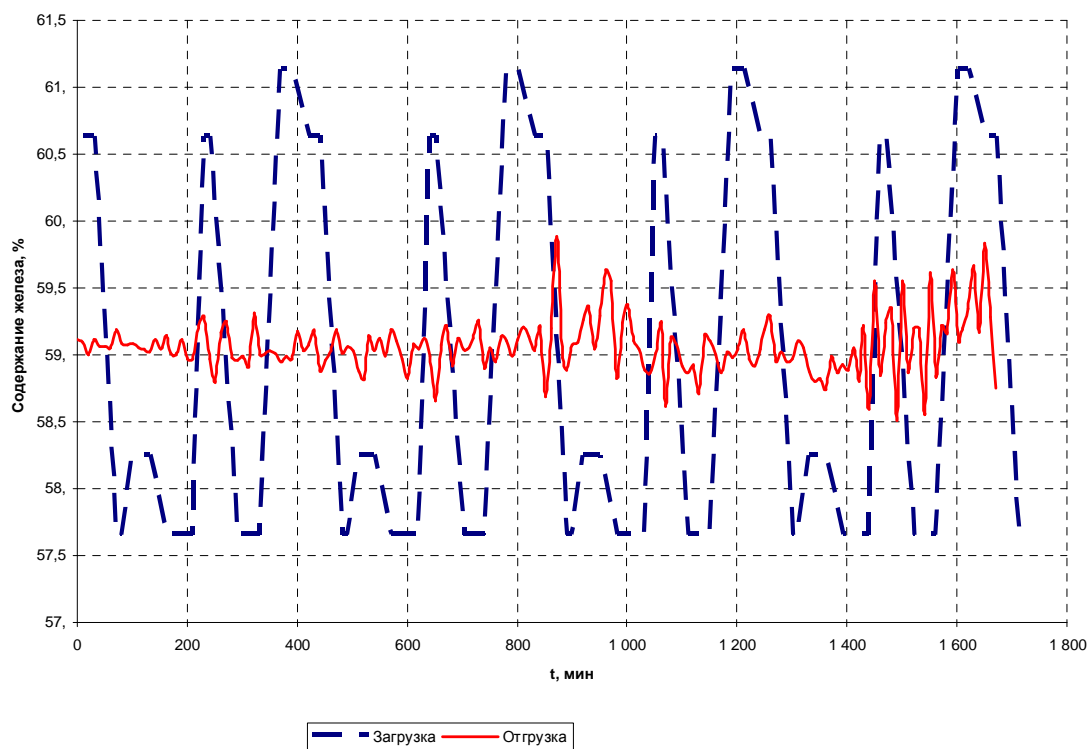


Рис. 3. Изменение содержания Fe при соблюдении регламента работы

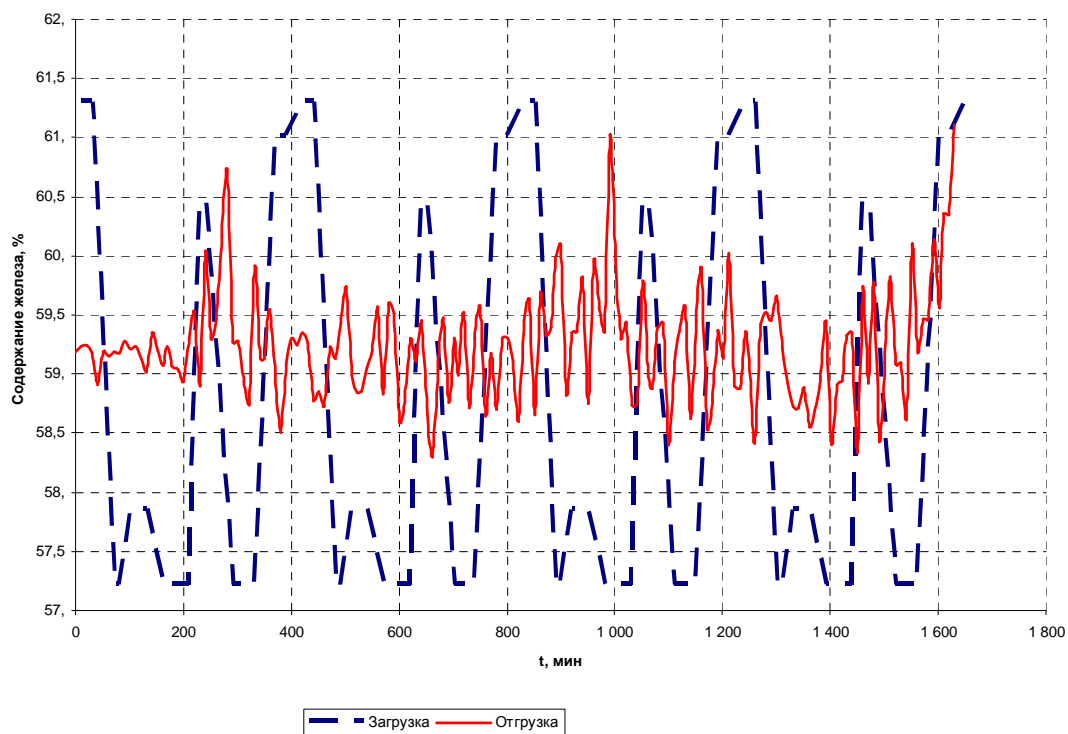


Рис. 4. Изменение содержания Fe при несоблюдении регламента работы



Как следует из графиков и анализа дисперсий содержания железа в отгружаемом потоке, при нарушении регламента загрузки дисперсии содержания железа в отгружаемом потоке увеличивается в пять раз. Результаты сведены в таблицу:

Таблица 1

**Результаты имитационного моделирования**

<b>Регламент загрузки штабеля</b>	<b>Дисперсия, %<sup>2</sup></b>	<b>СКО, %</b>
Равномерная загрузка	0,045	0,211
Неравномерная загрузка по концентрации ДОФ-5	0,227	0,477

Анализ графиков позволил выявить, что поток, отгружаемый со склада как при нарушении регламента загрузки штабеля, так и без нарушений характеризуется высокочастотными колебаниями. Характер колебаний на выходе склада определяется тем, что грейферные ковши пересекают ряд параллельных слоев.

Таким образом, представленная имитационная модель при использовании на производстве позволит оперативно выявлять разладки технологического процесса усреднения рудосодержащего материала, а также своевременно вырабатывать управляющие решения для его стабилизации.

### Литература

1. *Yendiyarov S., Petrushenko S. Robust Probabilistic Online Change detection Algorithm based on the Continuous Wavelet Transform // World Academy of Science, Engineering and Technology, France, Issue 60, December 2011, pp. 1810-1814.*

2. *Зобнин Б. Б., Ендияров С. В., Петрушенко С. Ю. Комплекс адаптивных моделей процесса смешивания потоков сыпучих материалов // Инженерная поддержка инновации и модернизации: сбор. науч. тр. 2011. вып. 1.*

3. *Зобнин Б.Б., Петрушенко С.Ю., Ендияров С.В. Математическая модель дискретного весового дозирования // Горный журнал: 2012, вып. 2.*

E-MAIL: [ENDEYAROV@OLYMPUS.RU](mailto:ENDEYAROV@OLYMPUS.RU)