

Б.Б. ЗОБНИН, А.В. ВОЖЕГОВ

**Имитационное моделирование  
процесса усреднения аглошихты на  
металлургических предприятиях**

УДК 681.5:669.162.1

ФГБОУ ВПО «Уральский  
государственный горный  
университет»,  
г. Екатеринбург

*Объектом исследования является процесс усреднения железорудного сырья на участке усреднения концентратов металлургического комбината. Построена имитационная модель формирования штабеля на складе УУК, позволяющая установить влияние технологических ситуаций на формирование аномальных зон в штабеле. С использованием вычислительного эксперимента исследованы технологические ситуации, в результате возникновения которых появляются аномальные зоны в штабеле.*

Цель. Разработка имитационной модели и алгоритмов, использование которых позволяет повысить эффективность системы стабилизации химического состава железорудного сырья.

Одним из важнейших факторов, оказывающих влияние на эффективность управления процессом агломерации железорудного сырья, является стабилизация качественных характеристик аглошихты, формируемой, как правило, из различных видов привозного и местного сырья. Типичной схемой формирования усреднительного комплекса является использование двухштабельной системы, в которой один штабель загружается автостеллой, а второй разгружается грейферными кранами. При послойном формировании штабеля поток компонентов, подаваемый на автостеллу, проходит усреднение. Забор шихты осуществляется в разрез штабеля с таким расчетом, чтобы грейферный кран захватывал возможно больше слоев, усредняя состав отгружаемого со склада сырья.

Качество усреднения сырья характеризуется, в частности, наличием аномальных по химическому составу сырья зон в штабеле.

Задача управления усреднительным комплексом решается на двух иерархических уровнях. На верхнем уровне решается задача формирования графика-задания, определяющего соотношения типов руд, поставляемых на усреднительный комплекс в течение недели. На нижнем уровне решается задача стабилизации характеристик шихты, соответствующих паспорту штабеля на периодах его формирования. Соответствие фактических характеристик плановым показателям определяется характеристиками аномальных по химическому составу зон в штабеле. Каждая аномальная зона характеризуется ее пространственным расположением, учитывающим положения автостеллы, и суммарной площадью ячеек, относящихся к аномальной зоне.

Используемые методы имитационного моделирования позволяют организовать накопление информации о нештатных и экстремальных ситуациях. Отсутствие этой информации приводит к тому, что оператор в нештатной ситуации не может принять правильного решения об управлении динамическим объектом.

Имитационная модель построена при следующих допущениях:

- известны сменные задания по каждому  $k$ -му классу железорудного сырья и соотношению грубые/тонкие (аглоруды/концентраты);
- известен график перевозки на склад концентратов в течение смены;
- известна общая масса материала  $k$ -го класса в вертушке, содержание компонента в  $k$ -м классе материала вертушки и время подачи вертушки на узел разгрузки думпкаров;
- известны результаты взвешивания материального потока на сборном конвейере, подающем железорудное сырье на автостеллу;
- известны параметры штабеля.

Имитационная модель воспроизводит следующие технологические ситуации:

- изменения порядка подачи составом с привозным сырьем на участок усреднения концентратов;

- изменение соотношения масс грубые/тонкие в вертушках;
- изменение массы материала и содержания железа в вертушках, а также интервалов времени между вертушками;
- изменение соотношений масс ведущие/ведомые между привозным сырьем и местными рудами;
- распределение содержания железа в сечении штабеля.

Возникающие технологические ситуации можно прокомментировать следующим образом.

Возможен различный порядок подачи составов (вертушек с привозным сырьем) на участок усреднения концентратов, который характеризуется размещением из  $n$  элементов по  $m$ , т.е. упорядоченным набором из  $m$  различных чисел, принадлежащих множеству  $1:n$ . Множество таких размещений обозначим через  $A(n,m)$ , а количество элементов этого множества через  $A_n^m$ . Имеется  $n$  способов выбора элемента, который ставится на первое место;  $(n-1)$  способа выбора второго элемента,  $(n-m+1)$  способа выбора последнего  $m$ -го элемента.

$$A_n^m = \frac{n!}{(n-m)!}$$

В качестве примера в табл.1 приведен фрагмент циклического графика подачи сырья на участок усреднения концентратов для условий Магнитогорского металлургического комбината. В первой строке таблицы приведено содержание железа для  $k$ -го класса железорудного сырья. В ячейках таблицы приведены количество думпкаров привозного сырья в каждой вертушке и процентное содержание местного сырья в штабеле.

Таблица 1.

**Пример циклического графика подачи сырья на участок усреднения концентратов**

Fe, %	55,6	65,7	59	62,7	62,4	59	49,4
№ Вертушки	Мих. к-т, думп	ССГПО к-т, думп	Смесь, думп	Агломелоч, думп	К-т ДОФ-5, % в штбеле	Смесь РОФ, % в штбеле	Бог. S ДОФСР, % в штбеле
1	3	9	0	0	9,6	6	10,1

2	0	0	12	0	9,6	6	10,1
3	0	0	9	3	9,6	6	10,1
4	0	0	12	0	9,6	6	10,1
5	3	9	0	0	9,6	6	10,1
6	0	0	12	0	9,6	6	10,1
7	2	9	0	0	9,6	6	10,1
8	0	0	12	0	9,6	6	10,1

Введены следующие обозначения:

Мих.к-т — Михайловский концентрат;

ССГПО к-т — концентрат Соколовско-Сарбайского горно-производственного объединения;

К-т ДОФ5 — концентрат дробильно-обогащительной фабрики ДОФ5;

БСР — богатая сернистая руда, поступающая с ДОФ5;

Смесь РОФ — смесь, подаваемая с рудообогащительной фабрики.

Зависимость массового расхода привозных компонентов сырья от времени задана в виде последовательности прямоугольных импульсов (рисунок 1). Каждый импульс представляет собой массу материала в вертушке, которая проходит по сборному конвейеру за определенное время. Длительность импульсов не постоянна, так как их начало и конец могут быть сдвинуты паузами, которые возникают при смене вертушек. Площадь прямоугольного импульса равна массе соответствующей вертушки:  $m = Q * t$ .

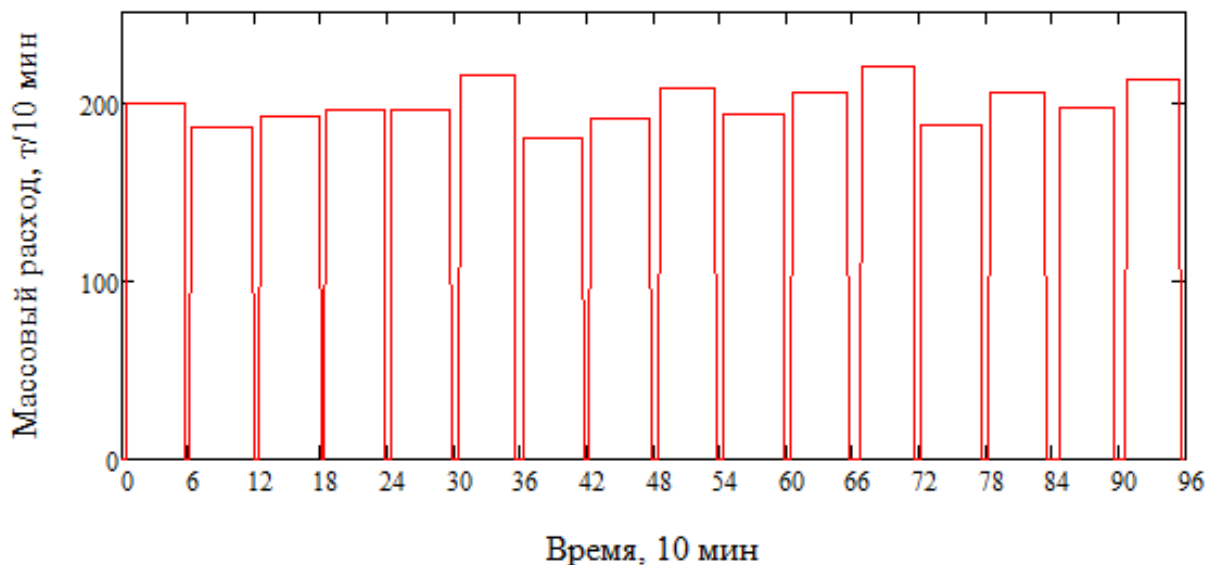


Рисунок 1. Массовый расход привозных компонентов сырья

Паузы в поступлении привозного сырья, связанные со сменой вертушки, задаются в виде выборки случайных величин, распределенных по закону Рэля (рисунок 2).

Плотность вероятности:

$$f(x; \sigma) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2}{2\sigma^2}\right), x \geq 0, \sigma > 0,$$

где  $\sigma$  — параметр масштаба, задан таким образом, что 99.6% сгенерированных значений лежат в интервале от 0 до 10 минут. Математическое ожидание —  $\mu = 3$  минуты 46 секунд.

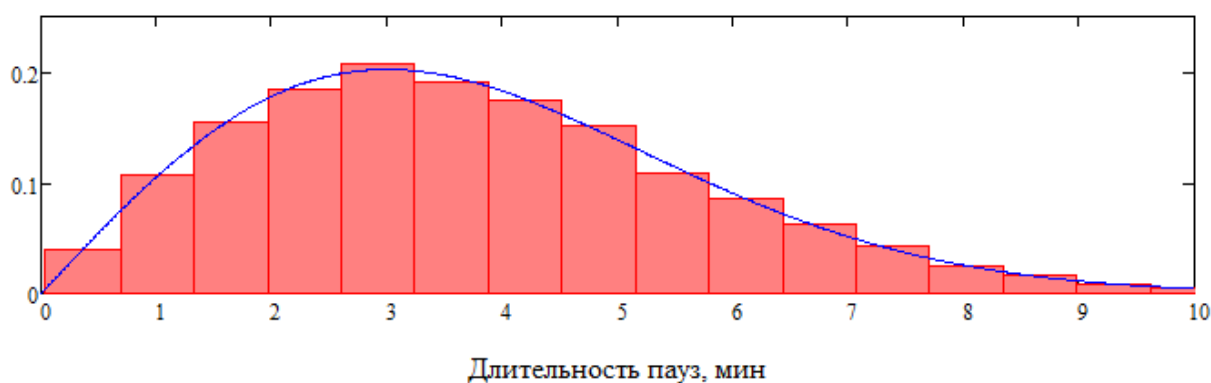


Рисунок 2. Гистограмма относительных частот наблюдения вариантов в выборке

Дискретные (десятиминутные) значения массового расхода вычисляются интегрированием функции массового расхода от времени:

$$S_i = \int_{\Delta t \cdot (i-1)}^{\Delta t \cdot i} Q(t) dt$$

при  $i = 1, \dots, n$ .

Измеренные значения массового расхода подвержены влиянию значительного числа независимых факторов, способных вносить с равной погрешностью положительные и отрицательные отклонения, вне зависимости от природы этих случайных факторов. С учетом аддитивной погрешности результат измерения расходов рассчитывается по формуле:

$$S_i^u = S_i + \lambda_i$$

где  $S_i$  — истинное значение измеренного расхода.

Плотность вероятности погрешностей измерения расходов:

$$f(\lambda) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{\lambda - \bar{\lambda}}{2\sigma^2}\right]$$

Моделирование возникающих технологических ситуаций позволяет построить модель послойной укладки сырья в штабель и пространственное распределения показателей химического состава. Модель строится на основании параметров штабеля; данных, поступающих с системы позиционирования сбрасывающей тележки на участке усреднения концентратов (УУК); расчетной зависимости суммарного массового расхода сырья на сборном конвейере и усредненного содержания железа от времени.

Закон движения сбрасывающей тележки представляет собой зависимость координаты вдоль длины штабеля от времени (рисунок 3).

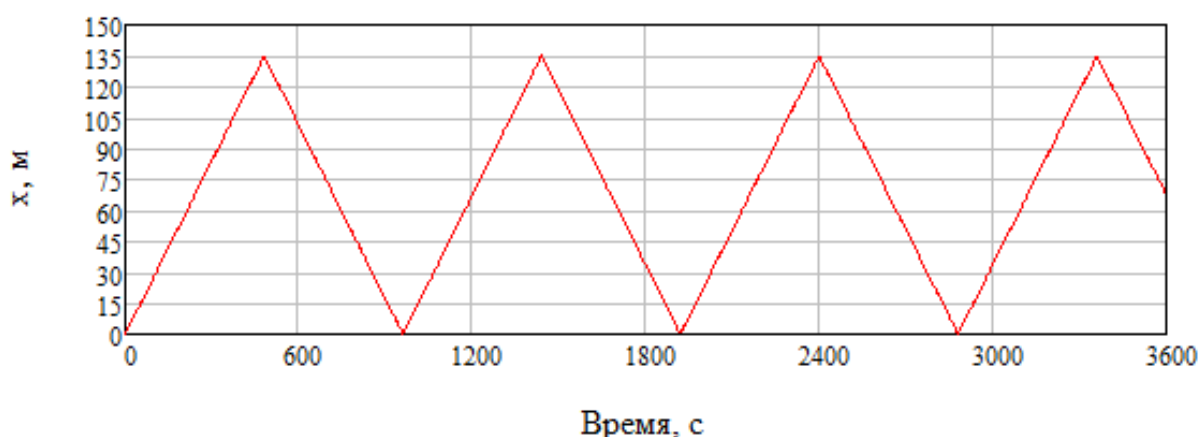


Рисунок 3. Закон движения сбрасывающей тележки

Графическое отображение результатов может быть представлено как в виде трехмерной модели (рисунок 4), так и в виде набора сечений (рисунок 5).

Поперечный разрез штабеля представляет собой фигуру с одинаковыми наклонными сторонами и М-образной вершиной. Длина штабеля по основанию – 135 метров. Угол наклона сторон к основанию -  $38^\circ$ . Расстояние между вершинами составляет 4 метра. Насыпная плотность материала в штабеле в среднем составляет 2,2 т/м<sup>3</sup>.

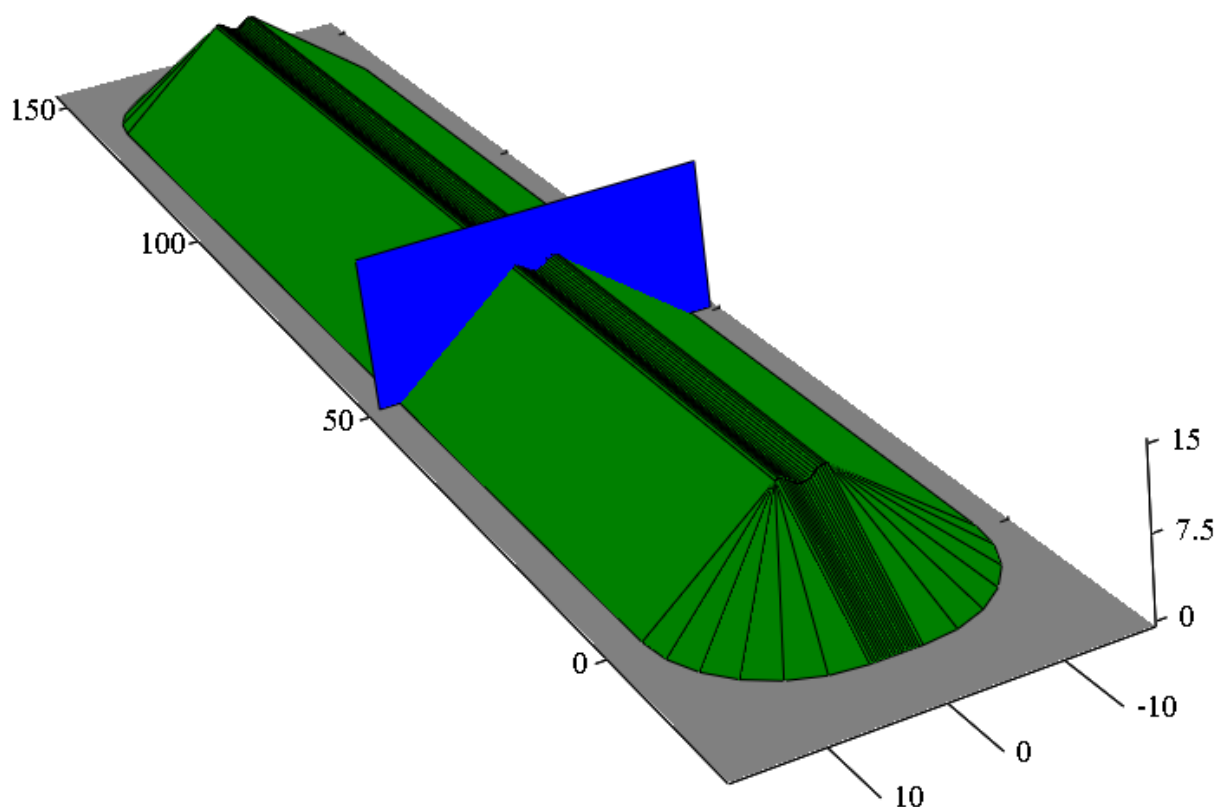


Рисунок 4. Трехмерная модель штабеля

В качестве примера на рисунке приведено распределение содержания железа в поперечном сечении штабеля.



**Заключение.** Построенная имитационная модель может быть использована при проектировании системы мониторинга и прогнозирования химического состава железорудного сырья в штабеле. Актуальность этой задачи постоянно возрастает в связи с вовлечением в переработку сырья с различными химическими и физико-механическими свойствами.