

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ ЗАПОЛНЕНИЯ И РАЗГРУЗКИ УСРЕДНИТЕЛЬНОГО СКЛАДА РУДЫ

MODEL OF FILLING AND UNLOADING OF ORE BLENDING STOCK

A. Grigalashvili

Annotation

The mathematical model and control algorithm of two-component material store, which are providing the blending of its members by filling and discharge at predetermined points, selected in accordance with the statistical properties of the material flow, are researching.

Keywords: ore blending, store, modeling, control algorithms, smoothed particle hydrodynamics.

Григалашвили Алёна Сергеевна

Ассистент каф. автоматизации технологических процессов, Березниковский филиал ФГБОУ ВПО "Пермский национальный исследовательский политехнический университет"

Аннотация

Исследуется математическая модель и алгоритм управления складом двухкомпонентного материала, обеспечивающий усреднение его состава за счет заполнения и разгрузки в заданных точках, выбираемых с учетом статистических свойств потока материала.

Ключевые слова:

Усреднение руды, склад, моделирование, алгоритмы управления, гидродинамика сглаженных частиц.

В планируемом к разработке с 2016 г. Усольском месторождении ОАО МХК "Еврохим" ожидается высокое содержание в руде нерастворимого остатка [4], а также его существенные колебания, которые могут оказать отрицательное влияние на процессы флотации сильвина, увеличивая необратимую сорбцию аминов на шламах.

Постоянство качества руд достигается их усреднением, под которым понимают смешивание в рациональном соотношении однотипных полезных ископаемых с разным содержанием полезного компонента с целью получения сырья заданного качества [5].

Однако штабельное усреднение с послойной укладкой руды и выборкой кратцер-краном, применяемое в настоящее время, может оказаться недостаточно эффективным в условиях больших отклонений содержания как полезного вещества, так и нерастворимого остатка, от средних значений.

Целью данной работы является повышение качества усреднения руды на складе калийного предприятия за счет управления её рассыпкой и выемкой в зависимости от состава. Для данного исследования разработана математическая модель заполнения и разгрузки склада в заданных точках на основе метода гидродинамики сглаженных частиц, включающая процессы пересыпания. А также разработан и реализован алгоритм управления складом двухкомпонентного материала, обеспечиваю-

щий усреднение его состава за счет заполнения и разгрузки в заданных точках, выбираемых с учетом статистических свойств потока материала.

Исходными данными являются размеры склада в метрах: X – ширина, Y – длина, Z – высота. Разобьем склад на кубические участки (ячейки) с заданным шагом $\Delta x = \Delta y = \Delta z = \Delta$, положив m (рис. 1). Это позволит для моделирования заполнения склада использовать в программе трехмерный массив чисел с плавающей точкой, в котором хранятся доли заполнения ячеек рудой, а также содержание полезного компонента (КСИ) и НО в данной ячейке.

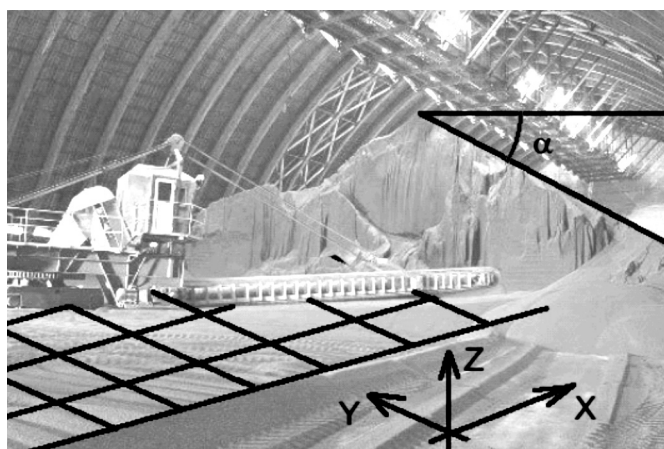


Рисунок 1. Дискретизация пространства склада.

Склад заполняется непрерывным потоком руды, поступающим через транспортную систему. Обозначим $M(t)$ – массовый расход руды, транспортированной по конвейеру за период времени t , кг/с, в т.ч. массовый расход хлорида калия – $H(t)$, нерастворимого остатка – $N(t)$. Очевидно, что

$$H(t) + N(t) \leq M(t),$$

за счет других компонентов руды, кроме хлорида калия и НО. Будем считать известными возможные максимальные и минимальные значения

$$H_{\max}(t) \geq H(t) \geq H_{\min}(t)$$

$$N_{\max}(t) \geq N(t) \geq N_{\min}(t)$$

а также значения $H(t)$ и $N(t)$ в каждый конкретный момент времени.

Для усреднения состава руды предлагается следующий подход.

Будем заполнять склад рудой таким образом, чтобы состав руды в каждой точке склада был известен. Тогда появится возможность выбрать руду на переработку, например, с помощью грейферного крана с объемом d^3 , m^3 , таким образом, чтобы поток учитываемых компонентов оставался стабильным при допустимых отклонениях в исходной руде.

Для осуществления моделирования загрузки и разгрузки склада применён алгоритм гидродинамики сглаженных частиц SPH, подробно описанный в [1]. В отличие от основанных на сетке методик, которые должны проследивать границы жидкости, SPH создаёт свободную поверхность для непосредственно двухфазных взаимодействующих жидкостей, так как частицы представляют более плотную среду (обычно воду), а свободное пространство представляет более лёгкую среду (обычно воздух). По этим причинам благодаря SPH возможно моделировать движение жидкости и твердых частиц в режиме реального времени. Более подробное обоснование выбора данного метода описано в работе [3].

Моделирование сводится к расчету взаимодействий частиц путем решения систем дифференциальных уравнений для каждой частицы, представленных на слайде. Основная идея SPH в том, что каждая частица в некоторой степени "заимствует" физические характеристики у своих ближайших соседей, что позволяет моделировать не только заполнение ячеек, но и осыпание частиц после выемки грейфером, сегрегацию частиц разной фракции и другие процессы.

Точка сброса руды выбирается в зависимости от состава рудной массы. Основная идея алгоритма управления точкой сброса заключается в том, что в зависимости

от статистических распределений содержания хлорида калия $H(t)$ и нерастворимого остатка $N(t)$ можно выбрать точку с координатами (x, y) , где

$$0 \leq E \leq \%, \quad 0 \leq y \leq Y,$$

X – ширина склада, m , Y – длина склада, m , таким образом, что в дальнейшем, управляя краном, можно будет загрузить в бункер руду с известным содержанием KCl и HO .

В первом приближении предполагается, что статистическое распределение обеих компонент линейное с

$$H_{\max} \geq H(t) \geq H_{\min} \quad \forall t \geq 0$$

$$\text{и } N_{\max} \geq N(t) \geq N_{\min} \quad \forall t \geq 0$$

Тогда точку y можно рассчитать из соотношения

$$\frac{y}{Y} = \frac{H(t) - H_{\min}}{H_{\max} - H_{\min}}.$$

Аналогично можно рассчитать и точку x :

$$x = X \frac{N(t) - N_{\min}}{N_{\max} - N_{\min}} \quad (1)$$

При накоплении статистической информации о фактических значениях $H(t)$ распределение вероятностей может стать нелинейной функцией, которую можно определить статистическими методами. Тогда с помощью статистического анализа можно рассчитать вероятность распределения $f(H(t))$ и определить координату точки сброса руды по формуле:

$$y = f(H(t)) \cdot Y : \begin{cases} f(H(t) < H_{\min}) = 0; \\ f(H(t) \leq H_{\max}) = 1. \end{cases}$$

Полученная функция распределения должна периодически уточняться, например, во время бездействия склада, когда руда на склад не поступает и со склада не извлекается. Аналогично уточняется и используется функция $f(N(t))$.

В качестве примера нелинейного распределения взято распределение Пуассона [7].

Распределение Пуассона – вероятностное распределение дискретного типа, моделирует случайную величину, представляющую собой число событий, произошедших за фиксированное время, при условии, что данные события происходят с некоторой фиксированной средней интенсивностью и независимо друг от друга.

$$f(t) = \log\left(1 - \frac{N(t)}{\max_i N(t)}\right) / -\lambda \quad (2)$$

где $\lambda \in [0, \infty]$ – математическое ожидание случайной величины.

Чтобы вычислить координаты точки выемки, решено первоначально разбить весь диапазон значений содержания каждой компоненты на несколько, так называемые "карманы". Например, для нерастворимого остатка вычисление будет выглядеть следующим образом:

$$Karman_i = \frac{N_{max} - N_{min}}{n} + N_{min} \quad (3)$$

где $Karman_i$ – нижняя граница значений в i -том "кармане", n – количество "карманов", N_{max} – максимальное содержание НО, N_{min} – минимальное содержание НО.

Затем при каждом получении нового значения компоненты, вычислить вероятность получения значения, входящего в тот или иной диапазон:

$$p_i = \frac{\sum_1^i k}{m} \quad (4)$$

где P_i – вероятность получения значения, принадлежащего i -тому диапазону,

$\sum_1^i k$ – количество раз получения значения, входящего в диапазон с 1-ого по i -ый, m – общее количество раз получения значений.

Далее необходимо вычислить среднюю вероятность всех "карманов" P_{sr} [8]:

$$P_{sr} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (5)$$

найти какой "карман" соответствует полученному значению $P_i \leq P_{sr} \leq P_{i+1}$.

Координата точки забора по оси X вычисляется следующим образом:

$$x_v = \frac{i}{n} \cdot X \quad (6)$$

где x_v – координата точки сброса руды по оси X , i – номер "кармана", n – количество карманов, X – ширина склада.

Координата точки сброса по оси Y вычисляется аналогичным образом в соответствии с полученными значениями о содержании хлористого калия в руде.

Для реализации математической модели и проведения экспериментов создан программный комплекс, имитирующий подачу руды на склад и его разгрузку. Загрузка склада происходит непрерывным потоком в определенную точку, координаты которой рассчитаны в зависимости от данных о содержании руды. Оборудование, определяющее состав руды имитирует генератор случайных значений. Для каждого компонента руды создан свой генератор.

Также программным комплексом смоделирован про-

цесс разгрузки склада грейферным ковшом, который производит выборку руды из рассчитанных координат. Именно данные о составе руды в произведенной ковшом серии выборки затем и анализируются.

Так было построено 16 экспериментов. В первых четырех экспериментах тип распределения содержания обеих компонент на протяжении всего времени не меняется, т.е. либо линейное распределение, либо нелинейное. В остальных экспериментах тип распределения одной или обеих компонент меняется на противоположный. Т.е., если в начале эксперимента распределение было линейным, то в середине эксперимента оно становится нелинейным, и наоборот.

По окончании эксперимента данные о составе руды в каждом произведенном заборе распределяются по порциям, которые грузятся в некий резервуар (грузовой автомобиль или бункер) для дальнейшей транспортировки – примерно 4–6 заборов на порцию. Затем анализируются данные о содержании в руде нерастворимого остатка в каждой порции.

На рис. 2 представлены результаты четырех экспериментов с различными типами распределения содержания руды. Так для эксперимента № 1 распределение содержания обеих компонент было линейным, эксперимент № 4 – распределение содержания обеих компонент было нелинейным. В эксперименте № 5 – распределение содержания в руде нерастворимого остатка сменилось с линейного на нелинейное, распределение хлористого калия в течение всего эксперимента – нелинейное. В эксперименте № 13 распределение обеих компонент руды сменилось с линейного на нелинейное.

Анализ полученных данных по окончанию экспериментов показал следующие результаты. Разница между максимальным и минимальным содержанием НО в руде при работе склада составляет в среднем 4,49 %. Минимальная и максимальная разница в содержании НО в руде между последовательными порциями может колебаться в среднем от 0,04 до 2,7 %. Максимальная разница между последовательными порциями до 5,34 % возможна при резкой смене типа распределения содержания одной или обеих компонент руды. Тем не менее, как видно из графика эксперимента № 5 (рисунок 2), такой резкий скачок происходит лишь при изменении типа распределения содержания компоненты, в дальнейшем амплитуда этих значений плавно снижается и меняется незначительно.

Для того, чтобы амплитуда содержания НО в руде была минимальной и неизменной понадобятся дополнительные исследования на поиск новых факторов, влияющих на результат.

Разработанный на основе учитывающего состав руды алгоритма комплекс программ позволит оперативно и синхронно с технологическим процессом определить качество руды. Его использование позволит усреднить руду на складе наилучшим образом. Как следствие, исключая

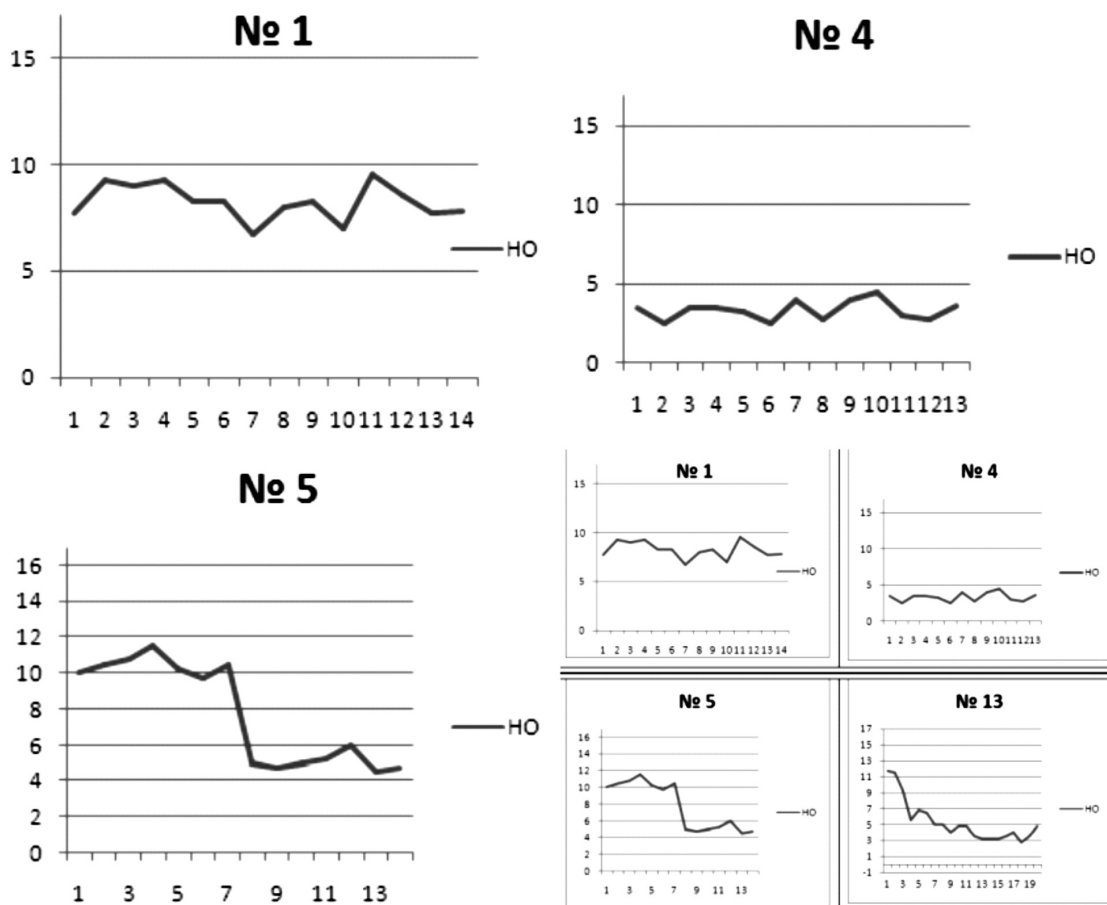


Рисунок 2. Качественные результаты имитационных экспериментов.

ется выпуск несоответствующей стандартам продукции, требующей снижения сортности; возврат нестандартной по качеству продукции на переработку.

Это позволит экономить сырье, материалы, энергоресурсы на выпуск продукции, и, следовательно, увеличить прибыль производственной деятельности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Варламова С.А., Затонский А.В. Об усреднении состава руды на промежуточном складе // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2013. № 9–10. С. 12–18.
2. Григалашвили А.С., Варламова С.А. Имитационная модель заполнения склада калийной рудой // Новый университет. 2014. № 10 (32). С. 61–64.
3. Григалашвили А.С. Модификация алгоритма SPH для моделирования загрузки склада рудой // Решение: материалы четвертой Всероссийской научно-практической конференции. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2015. С. 62.
4. Григалашвили А.С. Реализация модели заполнения и разгрузки усреднительного склада руды // Современная наука: актуальные проблемы теории и практики. Серия: Естественные и технические науки. 2016. № 1. С. 44–48.
5. Склад руды, породы. Усреднительный склад. // EvoRock [Электронный ресурс] режим доступа <http://www.evorock.ru/vidy-rabot/otkrytye-gornye-raboty/sklad-porody.html>
6. Усольский калийный комбинат – для будущих поколений // Промышленная безопасность, 2013.– № 5: анонс. [Электронный ресурс] режим доступа <http://pbperm.ru/anonsy/1188-----5-2013-.html>.
7. Усреднение качества. Горная энциклопедия [Электронный ресурс] режим доступа <http://www.mining-enc.ru/u/usrednenie-kachestva/>
8. Затонский А.В., Беккер В.Ф., Плехов П.В. Внешние связи информационной модели системы управления техническим состоянием оборудования // Современные наукоемкие технологии. 2009. № 7. С. 78–79.
9. Кулишенко В.С., Кравец О.Я. Распределенные и адаптивные алгоритмы управления группой автономных мобильных объектов // Информационные технологии моделирования и управления. 2011. № 6 (71). С. 709–717