

Надутьий В. П.

Эрперт А. М.

Хмеленко И. П.

*Институт
геотехнической
механики
им. Н. С. Полякова
НАН Украины*

УДК 622.794.3.001.5

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ВИБРАЦИОННОЙ КЛАССИФИКАЦИИ УГОЛЬНЫХ ШЛАМОВ

Запропонований метод оптимізації процесу вібраційної класифікації вугільних шламів. Описаний приклад його технічної реалізації за допомогою тонкого грохочення при максимальному витяганні вугільного концентрату зі шламів.

The method of optimization of vibration classification process of coal slims is offered. The example of its technical realization is described by thin screening at maximal extraction of coal concentrate from coal slims.

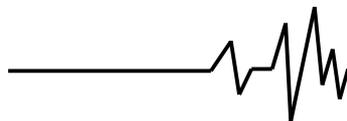
Выполненный комплекс исследований по переработке отходов углеобогажительных фабрик Украины показал, что шламоохранилища, где сосредоточены отходы и шламы текущего процесса обогащения представляют собой огромный промышленный и социальный интерес. Даже по скромным подсчетам в отстойниках и илонакопителях находится более 115 млн. тонн шламовых продуктов различной зольности, которая колеблется в пределах 45-70%. Они занимают огромные площади, отрицательно влияют на окружающую среду и вместе с тем являются техногенными месторождениями, поскольку углеродная часть в них составляет существенную долю, являясь результатом несовершенства технологий обогащения угля [1-3]. В настоящее время появились новые технические и технологические возможности дообогащения шламов и получения угольной массы с зольностью не более 25-28% и низкой себестоимостью [2,4,5], поэтому угольные шламы принято считать вторичными ресурсами твердого топлива Украины [8].

Особенностью и основной трудностью извлечения угольного концентрата из шламов является его мелкодисперсность. Незначительная контрастность по плотности с вмещающими породами (в 1,8-2,0 раза) и преобладающая крупность до 40 микрон, в которой содержится значительная масса углерода, требуют применения новых, более тонких технологий обогащения. Перспективным направлением такой

технологии является тонкое вибрационное грохочение. Испытания, проведенные на ряде обогажительных угольных фабрик и шламоохранилищ показали [4,5], что с помощью тонкого вибрационного грохочения шламы можно разделить на угольный концентрат с зольностью до 28% (сырье для энергетики) и на силикатную массу пригодную для использования в производстве строительных материалов.

С помощью использования тонкого вибрационного грохочения разработан метод оценки качества шламов из илонакопителей [6] и метод определения ситового состава и запасов угля в шламоохранилище [7]. Эти методы позволяют выявить ситовой и вещественный состав (по углю и золе) шламоохранилища и принять техническое решение выбора класса крупности при вибрационной переработке шламов на грохоте с выходом угольного концентрата низкой зольности. Метод позволяет выполнить такой анализ как по площади, так и по объему шламоохранилища.

Целью дальнейших исследований является оптимизация процесса тонкой вибрационной классификации шламов для определения такого разделения шламов на классы, при которой будет получен максимальный выход промышленного концентрата при заданном ограничении на его качество по зольности. В такой постановке задача вибрационной классификации является оптимизационной.



Метод оптимизации позволяет определить оптимальные значения варьируемых параметров, при которых будет обеспечен максимум или минимум выбранного критерия эффективности - целевой функции. В общем виде задача оптимизации формулируется следующим образом.

Пусть $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ - искомые значения варьируемых параметров; $f_1(A_1, X)$, $f_2(A_2, X)$, ..., $f_m(A_m, X)$ - функции, описывающие взаимосвязь между варьируемыми параметрами; $A_i = \{a_{i1}, a_{i2}, \dots, a_{in}\}$ - параметры функций; B_1, B_2, \dots, B_m - предельные значения сверху (снизу), которые могут принимать функции; $F(C, X)$ - критерий эффективности, которому должен быть обеспечен максимум (минимум), $C = \{C_1, C_2, \dots, C_n\}$.

В математической постановке задача оптимизации записывается так:

$$\begin{cases} f_1(A_1, X) \leq B_1 \\ f_2(A_2, X) \leq B_2 \\ f_2(A_2, X) \leq B_2 \end{cases} \quad (1)$$

$$x_i \geq 0, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$F(C, X) \rightarrow \max(\min) \quad (3)$$

Система неравенств (1) называется системой ограничений, условия (2) - условиями неотрицательности, выражение (3) - функцией цели.

Если функции f_1, f_2, \dots, f_m и F являются линейными функциями варьируемых параметров X , то задача оптимизации в такой постановке называется задачей линейного программирования; если же хотя бы одна из перечисленных функций нелинейна относительно X , то имеет место задача нелинейного программирования.

На переменные X может быть наложено требование целочисленности (например, x_1, \dots, x_n - число изготовленных изделий 1-го, ..., n -го типа, которое не может быть дробным). В этом случае имеет место задача целочисленного программирования.

Частным случаем целочисленного программирования может быть случай, когда искомые переменные могут принимать

двоичные значения:

$$x_i = \{0, 1\}$$

Например, если шламы i -го класса крупности не включаются в товарную продукцию (промышленный концентрат), то $x_i = 0$, если же включаются, то $x_i = 1$.

Оптимизационные задачи такого типа называют задачами двоичного программирования.

Рассмотрим постановку задачи оптимизации применительно к оптимизации процесса классификации шламов.

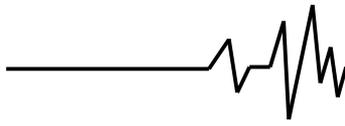
Производится опробование шламов шламохранилища углеобогатительной фабрики. Пробы отбираются в отдельных точках, характеризующих некоторый объем шламов вокруг них. Шламы из района взятой пробы направляются на переработку (грохочение) для получения угольного концентрата с содержанием золы в нем, не превышающем $A_{дон}$. Результаты опробования задаются таблицей 1:

Таблица 1

Форма записи исходной информации для расчета

№№ п/п	Классы крупности, мм	Выход класса, γ , %	Зольность класса, A^d , %
1	+2,5	γ_1	A_1^d
2	+1,6	γ_2	A_2^d
3	+1,0	γ_3	A_3^d
4	+0,63	γ_4	A_4^d
5	+0,315	γ_5	A_5^d
6	+0,2	γ_6	A_6^d
7	+0,1	γ_7	A_7^d
8	+0,05	γ_8	A_8^d
9	-0,05	γ_9	A_9^d

Требуется определить, какие классы крупности следует отобрать в угольный концентрат, чтобы итоговая зольность не превышала допустимого значения $A_{дон}$ и выход шламов в концентрат при этом был максимальным.



Введем в рассмотренные переменные x_1, x_2, \dots, x_9 , каждая из которых соответствует определенному классу крупности; $x_i = \{0,1\}$, $i = 1, 2, \dots, 9$. Если переменная $x_i = 1$, то это означает, что i -й класс крупности включается в концентрат; если же $x_i = 0$, то i -й класс крупности в концентрат не включается.

Обозначим γ_Σ - суммарный выход шламов в концентрат; A_Σ - итоговая (средняя) зольность шламов в суммарном концентрате.

Используя двоичные переменные $i = 1, 2, \dots, 9$, получим:

$$\gamma_\Sigma = \sum_{i=1}^9 \gamma_i x_i,$$

$$A_\Sigma = \frac{\sum_{i=1}^9 \gamma_i A_i^d x_i}{\sum_{i=1}^9 \gamma_i x_i}.$$

Учитывая требования к выходу из зольности, приведенные выше, получим:

$$\frac{\sum_{i=1}^9 \gamma_i A_i^d x_i}{\sum_{i=1}^9 \gamma_i x_i} \leq A_{\text{дон}}, \quad (4)$$

$$x_i = \{0,1\}, \quad i = 1, 2, \dots, 9, \quad (5)$$

$$\sum_{i=1}^9 \gamma_i x_i \rightarrow \max. \quad (6)$$

Таким образом, сформулированная здесь математическая задача является задачей линейного двоичного программирования. В ней (4) - линейное ограничение; (5) - условие неотрицательности с требованием двоичности искомым переменных; (6) - функция цели.

Для автоматизации решения этой задачи используем встроенную функцию "Поиск решения" табличного процессора MS Excel.

Решение задачи оптимизации процесса классификации шламов было выполнено для всех точек опробования, в которых пробы брались близко от поверхности шламохранилища и в его объеме. Для иллюстрации метода рассмотрена одна точка опробования.

Исходные данные по этой точке и результаты оптимизационных расчетов

приведены в таблице 2.

Таблица 2

Исходные данные и результаты оптимизационных расчетов

A_Σ , %	$A_{\text{дон}}$, %	γ_Σ , %
2,340807	2,5	24,55
3,785497	5	30,36
9,686935	10	40,29
14,31754	15	45,52
14,31754	20	45,52
14,31754	30	45,52
33,80093	35	100

При этом приняты обозначения:

A_Σ - зольность фактическая;

$A_{\text{дон}}$ - зольность допустимая;

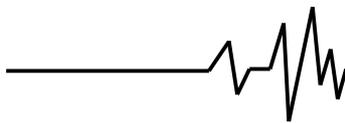
γ_Σ - выход.

Было рассмотрено семь вариантов классификации шламов при различных значениях допустимой зольности. Для каждого варианта приведены значения двоичных переменных, характеризующих включение или не включение данного класса крупности в концентрат. Заметим, что при $A_{\text{дон}} = 2,5$ % используются только первые пять классов крупности, при этом фактическая зольность составила 2,34 %, а выход шламов в концентрат $\gamma_\Sigma = 24,55$ %.

При увеличении $A_{\text{дон}}$ до 5 % к первым пяти классам крупности добавляется седьмой класс крупности; выход концентрата при этом возрастает до 30,36 %. Аналогично можно проинтерпретировать и остальные варианты классификации.

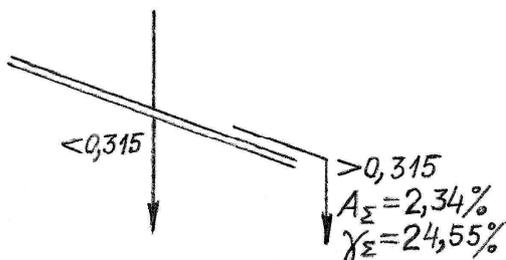
На рисунке 1. приведены схемы реализации процессов грохочения для вариантов 1 и 2 рассматриваемой точки. При реализации вариантов 1 имеет место одноступенчатое грохочение, при реализации варианта 2 - трехступенчатое, при этом суммируются потоки первой и третьей ступеней.

Следует отметить, что при решении оптимизационной задачи методом двоичного программирования итоговое содержание золы в готовом продукте, как правило, ниже граничного допустимого значения. Если допустить возможность подшихтовки продукта классами с более высокой зольностью, то



можно обеспечить получение более высокого выхода готового продукта с зольностью, не превышающей допустимого значения.

а)



б)

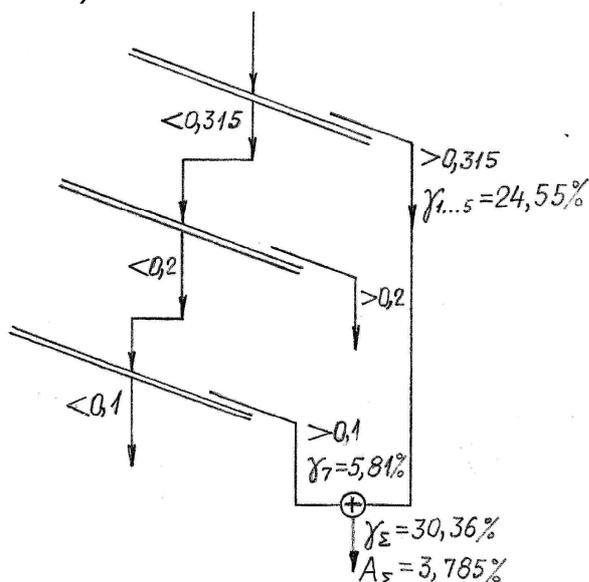


Рис.1 Схемы реализации процессов грохочения

- а) одноступенчатое грохочение
- б) трехступенчатое грохочение

Для получения модели с подшихтовкой надо отказаться от двоичных переменных, и в задаче (4) - (6) ограничение (5) заменить двумя ограничениями:

$$x_i \geq 0 - \text{условие неотрицательности;}$$

$x_i \leq 1$ - количество продукта из i -го класса не может превышать имеющегося там объема, $i = 1, 2, \dots, 9$.

Рассмотрим результаты для данной точки. При решении задачи с двоичными переменными была получена трехступенчатая схема грохочения (рис. 1,б). При решении задачи с обычными переменными трехступенчатая схема сохраняется, однако готовый продукт подшихтовывается частью надгрохотного продукта второй ступени в количестве 16,3 % получаемого там объема. На рис. 2 приведена схема формирования конечного продукта.

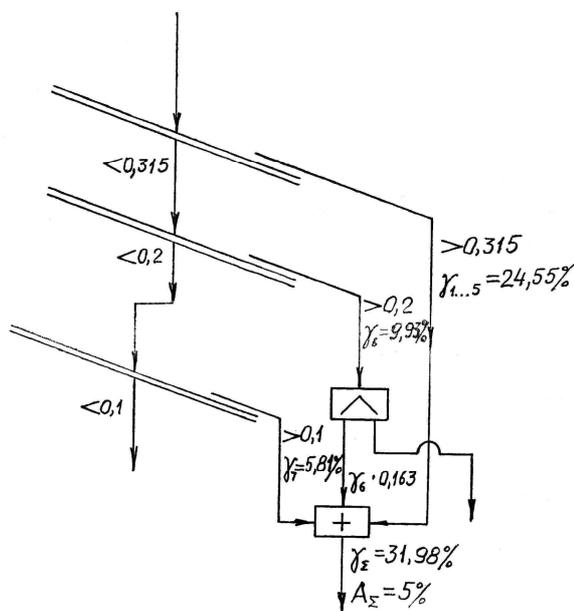
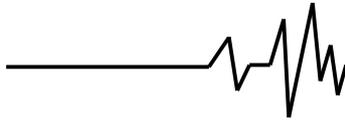


Рис.2 Схемы формирования конечного продукта

Из рис. 2 видно, что, помимо классов 1...5 и 7, в готовый продукт добавляется 16,3 % класса 6, из-за чего зольность продукта возрастает с 3,785 % до 5 %, т.е. в пределах допустимых значений, зато выход продукта увеличивается с 30,36 % до 31,98 %.

Выводы

Таким образом, представленный метод оптимизации процесса позволяет установить наиболее перспективные классы крупности вибрационного разделения угольных шламов с максимальным содержанием угольной массы и допустимым содержанием золы. Предложен опробированный метод извлечения мелких и тонких классов горной массы и их суммарный отбор с максимальным содержанием угольной массы.

**Література**

1. Полулях А.Д. Технологические регламенты углеобогачительных фабрик: Справочно-информационное пособие. – Днепропетровск: НГУ, 2002. – с.856.
2. Комплекс оборудования для обогащения шламов в технологических схемах углеобогачительных шламов / Кофанов А.С., Епихин В.Ю., Чумак В.Ф., Король А.П. // Збагачення корисних копалин: Наук. - техн. зб. НГУ- Вип. 17(58). Днепропетровск—с.68-72.
3. Бент О.И. Прогноз социально-экологических исследований утилизации промышленных отходов Украины // Уголь Украины. – 1997. – №2-3. – с. 56-57.
4. Надутый В.П. Обоснование метода определения эффективности разработки техногенных отходов углеобогащения // Збагачення корисних копалин: Наук.- техн. зб. НГУ – Вип.29(70)-30(71) – Днепропетровск – 2007. – с.224-227.
5. Надутый В.П. Тонкое вибрационное грохочение при переработке угольных шламов / Надутый В.П., Нагорский А.Ф., Шевченко А.И. //Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. – Вып. №58.– Днепропетровск– 2005. – с.185-190.
6. Надутый В.П. Метод оценки качества шламов мз илонакопителей / Надутый В.П., Эрперт А.М., Шевченко А.И. // Геотехническая механика: Межвед. сб. науч. трудов ИГТМ НАН Украины. –Вып №61. – Днепропетровск.– 2006. – с.284-292.
7. Надутый В.П. Метод определения ситового состава и запасов угля в шламохранилище / Надутый В.П., Хмеленко И.П. // Збагачення корисних копалин: Наук.- техн. зб. НГУ,– Вип.33(74) – 2008 – Днепропетровск. – с.140-147.
8. Вторичные ресурсы твердого топлива Украины / Пивняк Г.Г., Пилов П.И., Кирнарский А.С., Кочетов В.В. // Обогащение полезных ископаемых: Науч.- техн. сб. НГУ, – Вып.1(42)– Днепропетровск –1999. – с.40-47.