

УДК 622.7.092(045)(476)

УСРЕДНЕНИЕ СЫРЬЕВОЙ СМЕСИ ПРИ ОБОГАЩЕНИИ МЕСТНЫХ ВИДОВ ТОПЛИВА

Березовский Н.И., Лесун Б.В. (Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Беларусь)

В настоящее время стоимость составляющих компонентов сырьевых смесей для производства пористых строительных материалов в несколько раз превышает стоимость фрезерного торфа и переработанных топливных брикетов, поэтому их замена носит актуальный характер и позволит в будущем использовать результаты исследования при импортозамещении различных видов угля. Рассмотрена эффективность усреднения сырьевых смесей на карьерных складах, которая может определяться общей дисперсией качества сырьевой смеси в отгружаемых со склада порциях смеси или критерием оптимальности.

Введение

Решение задач экономического и социального развития требует совершенствования технологических процессов в целях снижения энергоемкости производства и себестоимости продукции за счет использования местных видов топлива (МВТ) и вторичных энергетических ресурсов (ВТЭР) на основе фрезерного торфа, топливных брикетов, древесных опилок, лигнина, соломы и других видов. В технологии производства аглопорита и керамического кирпича в Республике Беларусь в настоящее время используют дорогостоящий импортный материал – антрацит или каменный уголь, который добывают на Украине.

Основными направлениями экономии энергоресурсов являются: совершенствование технологических процессов, оборудования, снижение потерь топливно-энергетических ресурсов, структурные изменения в технологии производства, улучшение качества топлива и энергии. Следует развивать производства, имеющие высокую долю местных ресурсов, а также более глубокую их переработку. Это производство стройматериалов, деревообработка, химическая и топливная отрасли. Республика Беларусь располагает сырьевыми топливными ресурсами торфа, продуктами его добычи и переработки (торф для брикетирования и пылевидного сжигания, брикеты, кусковой торф), бурого угля, нефти, горючих сланцев, дров. Торфяное топливо в настоящее время играет значительную роль в обеспечении потребности Республики Беларусь в твердом топливе, в первую очередь, в обеспечении потребности населения и коммунально-бытовых потребителей. В недрах Республики Беларусь имеются значительные запасы торфа, рациональное освоение которых может способствовать повышению эффективности в ряде отраслей экономики [1].

Внедрение научных разработок в производство позволит получить значительный экономический эффект за счет разницы цен составляющих сырьевой смеси и уменьшения энергозатрат при их сушке и обжиге. Для достижения этой цели следует развивать производства, имеющие высокую долю местных ресурсов, а также более глубокую их переработку.

Исследования по обогащению и усреднению сырьевых смесей

Для получения высококачественных, прочных и надежных строительных материалов необходимо подбирать и тщательно анализировать исходные компоненты с точки зрения рентабельности и ресурсосбережения. На карьере «Ольшанка» (Минский

район) при добыче силикатного песка, который используют для производства кирпича, значительное количество вскрышных пород поступало в отвалы (отходы), которые в последнее время утилизируются и используются для производства. Основным параметром оптимизации получаемой готовой продукции является ее плотность и прочность, которые зависят от эффективности смешивания или усреднения параметров сырьевой смеси. Смешивание малых объемов с весьма большими требует значительного времени усреднения в больших емкостях. Для того чтобы снизить расход времени, применяют последовательное смешивание увеличивающихся объемов [2, 3].

Если вещество 1 массой m_0 смешать с веществом 2 массой m_1 , где $m_1 \gg m_0$, то в результате получают смесь концентрации

$$p = \frac{m_0}{m_0 + m_1}. \quad (1)$$

Вещество 2 в количестве $m^{(1)} = m_0$ смешивают, получают концентрацию $p = m_0/(2m_0)$. Затем берут массу вещества 2 в количестве $m^{(2)} = 2m_0$ и смешивают с предыдущей смесью, получают концентрацию $p^{(2)} = m_0/(4m_0)$. В первой операции смешивания получают $p^{(i)} = m_0/(2^i m_0) = 1/2^i$. Так поступают до тех пор, пока $p^{(i)} = p_0$.

Необходимое количество операций смешивания находят по соотношению

$$i = -\frac{\ln p_0}{\ln 2}. \quad (2)$$

Перемешивание двух и более продуктов в соизмеримых пропорциях дает в результате новые показатели, которые являются средневзвешенными от ингредиентов.

Однако число i должно быть натуральным, поэтому в качестве i необходимо брать целую часть от правой части формулы, т.е.

$$i = \left[\frac{\ln p_0}{\ln 2} \right]. \quad (3)$$

Неудобством является и задаваемое значение концентрации, которое в соответствии с величиной $1/2^i$ может принимать лишь значения 50 %, 25 %, 12,5 %, ...

Предлагается к массе m_0 первого вещества при первом смешивании добавить массу m_0 второго вещества, при следующих смешиваниях добавлять второе вещество в соответствии с арифметической прогрессией в количестве km_0 , тогда p_i можно найти по формуле

$$p_i = \frac{m_0}{m_0 + m_0 + k \cdot (i-1) \cdot m_0} = \frac{1}{2 + k \cdot (i-1)} = p_0. \quad (4)$$

$$\text{Отсюда } i = \frac{1 + (k-2) \cdot p_0}{k \cdot p_0}.$$

Так при заданной концентрации $p_0 = 0,1$, соответствующей 10 %, имеем

$$i = \frac{1 + (k-2) \cdot 0,1}{k \cdot 0,1} = \frac{8+k}{k}. \quad (5)$$

Так как величина i есть натуральное число, большее 1, то при выполнении условия $8 + k = k \cdot i$ и $8 = k \cdot (i - 1)$, k может принимать значение, равное 2, при этом $i = 5$, что означает, что смешивание происходит, добавляя вещество в количестве 2 единицы 5 раз, или же – в количестве 4 единицы 3 раза. В связи с использованием для про-

изводства аглопорита глинистого сырья месторождения «Фанипольское», физико-химические свойства которого не позволяют добиться требуемой скорости спекания и качества аглопорита при существующих технологических параметрах, возникла необходимость в совершенствовании технологии получения аглопорита и снижении энергозатрат на его производство.

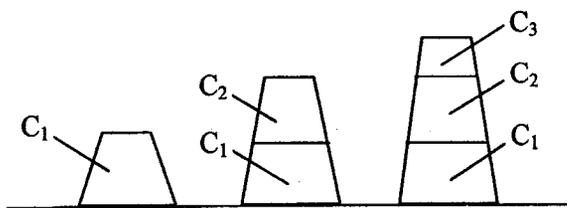
Опыт работы действующих предприятий, использующих в качестве технологического топлива низкосортные угли, а также результаты предварительных исследований по сжиганию углей с различным содержанием летучих в агломируемом слое, анализ технологических характеристик торфа позволяют рекомендовать проведение исследований и разработку технологических параметров производства пористых строительных материалов при замене угля МВТ. К МВТ при производстве легких заполнителей можно также отнести сапропели. Насчитывается большое количество озер, в которых процесс сапропелеобразования стал необратим. В этих условиях разработка сапропелей диктуется необходимостью сохранения водоемов. Поэтому, добыча носит промышленный характер, и применение сапропелей возможно не только в сельском хозяйстве, но и в производстве легких заполнителей. Предыдущими исследованиями [4] установлено, что при существующей системе загрузки шихты на агломерационную машину имеет место значительная неравномерность распределения шихты по крупности как по высоте слоя, так и по ширине паллет. Существенные отличия алюмосиликатного сырья и обусловленные ими отличия, проявляющиеся в процессе формирования аглопоритового спека, вызвали необходимость в поиске и исследовании новых путей совершенствования режима агломерации.

Использование имитационного моделирования при разработке критерия оптимизации обогащения сырьевой смеси

Для технологии усреднения сырьевых смесей, которые используются при производстве некоторых строительных материалов, важным моментом является классификация и определение основных свойств составляющих смесей, а также методы их использования. Качество сырьевых смесей, поступающих на технологическую переработку, далеко от стабильности.

Проведенные лабораторные и промышленные опыты при использовании фрезерного торфа ТБЗ «Усяж» (торф низинный $R = 25-30 \%$, $A^c = 18 \%$) и ТБЗ «Старобинский» участок «Слуцкий» (торф верховой $R = 15 \%$, $A^c = 10 \%$, вид моховый) показали, что для стабилизации готовой продукции по плотности и прочности необходимо проводить усреднение сырьевой смеси (процентное содержание и влажность компонентов, гранулометрический состав и др.).

В производственных условиях наиболее удачными способами усреднения являются слоевой, реализуемый в штабелях, и конвейерный – варианты продольного сдвига. На их основе можно создавать эффективные усреднительные системы. Однако оба эти способа требуют изучения с помощью моделей, которые отличаются наибольшей глубиной исследования процессов перемешивания. При этом основную информацию дает анализ связи спектров функции качества сырья до и после его усреднения или амплитудно-частотной характеристики способа, которые показывают, как меняются колебания функции качества на разных частотах. Функцией качества являются, как правило, важные характеристики торфа – зольность и теплотворная способность. Аргументом функции качества предлагается масса m . Модели с функцией качества $K(m)$ не только более просты, но и более информативны. Это подтверждается построенной моделью слоевого штабеля (рисунок 1), слой которого формируются в одном направлении,



C_1 – уголь; C_2 – торф; C_3 – суглинок
Рисунок 1. – Схема слоевого штабеля
для 3-х компонентов

ного ассортимента, в состав которого входят уголь, суглинки, крошкообразный торф, возврат от производства аглопорита.

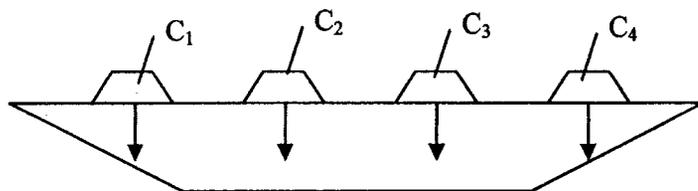
Анализ показал, что данная методика характерна для последовательного поэтапного применения этой технологии усреднения сырьевой смеси по схеме «слоевой штабель – разгрузка ячеек», что приводит к значительным энерго- и ресурсозатратам, т.к. применяются 2 схемы. Это характеризуется качеством сырья и его массой. На рисунке 3 представлена структура программного модуля усреднительного склада.

В настоящее время имитационное моделирование является одним из современных методов научного обеспечения исследований и прогнозирования последствий принимаемых решений. Оно в основном используется для совершенствования методов расчета технико-производственных показателей с учетом случайных факторов и состоит в многократном воспроизведении функционирования исследуемой системы на основе анализа математической модели. Результаты представляют собой выборки случайных величин, характеризующих функционирование исследуемой системы. Имитационное моделирование как статистический эксперимент отличается от обычного лабораторного эксперимента тем, что его полностью можно провести на ЭВМ. При его реализации со случайными исходами часто применяют метод статистических испытаний. Методом статистических испытаний решаются сложные задачи, но оправданным он может быть лишь в том случае, если процедура розыгрыша случайных исходов проще, чем другие методы расчета.

Чтобы описывать процесс с помощью аналитического аппарата, производится розыгрыш случайного явления с помощью специально организованной процедуры, включающей в себя случайность и дающей случайный результат. Множество таких исходов используют как статистический материал для получения математического ожидания и дисперсии случайных величин. Изучение физических процессов методом имитационного моделирования с помощью ЭВМ, при многократном проигрывании математических моделей, позволяет более точно определить влияние варибельности исходных данных на результаты расчетов, для чего нами были созданы расчетные программы. На первом этапе проводятся сбор и обработка статистических данных, и на их основе определяются наиболее значимые параметры процесса. На втором этапе разрабатывается имитационная модель (ИМ), дающая возможность провести комплексное исследование оптимальных параметров. По разработанным программам проводится

а отгрузка ведется с торца [3, 5]. Например, при приготовлении сырьевой смеси для получения пористого керамического кирпича (глина + торф + песок аглопоритовый).

На рисунке 2 представлен бункер, который имеет усреднительный механизм. Данную схему можно использовать при выпуске кирпича керамического, а также аглопорита различ-



C_1 – торф; C_2 – глина; C_3 – песок аглопоритовый;
 C_4 – отсев из материалов дробления горных пород
Рисунок 2. – Схема усреднения с одновременной
разгрузкой ячеек для 4-х компонентов сырьевой
смеси для производства кирпича керамического

имитационное моделирование состава смеси при различном распределении возмущающих факторов.

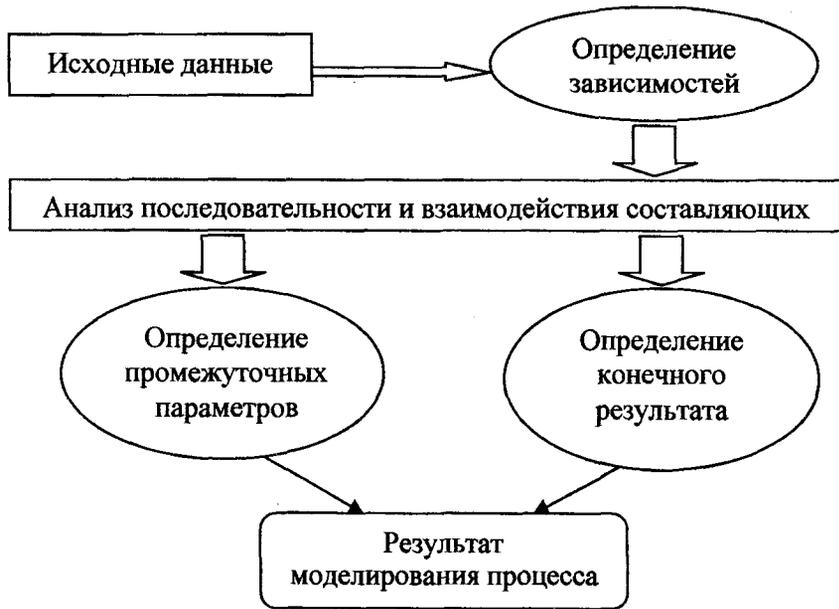


Рисунок 3. – Структура программного модуля усреднительного склада

Расчеты состава содержат формулы с детерминированными параметрами. Вместе с тем, многие характеристики составляющих сырьевой смеси имеют случайный характер. В результате неоднородности качественных характеристик составляющих смеси конечный результат вызывает неритмичность работы, потерю производительности и повышение энергозатрат оборудования. Поэтому возникает необходимость совершенствования методов расчета смеси с учетом случайного характера величин, влияющих на конечный результат. Эта задача с успехом решается применением имитационного моделирования. Для реализации модели процесса усреднения на складах целесообразным представляется метод имитационного моделирования.

Модель склада можно представить в виде информационного преобразователя – программного комплекса, который может быть реализован на ЭВМ. Входными параметрами являются задаваемые векторы входных параметров, на основе которых программно вычисляются векторы выходных параметров (рисунок 4). Если полученный результат удовлетворяет плановым показателям, то решение считается найденным и передается в систему, в другом случае моделирование повторяется с измененными входными параметрами [2, 3, 6].

По отношению к объекту управления – потоку, проходящему через усреднительный склад – на основе данной модели могут быть решены как прямая, так и обратная задачи.

При решении прямой задачи искомым является вектор выходных параметров:

$$B_1(A, C). \quad (6)$$

При решении обратной задачи вектор входных параметров определяется из соотношения:

$$A_1(B, C). \quad (7)$$

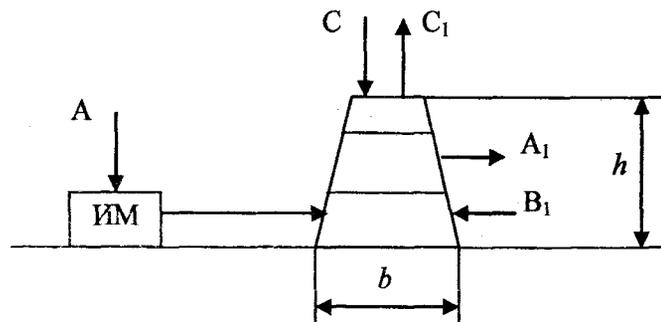


Рисунок 4. – Модель усреднительного склада

Задача оптимизации параметров усреднительного склада, при заданных векторах X и Y , описывается соотношением:

$$C_1 = F(A, B). \quad (8)$$

Постановка задачи в виде (6), (7) дает возможность использовать модель в процессе управления потоком, а постановка в форме (8) позволяет решить задачу оптимизации параметров склада.

Вектор параметров на входе системы – усреднительного склада – имеет вид:

$$A = \{\gamma, \alpha_i, \beta_i, \lambda_i, \sigma_{\alpha i}\}, \quad (9)$$

где γ – количество смеси качества, завезенного на усреднительный склад за моделируемый период;

α_i – содержание компонента 1 в смеси, %;

β_i, λ_i – среднее содержание компонентов 2-4 в смеси, $i = (1, \dots, N)$;

$\sigma_{\alpha i}$ – средние квадратические отклонения общего содержания компонентов на входе усреднительного склада за моделируемый период.

Вектор технологических параметров проектируемой системы – усреднительного склада – имеет вид:

$$C = \{L, b, h, n, V\}, \quad (10)$$

где L, b, h – длина, ширина, высота склада, соответственно;

n – количество слоев в штабеле;

V – объем смеси.

Вектор параметров на выходе проектируемой системы – усреднительного склада – имеет вид:

$$B_1 = \{\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \lambda_i, \sigma_{\alpha}, \sigma_{\beta}, \sigma_{\gamma}, \sigma_{\lambda}, \sigma_n^2\}, \quad (11)$$

где $\alpha_i, \beta_i, \gamma_i, \lambda_i$ – общее содержание всех составляющих смеси, отгружаемой со склада за моделируемый интервал времени $i = (1, \dots, m)$;

m – количество отгруженных порций, %;

$\sigma_{\alpha}, \sigma_{\beta}, \sigma_{\gamma}, \sigma_{\lambda}$ – среднеквадратические отклонения общего содержания компонентов в смеси, %;

σ_n^2 – дисперсия качества смеси.

Для оценки корректности моделей, планирования и проведения эксперимента по определению рациональных параметров карьерных усреднительных складов постановка задачи управления потоком может выглядеть следующим образом: имеются данные об объемах и качестве формируемого штабеля. Требуется определить общее содержание сырья в штабеле, его ситовые характеристики и дисперсию качества в отгружаемых порциях за период моделирования.

В качестве управляемых параметров при планировании эксперимента можно принять:

- длину усреднительного штабеля;
- режим поступления сырья в штабель;
- направления перемещения фронта разгрузки сырья.

Эффективность усреднения на карьерных складах может определяться общей дисперсией качества сырьевой смеси в отгружаемых со склада порциях смеси или критерием оптимальности при постановке эксперимента, который имеет вид:

$$\sigma^2 \rightarrow \min. \quad (12)$$

Выводы

Результаты исследования могут использоваться для производства пористых материалов на основе аглопорита и керамических изделий с использованием МВТ и ВТЭР.

Был проведен анализ способов усреднения материалов, который позволил выбрать необходимые материалы (торф фрезерный, дробленый брикет), и определить их основные физико-технические свойства (тип торфа, зольность, фракционный состав, влажность).

Установлено, что для стабилизации сырьевой смеси по плотности и прочности необходимо проводить ее усреднение по влажности, гранулометрическому составу, теплотворной способности, которое позволит получить качественный готовый продукт по прочности, плотности и другим показателям. В качестве добавок можно использовать отходы топливных брикетов (лом), по энергетическим свойствам не уступающим закупаемым дорогостоящим добавкам (уголь), а по стоимости – на порядок ниже древесных опилок.

Список цитированных источников

1. Березовский, Н.И. Обезвоживание полезных ископаемых: идеи и практика энергосбережения / Н.И. Березовский, Б.А. Богатов. – Минск: Технопринт, 2000. – 170 с.
2. Авдохин, Б.М. Основы обогащения полезных ископаемых: в 2 т. / Б.М. Авдохин. – М.: Горная книга, 2008. – Том 1. – 417 с.
3. Авдохин, Б.М. Основы обогащения полезных ископаемых: в 2 т. / Б.М. Авдохин. – М.: Горная книга, 2008. – Том 2. – 310 с.
4. Разработать технологические параметры производства аглопорита, направленные на интенсификацию процесса агломерации и экономии энергозатрат: отчет НИИСМИ. – Минск, 1980. – 160 с. – № ГР 81071792.
5. Васильев, С.Б. Исследование способов усреднения качества угля на добывающем предприятии: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.22 / С.Б. Васильев; ФГОУВПО «Сибирский федеральный университет». – Иркутск, 2009. – 32 с.
6. Стаценко, Л.Г. Обоснование рациональных параметров внутрикарьерных складов при управлении рудопотоком асбестового комбината: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.21 / Л.Г. Стаценко; Казахский Национальный Технический Университет им. К.И. Сатпаева. – Алматы, 2008. – 31 с.

Berezovsky N.I., Lesun B.V.

Homogenization of a raw mixture by domestic fuels beneficiation

The article studies a possibility of using of milled peat and fuel briquettes as components of raw mixtures for production of open-textured constructional materials instead of different types of coal. The efficiency of the process of homogenization of components of a raw mixture in a warehouse can be determined by a total variance of a raw mixture's quality in portions of the mixture delivered from a warehouse, using the optimality criterion.

Поступила в редакцию 19.05.2016 г.