

7. Грудев А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев.; изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 280 с.
8. Бронштейн И. Н. Справочник по математике (для инженеров и учащихся вузов) / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
9. Корн Г. Справочник по математике (Для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 831 с.
10. Яблочкин А. Л. Общая теория статистики / А. Л. Яблочкин. – М.: Статистика, 1976. – 344 с.

Рукопись поступила в редакцию 27.03.13

УДК 622.7: 622.333

В.Г. САМОЙЛИК, канд. техн. наук, доц.,

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Разработаны математические модели различных вариантов схем гравитационного обогащения углей крупностью 1-100 мм, которые позволяют получать максимальный выход твердой фазы водоугольного топлива при заданном уровне зольности.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В последнее время в связи с ростом цены на газ во многих странах с особой остротой встал вопрос о полной или частичной замене газообразного топлива на альтернативные источники тепла, в частности водоугольное топливо [1-4].

Основными параметрами, определяющими эффективность использования водоугольного топлива (ВУТ) в энергетике, является его теплотворная способность и эффективная вязкость. Как было установлено ранее [5], все эти параметры ВУТ неразрывно связаны с зольностью его твердой фазы. Снижение зольности повышает калорийность топлива. Кроме того, при снижении содержания минеральных примесей в твердой фазе ВУТ уменьшается его эффективная вязкость. Это даёт возможность увеличивать концентрацию твердого в топливе при заданных значениях его текучести, тем самым повышая теплотворную способность топлива.

Однако уменьшение зольности угля связано с ростом затрат на его обогащение. Поэтому определение эффективного уровня обеззоливания твердой фазы ВУТ предусматривает проведение комплексной оценки технико-экономических показателей процессов получения, транспортирования и сжигания водоугольного топлива с различным уровнем зольности при заданных значениях его реологических параметров. В качестве заданных параметров для ВУТ обычно принимается эффективная вязкость $\eta = 1$ Па·с при градиенте скорости сдвига 9с^{-1} и седиментационная устойчивость в течение 30 суток [6].

Для оценки технико-экономических показателей процесса получения твердой фазы ВУТ с различным уровнем зольности необходимо разработать различные варианты схем обогащения угля, определить зависимости между выходом и зольностью угля для каждого варианта. Поэтому моделирование процессов приготовления твердой фазы ВУТ является актуальной задачей с научной и практической точек зрения.

Анализ исследований и публикаций. Технологические решения при создании водоугольного топлива различными производителями в основном связаны с необходимостью получения твердой фазы с заданным максимальным значением крупности частиц и с определенным гранулометрическим составом [7]. При этом обоснованию принятых процессов обогащения, анализу их влияния на текучесть и агрегативную устойчивость ВУТ внимание не уделялось.

Выбор схемы обогащения угля, возможная глубина обеззоливания во многом определяются свойствами исходного угля и влиянием принятых методов обогащения на реологические параметры полученного водоугольного топлива. Высокая исходная зольность углей предопределяет многооперационность процесса получения низкозольной твердой фазы. Наличие в углях большого количества сростков минералов с органической частью затрудняет применение гравитационных методов обогащения, требует использования в качестве подготовительных операций дробления и измельчения для полного раскрытия сростков с последующим выделением органической массы флотационным методом.

Гидрофобизация поверхности твердой фазы аполярными реагентами в процессе флотации отрицательно влияет на реологические параметры водоугольного топлива [8]. Поэтому при приготовлении твердой фазы ВУТ необходимо особое внимание уделять характеристикам исходных углей (использовать угли с небольшим содержанием сростков в классах 1-100 мм) и максимально снижать долю углей, обогащаемых флотацией (за счет использования гравитационных методов обогащения).

Постановка задачи. В связи с тем, что в процессе приготовления твердой фазы водоугольного топлива с различным уровнем зольности основное внимание необходимо уделять гравитационным методам, то основной задачей данной работы является разработка моделей технологических схем гравитационного обогащения углей крупностью 1-100 мм.

Изложение материала и результаты. Для выполнения поставленной задачи были проведены исследования угля марки Г, характеризующегося легкой категорией обогатимости классов крупностью 1-100 мм.

Расчет ожидаемых показателей гравитационного обогащения осуществлялся по двум машинным классам: 13-100 и 1-13 мм. Были рассмотрены четыре возможных варианта сочетания гравитационных методов обогащения:

- А - обогащение в тяжелосредних сепараторах + отсадка;
- Б - отсадка + отсадка;
- В - обогащение в тяжелосредних сепараторах + обогащение в тяжелосредних циклонах;
- Г - отсадка + обогащение в тяжелосредних циклонах.

Для построения математических моделей технологических операций были приняты данные практических балансов. В качестве независимой переменной использовалась элементарная зольность разделения λ .

На рис. 1 и 2 представлены зависимости выхода и зольности концентрата от λ для каждой технологической операции при обогащении класса 13-100 мм и класса 1-13 мм.

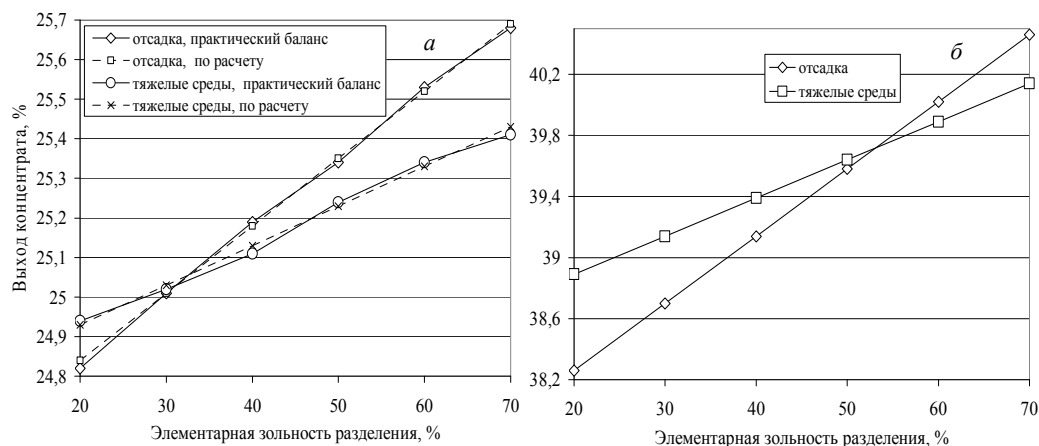


Рис. 1. Зависимость выхода концентрата от элементарной зольности разделения для классов, мм: а - 13-100; б - 1-13

Анализ кривых показал, что для выражения связи между выходом концентрата и элементарной зольностью разделения можно использовать полином вида

$$y = a_0 + a_1x. \quad (1)$$

Зависимость зольности концентрата от λ носит более сложный характер. Для её описания необходимо использовать полином второй степени

$$y = a_0 + a_1x + a_2x^2. \quad (2)$$

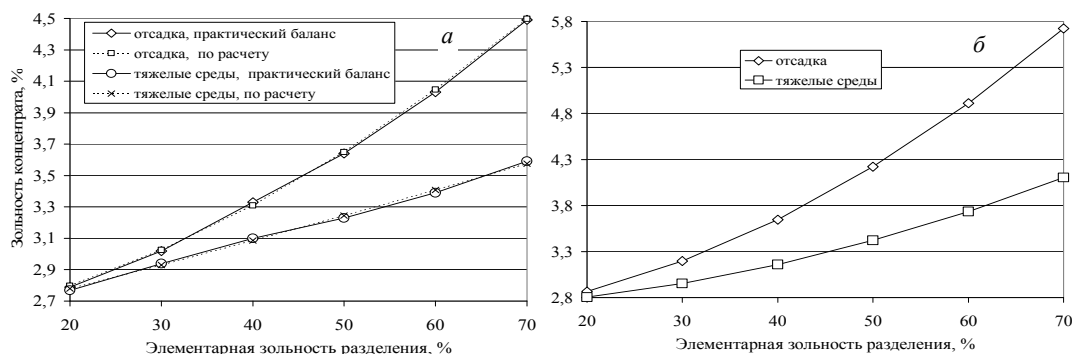


Рис. 2. Зольность концентрата в зависимости от элементарной зольности разделения для классов, мм: а – 13-100; б – 1-13

Расчет и оценка точности полученных математических моделей осуществлялась в соответствии с существующей методикой [9]. Судя по величине корреляционных отношений ($r = 0,99-0,998$) все найденные зависимости дают достаточно точное описание технологических операций. Доверительный интервал для средних значений зольности концентрата не превышает $\pm 0,045\%$, для выхода концентрата – изменяется в пределах $\pm 0,024-0,042\%$.

Математические модели технологических операций будут иметь следующий вид:

для обогащения угля крупностью 13-100 мм в отсадочной машине

$$\begin{aligned} \gamma_{\kappa 1} &= 24,50 + 0,017 \cdot \lambda; \\ A_{\kappa 1}^d &= 2,51 + 88 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda + 2,8 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^2; \end{aligned} \quad (3)$$

для обогащения угля крупностью 13-100 мм в тяжелосредном сепараторе:

$$\begin{aligned} \gamma_{\kappa 2} &= 24,73 + 0,010 \cdot \lambda; \\ A_{\kappa 2}^d &= 2,49 + 141 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda + 0,2 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^2; \end{aligned} \quad (4)$$

для обогащения угля крупностью 1-13 мм в отсадочной машине:

$$\begin{aligned} \gamma_{\kappa 3} &= 37,78 + 0,044 \cdot \lambda; \\ A_{\kappa 3}^d &= 2,56 + 32 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda + 6 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^2; \end{aligned} \quad (5)$$

для обогащения угля крупностью 1-13 мм в тяжелосредном циклоне:

$$\begin{aligned} \gamma_{\kappa 4} &= 38,39 + 0,025 \cdot \lambda; \\ A_{\kappa 4}^d &= 2,66 + 17 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda + 2,7 \cdot 10^{-4} \cdot \lambda^2. \end{aligned} \quad (6)$$

На основании полученных моделей для отдельных операций можно описать все четыре рассматриваемые технологические схемы. Математическая модель $i+j$ -той схемы выразится системой уравнений:

$$\begin{aligned} \gamma_{\kappa(i+j)} &= \gamma_{\kappa i} + \gamma_{\kappa j}; \\ A_{\kappa(i+j)}^d &= (\gamma_{\kappa i} \cdot A_{\kappa i}^d + \gamma_{\kappa j} \cdot A_{\kappa j}^d) / \gamma_{\kappa(i+j)}. \end{aligned} \quad (7)$$

Подставляя выражения (3–6) в уравнения (7) и проводя соответствующие преобразования, получаем математические модели вида

$$\begin{aligned} \gamma &= a + b \cdot \lambda; \\ A^d &= (c + d \cdot \lambda + e \cdot \lambda^2 + f \cdot \lambda^3) / \gamma. \end{aligned} \quad (8)$$

Значения коэффициентов для каждого варианта приведены в табл. 1.

Таблица 1

Значения коэффициентов математических моделей вариантов гравитационного обогащения угля

Вариант	a	b*10 ⁻²	c	d*10 ⁻¹	e*10 ⁻²	f*10 ⁻⁵
А	62,51	5,4	158,30	6,1	2,32	3,0
Б	62,28	6,1	158,22	4,9	2,99	3,0
В	63,12	3,5	163,70	5,1	1,10	0,7
Г	62,89	4,2	163,62	3,9	1,76	1,0

На основании этих моделей можно рассчитать показатели разделения по каждой технологической схеме. Полученные результаты будут обеспечивать максимальный выход гравитационного концентрата при заданной его зольности.

На рис. 3 приведена зависимость $\gamma_{max} = f(A_{\kappa}^d)$ для всех вариантов схем гравитационного обогащения.

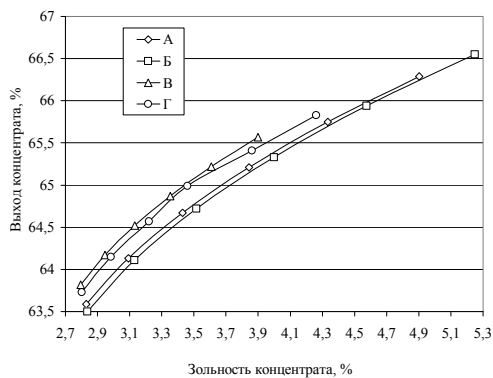


Рис. 3. Зависимость выхода концентрата от его зольности при разных вариантах схем гравитационного обогащения

Как следует из графиков самый большой выход концентрата при одинаковой его зольности получается по варианту В. Так, при $A^d_k = 3,5$ % значения выходов были следующими: $\gamma_k^A = 64,77$ %; $\gamma_k^B = 64,70$ %; $\gamma_k^C = 65,09$ %, $\gamma_k^D = 65,02$ %.

Подставляя значения элементарной зольности разделения, соответствующие заданной зольности концентрата, в выражения (3–7), можно вычислить также показатели продуктов обогащения по отдельным операциям.

Выводы и направление дальнейших исследований. Таким образом, полученные зависимости дают полное описание исследуемых вариантов схем гравитационного обогащения. Использование выражений (8) позволит оценить приведенные затраты на приготовление 1 т твердой фазы водоугольного топлива с различным уровнем зольности по каждой технологической схеме и определить наиболее эффективный с экономической точки зрения вариант.

Список литературы

2. Макаров А.С. и др. Водоугольное топливо на основе углей различной стадии метаморфизма. / А. С. Макаров, Д. П. Савицкий, А. И. Егурнов // Современная наука. – 2011. – № 1. – С. 16-20.
2. Макаров А.С. и др. Получение высококонцентрированного угольного топлива на основе отходов углеобогащения для использования в энергетическом комплексе Украины. / А.С. Макаров, О.М. Кобитович, А.И. Егурнов, С.Д. Борук, Д.П. Савицкий // Наук.-техн. Зб. «Збагачення корисних копалин». – 2008. – вип. 33(74). – с. 138-148.
3. Дроздник И.Д. и др. Рынок угля и перспективные направления его использования: информационно-аналитический обзор. / И.Д. Дроздник, А.В. Орлов, В.В. Черкасов / – Харьков, 2004. – 188 с.
4. Мосин С.И. и др. Российский опыт внедрения промышленной технологии производства водоугольного топлива. / С. И. Мосин, А. Г. Морозов, Г. Н. Делягин // Новости теплоснабжения. – 2008. – № 9. – С. 22-28.
5. Самойлик В.Г. и др. Исследование влияния содержания минеральных примесей на реологические свойства водоугольных суспензий / В. Г. Самойлик, А. Т. Елишевич, Н. Г. Корженевская, С. Л. Хилько // Химия твердого топлива. – 1988. - № 5. – С. 130-133.
6. Урьев Н.Б. Высококонцентрированные дисперсные системы. – М: Химия, – 1980 - 320 с.
7. Ходаков Г.С. Водоугольные суспензии в энергетике// Теплоэнергетика. – 2007. – № 2. – С. 104-119.
8. Самойлик В.Г. Исследование воздействия аполлярных реагентов на текучесть водоугольных суспензий / В.Г. Самойлик, Е.И. Назимко // Наук.-техн. Зб. «Збагачення корисних копалин». – 2012. – вип. 50(91). – с. 147-153.
9. Папушин Ю.Л. та інші. Дослідження корисних копалин на збагачуваність. / Ю. Л. Папушин, В. О. Смирнов, В. С. Білецький / Східний видавничий дім. – 2006. – 246 с.

Рукопись поступила в редакцию 11.04.13

УДК 621.926:34.16

Н.В. МОРКУН, канд. техн. наук, доц., ГВУЗ «Криворожский национальный университет»

СИНТЕЗ ЛИНЕЙНОГО ДИНАМИЧЕСКОГО БЛОКА СТРУКТУР ВИНЕРА-ГАММЕРШТЕЙНА НА ОСНОВЕ ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ МОДЕЛИ ЛАГЕРРА

Изложены основные принципы представления линейного блока структур Винера-Гаммерштейна в виде пространственно-временной модели Лагерра

Ключевые слова: синтез, структуры Винера-Гаммерштейна, модель Лагерра

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В обогащении полезных ископаемых в настоящее время особое внимание уделяется оптимизации технологических процессов. Такой подход требует наличия качественной информации о процессе, формирования соответствующей базы данных и их последующей обработки для построения адекватных и эффективных математических моделей процессов и систем. В промышленных условиях часто применяется феноменологический подход, основанный на анализе данных активных и пассивных экспериментов [1-6]. Это позволяет определить зависимости между качественными показателями моделируемого процесса и условиями в которых он протекает. Этот эвристический подход, основанный на основных закономерностях моделируемых явлений, позволяет опреде-