

*В.Ф. Панова, С.А. Панов*

Сибирский государственный индустриальный университет

## ОТХОДЫ УГЛЕБОГАЩЕНИЯ КАК СЫРЬЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Значительный рост объемов обогащения угля сопровождается образованием большого количества отходов – около 10 млн. т в год. Отходы углеобогащения (ОУО) и угледобычи – это шахтные породы, «хвосты» обогатительных фабрик. Они, как правило, содержат некоторое количество угля и глинистого компонента. Все отходы по содержанию углерода можно разделить на две группы. Углеотходы с содержанием углерода более 24 % рационально дополнительно обогащать или применять как топливо. Вторая группа отходов содержит углерода до 24 % и может использоваться в строительстве, металлургии, сельском хозяйстве (рис. 1) [1 – 3].

Обогащение угля осуществляется на обогатительных фабриках (ЦОФ) двумя методами: флотацией и на отсадочных машинах. Флотационные отходы представляют собой дисперсную фракцию. Установлено, что во флотоотходах содержание углерода более высокое, чем в отходах отсадочных машин, и достигает 20 % [2].

Отсадка представляет собой расслоение массы твердых частиц под воздействием восходящего и нисходящего потоков. На отсадоч-

ные машины поступает порода фракцией от 0,5 до 50 мм. Отсадка – непрерывный процесс, состоящий из трех стадий: 1 – загрузка исходного угля; 2 – расслоение угля и породы, при котором последняя оседает на решето машины; 3 – образование порога и разгрузка породы, скапливающейся на решете. Выход «пустых» пород из-под отсадочных машин достигает 70 %. Отвалы занимают полезные площади, влияют на экологию [4].

Вещественный состав ОУО определяется по методу Рутковского, который позволяет выделить содержание глинистых веществ благодаря их набухаемости в воде. Вещественный состав отходов обогащения приведен в табл. 1.

Для производства стеновой керамики необходимо корректировать фракционный состав. Результаты показывают, что количество пылеватых фракций в ОУО составляет около 60 %, песчаных частиц – 37,73 %, а количество глинистых колеблется от 8 до 29 % в зависимости от ЦОФ. В шламистой части количество глинистых фракций может достигать до 10 %. Установлено, что ОУО могут стать керамическим сырьем с содержанием глинистого вещества от 15 % [1].

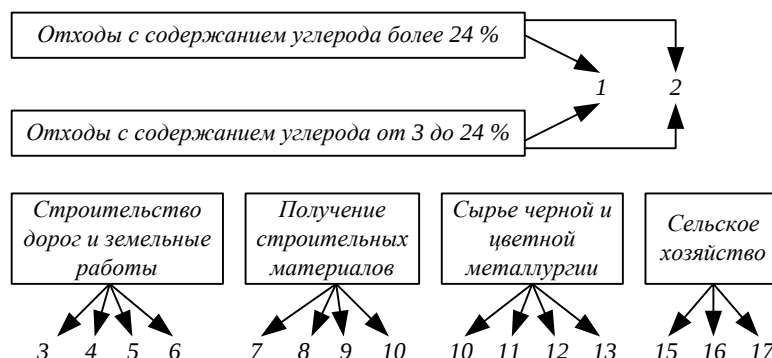


Рис. 1. Использование отходов углеобогащения в различных отраслях промышленного производства:

1 – энергетическое использование (сжигание, газификация); 2 – механическое обогащение; 3 – щебеночный материал; 4 – материал (в смеси с вяжущим) для верхних и нижних дорожных оснований; 5 – заменитель грунта при сооружении дамб, фундаментов; 6 – закладка подземных выработок, выравнивание рельефа; 7 – керамические материалы; 8 – заполнитель для бетона; 9 – вяжущие; 10 – камнелитые изделия; 11 – концентраты редких рассеянных металлов; 12 – кремнеалюминиевые сплавы и ферросплавы; 13 – материалы на основе карбида кремния; 14 – глинозем и другие кислородные соединения алюминия; 15 – нейтрализация кислых почв; 16 – носители микроэлементов и серы в удобрениях; 17 – улучшение структуры почв

**Вещественный состав отходов обогащения**

| Наименование породы<br>обогажительных фабрик | Содержание, %, фракций   |                          |                               |
|----------------------------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------------|
|                                              | набухающих,<br><0,005 мм | песчаных,<br>1 – 0,05 мм | пылеватых,<br>0,05 – 0,005 мм |
| Кузнецкая                                    | 24,97                    | 70                       | 5,03                          |
| ЗСМК                                         | 7,93                     | 48                       | 44,07                         |
| Абашевская                                   | 29,00                    | 49                       | 22,00                         |
| Суглинок<br>Байдаевского м/р                 | 15,00                    | 40                       | 45,00                         |
| «Хвосты» Абагурской<br>аглофабрики:          |                          |                          |                               |
| общая проба                                  | 2,27                     | 60                       | 37,73                         |
| шламовая часть                               | 8,00                     | 55                       | 37,00                         |

Химический состав отходов определяли по методике ГОСТ 5382 – 91 «Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа» (см. таблицу 2). Наличие оксидов в отходах ЦОФ (15,75 – 19,84 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и 52,53 – 58,85 %  $\text{SiO}_2$ ) говорит о том, что состав отходов близок к традиционному глинистому сырью, что позволяет использовать ОУО в качестве сырья для производства керамических материалов. Остаточный углерод отрицательно влияет на свойства керамики (обжигаемых материалов). Практика показала, что для керамического сырья содержание углерода должно быть не более 6 – 7 %. В силикатных изделиях количество углерода ограничено до нуля, иначе снижается прочность, морозостойкость и долговечность.

Установлено, что ОУО относятся к мало закарбонизированному сырью (2,10 – 2,88 %  $\text{CaO}$ ). Это снижает возможность образования «дутиков» в готовых изделиях. В сырье присутствуют оксиды калия и натрия (2,12 %), которые характеризуют плавкость сырья, однако их количество мало.

По минералогическому составу изучаемые отходы углеобогащения представляют собой смесь метаморфизированных пород полиминерального состава. Результаты исследования показали, что в их состав входят: глинистые

минералы, углистое вещество, кварц, полевые шпаты, слюды, гематит, магнетит и другие вещества. Глинистые минералы представлены в основном гидрослюдами и каолинитом (рис. 2) [5 – 7].

Потеря по массе составляет 13 %, для отдельных проб – от 20 до 29 % (ЦОФ «Кузнецкая») и до 37,3 % (ЦОФ ОАО «ЕВРАЗ ЗСМК»).

Для исследования содержания остаточного углерода породы отсадочных машин были разделены на фракции 25, 13, 10, 6 и 3 мм. Каждая фракция изучалась отдельно на содержание глинистых веществ и остаточного углерода (рис. 3). Изучение содержания остаточного углерода в отдельных фракциях показало следующее: наименьшее содержание углерода обозначено у породы фракции 25 мм и более, потери по массе для них составляют 12 – 12,8 %.

Были изучены процессы, происходящие при предварительной термической обработке. Термогравиметрические исследования, а также пофракционный химический анализ ОУО показывают, что потери при прокаливании (ППП) и содержание углерода (С) для различных фракций различны.

**Химический состав пород ЦОФ г. Новокузнецка**

| Углеотходы, фракция<br>>13 мм, ЦОФ | Содержание, %, на сухое вещество |              |              |                         |              |                         |               |                                            |
|------------------------------------|----------------------------------|--------------|--------------|-------------------------|--------------|-------------------------|---------------|--------------------------------------------|
|                                    | $\text{SiO}_2$                   | $\text{CaO}$ | $\text{MgO}$ | $\text{Al}_2\text{O}_3$ | $\text{FeO}$ | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{SO}_3$ | $\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$ |
| Кузнецкая                          | 52,53                            | 2,88         | 1,52         | 15,73                   | 3,06         | 0,61                    | –             | 2,12                                       |
| Абашевская                         | 67,05                            | 0,95         | 0,52         | 22,23                   | 4,63         |                         | 0,42          | 3,65                                       |
| ЗСМК                               | 58,85                            | 2,10         | 1,01         | 19,84                   | 13,88        |                         | 0,23          | 3,42                                       |

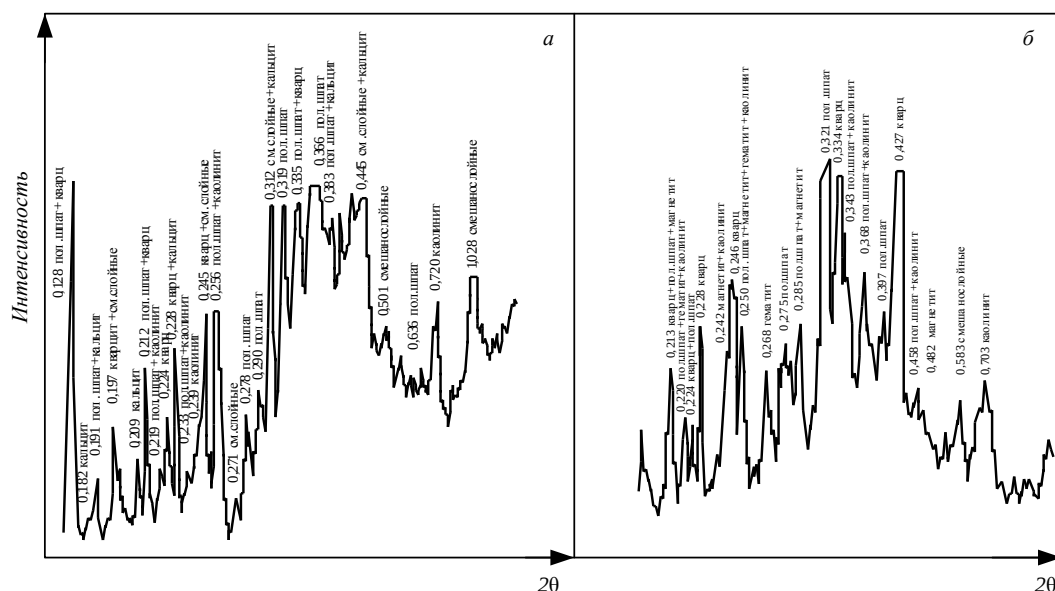


Рис. 2. Дифрактограммы необожженных (а) и обожженных (б) ОУО ЦОФ «Кузнецкая»

Ниже представлен состав углеотходов различных фракций:

| Фракция, мм | Зольность, % | С, %  | ППП, % |
|-------------|--------------|-------|--------|
| 3           | 79,7         | 14,57 | 23,94  |
| 6           | 87,8         | 7,21  | 15,22  |
| 13          | 89,0         | 6,29  | 13,48  |
| 25          | 88,9         | 6,54  | 14,15  |

В результате исследований было определено, что наименьшее количество остаточного углерода содержится в отходах фракций менее 0,6 мм после обжига их в лабораторной печи в течение 1 ч при температуре 500 °С слоем 5 – 7 мм. Потери при прокаливании в отходах

фракцией более 13 мм достигают 19,66 %, а содержание углерода до 11,4 %. Термообработанная порода содержит минимальное количество остаточного углерода – 0,88 %. Доказано, что под действием температуры проходит активизация глинистой составляющей с образованием активных оксидов  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ , т.е. термоактивизированные ОУО могут стать сырьем для производства клинкера и цемента [8].

Для снижения количества углерода в сырье предложено подвергать его предварительной термической обработке. Отходы отсадочных машин фракций 25 мм измельчались и рассеивались на фракции 5 мм и менее 0,6 мм, а затем обжигались при различных температурах  $t$ .

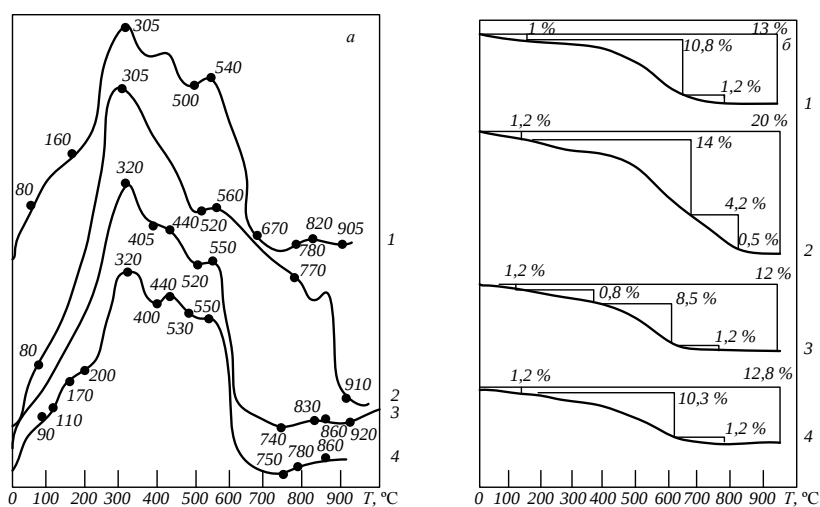


Рис. 3. Дериватограммы отходов углеобогащения (кривые ДТА (а) и ТГ (б))  
1 – порода ЦОФ «Кузнецкая», фракция 6 мм; 2 – фракция 3 мм; 3 – фракция 10 мм; 4 – фракция 25 мм

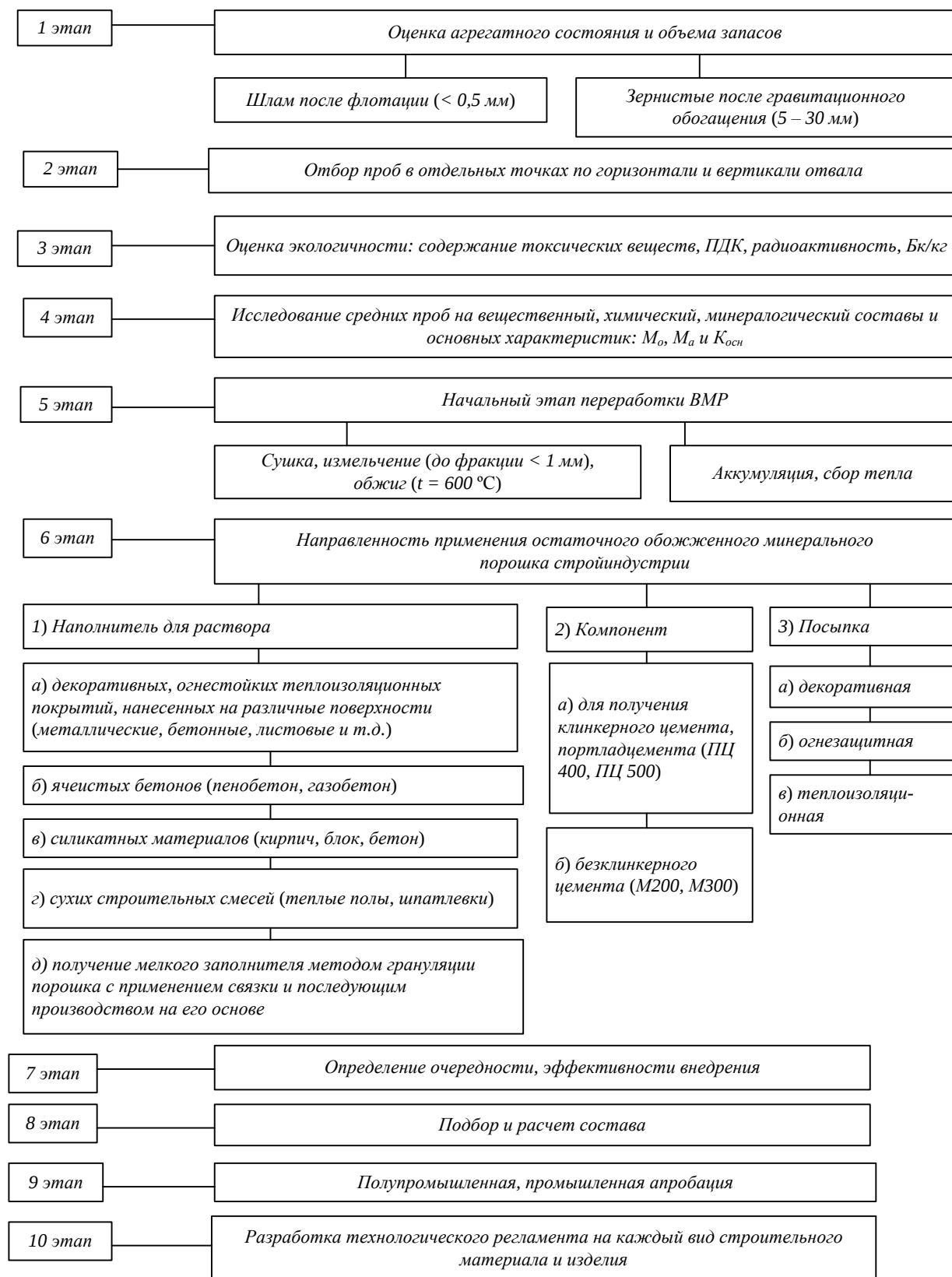


Рис. 4. Модель переработки и применения отходов углеобогащения как сырья для стройиндустрии

Содержание углерода в термически обработанной породе приведено ниже:

| Порода                   | Фракция, мм | t, °C | ППП, % | C, % |
|--------------------------|-------------|-------|--------|------|
| В естественном состоянии | >13         | 900   | 19,66  | 11,4 |
| Обожженная               | 5           | 500   | 8,32   | 3,34 |
| Обожженная               | 5           | 600   | 5,92   | 1,86 |
| Обожженная               | <0,6        | 500   | 4,55   | 0,88 |

Разработана модель переработки и использования ОУО как сырья для стройиндустрии (рис. 4). Установлено, что на первом этапе необходима оценка хвостов на экологичность, т.е. содержание радиоактивных и токсичных веществ. Необходимы исследования проб на вещественный, химический и минералогический составы. Этапы переработки вторичных материальных ресурсов следующие: сушка, измельчение, обжиг, при котором проводится аккумуляция и сбор тепла. Далее выделяются направления по применению остаточного после обжига минерального порошка как сырья для стройиндустрии. Определяется очередность, эффективности внедрения ОУО. Проводится лабораторная, полупромышленная и промышленная апробации. На заключительном этапе разрабатывается технологический регламент на каждый вид строительного материала.

**Выводы.** Результаты исследования показали, что отходы углеобогащения с содержанием углерода более 24 % рационально обогащать или применять как топливо; с содержанием до 24 % можно использовать в строительстве, черной и цветной металлургии, сельском хозяйстве. ОУО относятся к малозакарбонизированному сырью (2,1 – 2,88 % CaO). Это снижает возможность образования «дутиков» в готовых обжиговых изделиях. Установлено, что наибольшее количество глинистых веществ находится во фракциях более 25 мм, их количество меняется от 15 до 29 %. Определено, что остаточный углерод преобладает в мелких

фракциях породы. Для ликвидации углистых частиц их необходимо подвергнуть измельчению и термической обработке при 500 – 600 °C. Одновременно с удалением углерода идет активизация глинистой составляющей, поэтому ОУО можно применять как для керамических изделий, так и в производстве клинкера и цемента. Разработана модель переработки и применения ОУО как сырья для стройиндустрии, которая показывает последовательность работы с вторичными материальными ресурсами.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. П а н о в а В.Ф. Техногенные продукты как сырье для стройиндустрии. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2009. – 287 с.
2. Я к у т и н В.П., А г р о с к и н А.А. Использование отходов обогащения углей. – М.: Недра, 1978. – 167 с.
3. Ш п и р т М.Я., Р у б а н В.А., И т к и н Ю.В. Рациональное использование отходов добычи и обогащения углей. – М.: Недра, 1990. – 224 с.
4. Б о ж е н о в П.И. Комплексное использование минерального сырья и экология: Учебное пособие. – М.: изд. АСБ, 1994. – 264 с.
5. Б р и н д л и Г.Ф. – В кн.: Рентгеновские методы изучения и структура глинистых минералов. – М.: Мир, 1965. С. 45 – 63.
6. Г о р ш к о в В.С. Термография строительных материалов. – М.: Стройиздат, 1968. – 584 с.
7. Г у р е в и ч М.Я. Руководство по рентгеновскому исследованию минералов. – М.: Мир, 1965. – 458 с.
8. В о л ж е н с к и й А.В. Минеральные вяжущие вещества: Учебник для вузов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1986. – 464 с.

© 2015 г. В.Ф. Панова, С.А. Панов  
Поступила 20 марта 2015 г.