

УДК 620.9.008

С. Н. Березовский, канд. техн. наук, доц., Н. И. Березовский, д-р техн. наук, проф.

КОМПЛЕКСНОЕ ОСВОЕНИЕ, ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СЫРЬЯ И ВСКРЫШНЫХ ПОРОД ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ

В статье рассматриваются рациональные подходы по извлечению и переработке нерудных строительных материалов, обеспечивающих энергосбережение. К рациональным подходам можно отнести: полное и комплексное извлечение из месторождения всех полезных компонентов, экономное и безотходное использование сырья, удаление влаги и технологическое применение отходов производства, использование замкнутых циклов производства, где эффективность добычи, переработки, транспортирования и реализации товарной продукции гравийно-песчаной смеси (ГПС) может значительно увеличиться.

В современных условиях увеличивается интерес к комплексному освоению и использованию природных ресурсов и техногенных образований. Положительным примером служат карьеры «Ольшанка» (Республика Беларусь), «Карьер 2000» (Россия), где добывается строительный песок, а суглинок применяется в качестве сырья на кирпичных заводах [1, 2]. Постановка и решение задач комплексного использования местного сырья особенно актуальны при разработке и внедрении ресурсо- и энергосберегающих технологий добычи и переработки сырья гравийно-песчаных месторождений [3, 4].

Комплексное использование подразумевает не только использование всех компонентов сырья (полноту использования), но и реализацию всех вариантов (возможностей) использования. Зачастую вариантность использования местного сырья невысокая из-за низкого его качества и небольших запасов.

Комплексность использования сырья можно охарактеризовать коэффициентом использования [5, 6]

$$K_{исп} = N_p / N_T,$$

где N_p – число реализуемых вариантов использования сырья; N_T – число теоретически возможных вариантов использования.

Анализ состояния комплексного использования местного сырья в производстве строительных материалов показал относительно низкий уровень его применения.

Разработка и применение ресурсо- и энергосберегающих технологических процессов при добыче и переработке гравийно-песчаных пород возможны на базе анализа комплексного использования сырья, а именно:

- наиболее полного, экономически оправданного и многовариантного использования всех компонентов сырья;
- вовлечения в производство местных сырьевых ресурсов для полной или частичной замены привозного сырья;
- расширения интервала пригодности сырья, например, изменением стандарта;
- использования многоуровневых технологических процессов для повышения безотходности;
- снижения энергозатрат на производство (температура обжига, длительность технологического процесса);
- использования добавок для расширения интервала функциональных свойств;
- оптимизации свойств и расширения номенклатуры выпускаемой продукции.

Большое количество отходов и потерь на горно-перерабатывающих предприятиях предопределяет необходимость решения проблемы рационального использования минеральных ресурсов.

Нами показана возможность расширения интервала пригодности сырья и его использования для получения промышленных продуктов.

Общая блок-схема комплексного использования сырья и его реализации представлена на рис. 1 и 2. В соответствии с ними породы разделяются на две группы: товарная продукция и отходы разных производств.

В зависимости от химического и минералогического составов отходов они могут использоваться в качестве ценных добавок при производстве продукции. Прочные породы в основном используются для производства щебня.

Например, по своему химическому составу вскрышные породы месторождения песков «Ольшанка» Минской области [7] используются для производства аглопорита с добавками местного топлива, которое может создавать необходимую теплоту (до 4200 ккал/кг) сгорания в зоне агломерационной машины на основе торфа, лома топливных брикетов, древесных опилок и лигнина, являющихся отходами в топливной, деревообрабатывающей и гидролизной промышленности.

Предлагаемые схемы (см. рис. 1 и 2) позволят значительно уменьшить ресурсо- и энергозатраты при добыче и переработке сырья гравийно-песчаных месторождений.

Отходами при добыче являются крупные валуны, которые могут использоваться для производства щебня, а вскрышные породы (супесь, суглинки) – для получения аглопорита. Товарной продукцией является щебень с различным фракционным составом от 5 до 70 мм.

Основным параметром оптимизации получаемой готовой продукции является прочность аглопорита, а также эффективность дробления и температурные параметры агломерации, которые оказывают влияние на цену при реализации продукции.

Утилизация горных пород, образующихся при разработке гравийно-песчаной смеси (ГПС) и переработке полезных ископаемых, является важной экономической и экологической задачей. При этом должны учитываться ограничения, связанные со свойствами нерудно-строительных материалов (НСМ). Аглопоритовые щебень и песок – искусственные пористые мате-

риалы, полученные дроблением спеков, образующихся в результате термической обработки гранулированных шихт из алюмосиликатных и силикатных материалов природного происхождения или отходов промышленности методом агломерации. Применяют их в качестве заполнителя при изготовлении конструкционно-теплоизоляционных и конструкционных легких бетонов, а также в качестве утепляющих засыпок.

Структурно-механические свойства сырьевых материалов определяют соответствующие методы их подготовки к термической обработке. Основная технологическая операция при производстве аглопорита – это спекание шихты на решетке агломерационной машины непрерывного действия, где теплота сгорания топлива должна быть выше 4000 ккал/кг. Спеканию подвергаются малопластичные глинистые породы, которые при обжиге не вспучиваются. Некоторые вскрышные породы горных предприятий Республики Беларусь, где добывают ГПС, отвечают этим требованиям. За счет горения угля, который вводится в шихту, развивается температура до 1300 К. Это приводит к спеканию шихты в виде пористой остеклованной массы. Следует отметить, что протекающие процессы теплопереноса не заканчиваются в зонах сушки и нагрева, а накладываются друг на друга и в большей части по всей длине ленты развиваются параллельно [8].

Для выбора метода подготовки шихты основные исходные сырьевые материалы условно разделяют на следующие три группы: сухие плотные или зернистые материалы – природные глинистые и углесодержащие сланцы от добычи и обогащения угля и топливные кусковые шлаки; рыхлые природные глинистые породы и отходы промышленности – глины, суглинки, супеси, лессы, а также глинистые углесодержащие отходы добычи и обогащения угля; сухие пылевидные или зернистые материалы – золы от сжигания углей и газогенераторные золы.



Рис. 2. Структурная схема определения основных показателей горных предприятий с учетом рыночного спроса на товарную продукцию

Природные глинистые породы применяют преимущественно в производстве аглопорита, хотя с экономической точки зрения для этой цели целесообразно использовать отходы промышленности. Добавки выбирают с учетом наличия местных сырьевых ресурсов и характеристик основных компонентов шихты. При избыточном количестве топлива в топливосодержащем сырье в шихту вводят возврат, а также горелую или глинистую породу, а при недостатке топлива – уголь или углесодержащую добавку. Введение

в шихту древесных опилок (до 10 %) и лигнина (до 25 % по объему) увеличивает пористость и ускоряет процессы горения топлива и спекания. Добавка сухой золы тепловых электростанций (ТЭС) снижает влажность обводненных глин и расход топлива за счет содержащихся в ней прокаленных минералов и несгоревшего углерода. Добавки вводят для улучшения гранулирования и повышения прочности гранул при их транспортировании и обжиге. Содержание топлива в шихте при использовании

глинистых пород обычно составляет 6–8, золы ТЭС – 10–12 % по массе. Предельный размер гранул (зерен) шихты не должен превышать 10–12 мм, а размер составных ее частей: исходного сырья – 5, угля – 3, твердых добавок – от 5 (плотных) до 10 (пористых) мм.

На заводах строительных материалов выпускаются аглопоритовые песок, гравий и щебень, которые применяются в промышленности как теплоизолирующие материалы и в качестве добавок в разные виды бетонов (легкие и силикатные), а также теплоизоляционных засыпок. Способ изготовления – термическая обработка силикатных материалов методом агломерации. На заводе готовой продукцией являются: песок аглопоритовый фракции 0–5 мм, марка 1000, марка 1100; щебень аглопоритовый фракции 2,5–10 мм, марка 800, марка 900; щебень фракции 10–20 мм, марка 700, марка 800; щебень фракции 20–40 мм, марка 600, марка 700.

Для исследований применялись суглинки месторождения «Ольшанка» Минской области со следующими химико-физическими данными, %: SiO_2 – 77,0–80,8; $\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{TiO}_2$ – 9,1–9,6; Fe_2O_3 – 2,4–2,8; $\text{MgO} + \text{CaO}$ – 1,5–4,4; $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ – 3,5–3,8; потери при прокаливании ~1,0–3,9.

На основании предварительных опытов были выбраны уровни факторов и интервалы их варьирования (табл. 1). Опилки – 10 %, торфяная крошка – 10 %, лигнин – 14 %, суглинки – 66–83 %. Математическое планирование экспериментов (ММП) проводилось по методике [9], где однородность дисперсии определялась по критерию Кохрена. Расчетные значения критерия (0,25) после проведения опытов оказались меньше теоретического (0,68). После проведения экспериментов дробной реплики (2^{n-1} , где n – количество опытов) все коэффициенты уравнения регрессии определялись с одинаковой погрешностью $|b| \geq s t$, где s – дисперсия коэффициентов; t – значение

критерия Стьюдента. Уравнение регрессии проверялось по критерию Фишера на адекватность. Расчетное значение критерия равно: $F_p = 3,55$, табличное значение – $F_T = 4,07$, что соответствует адекватности модели.

В табл. 1 указаны x_1, x_2, x_3, x_4 – математические значения факторов; X_1, X_2, X_3, X_4 – физические значения факторов (соответствуют С, Т, Л, О).

Введение в шихту прессованной торфяной крошки ($T = 10$ % – max), суглинки ($C = 66$ –83 %) показало, что прочность полученного щебня и его плотность соответствуют техническим условиям. Результаты серии опытов по определению прочности аглопоритового щебня приведены в табл. 2.

Коэффициенты регрессии: $b_0 = 0,33$, $b_1 = 0,38$, $b_2 = 0,19$, $b_3 = 0,11$, $b_4 = 0,10$.

Для серии опытов по определению прочности щебня уравнение регрессии будет выглядеть следующим образом:

$$K_p = 0,33 + 0,38x_1 + 0,19x_2 + 0,11x_3 + 0,10x_4.$$

Одним из важных направлений решения комплексной проблемы повышения эффективности и качества разработки месторождений ГПС должно стать широкое ресурс- и энергосбережение. При этом будет затрачено меньше средств на добычу, переработку и транспортирование одной тонны сырья. Эту программу можно осуществить путем реализации комплекса организационно-экономических, технологических и технических направлений, обеспечивающих наибольшую экономию ресурсов и их эффективное использование в горной промышленности.

В качестве интенсифицирующих технологий можно предложить использовать ультразвуковые колебания частотой 20–40 кГц для увеличения прохождения частиц через отверстия сит при влажности ГПС более 6 %. Тогда эффективность грохочения увеличится [10].

Вскрышные породы по своим свойствам используются для производства строительных материалов, где в качестве добавок, как показали исследования, могут применяться местные виды топлива и отходы промышленности (торф, топливные брикеты, древесные опилки, лигнин и др.). ГПС можно перерабатывать по двум вариантам:

– сырье доставляется автотранспортом на дробильно-сортировочный завод (ДСЗ);

– переработка осуществляется в карьере в одну или две стадии с обезвоживанием.

Отходы (0–5 мм) поступают в карьер на рекультивацию или на рынок, что позволит уменьшить ресурсо- и энергозатраты производства. Количество технологических операций определяется физико-механическими свойствами ГПС, а также спросом на товарную продукцию.

Табл. 1. Уровни факторов и интервалы их варьирования

Фактор	Суглинки <i>C</i>		Топливные брикеты <i>T</i>		Лигнин <i>L</i>		Опилки <i>O</i>	
	$X_1, \%$	x_1	$X_2, \%$	x_2	$X_3, \%$	x_3	$X_4, \%$	x_4
1 Основной уровень $X = 0$	74,5	0	7,5	0	10,5	0	7,5	0
2 Интервал варьирования	8,5		2,5		3,5		2,5	
3 Верхний уровень $X = +1$	83	+1	10	+1	14	+1	10	+1
4 Нижний уровень $X = -1$	66	-1	5	-1	7	-1	5	-1

Табл. 2. Результаты серии опытов по определению прочности аглопоритового щебня

Серия опыта	Уровень фактора				Параметр оптимизации (опыты), МПа			Расчетный параметр оптимизации, МПа
	X_1	X_2	X_3	X_4	Π_1	Π_2	Π_3	Π_p
1	–	–	–	+	0,64	0,63	0,68	0,6
2	+	+	–	+	0,97	0,99	0,98	1,08
3	–	+	–	–	0,85	0,84	0,84	0,85
4	+	–	–	–	0,96	0,95	0,97	0,99
5	–	–	+	–	0,88	0,89	0,82	0,85
6	+	–	+	+	0,81	0,77	0,83	0,81
7	–	+	+	+	0,76	0,78	0,73	0,77
8	+	+	+	–	0,99	0,96	0,97	1,03

Заклучение

Рассмотрены рациональные подходы по извлечению и переработке нерудных строительных материалов. К рациональным подходам, обеспечивающим энергосбережение, можно отнести:

- полное и комплексное извлечение из месторождения всех полезных компонентов;
- экономное и безотходное использование сырья;
- удаление влаги и технологическое использование отходов производства;
- использование замкнутых циклов производства, где эффективность добычи, переработки, транспортирования и реализации товарной продукции гравийно-песчаной смеси может значительно увеличиться.

Эколого-экономическая оценка рационального эффективного использования природных ресурсов позволила сравнить ценность различных природных ресурсов и на основании этого установить последовательность их вовлечения в хозяйственный оборот. Она позволяет рассчитать природно-ресурсный потенциал регионов любого ранга республики, что важно для сопоставления ресурсообеспеченности и прогнозирования их экономического развития.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Полезные ископаемые Беларуси / П. З. Хомич [и др.]. – Минск : Адукацыя і выхаванне,

2002. – 528 с.

2. Чаплыгин, Н. Н. Фундаментальные проблемы горных технологий. Какое оборудование нужно нерудной промышленности строительных материалов / Н. Н. Чаплыгин, Д. В. Жулковский // Строительные материалы. – 2005. – № 10. – С. 56–59.

3. Вавилов, А. В. Развитие механизации горнодобывающей отрасли как составной части строительного комплекса Беларуси / А. В. Вавилов // Бюл. Белорус. горной акад. – 2001. – № 1. – С. 48–50.

4. Луканин, В. Н. Проблемы современности. Республика Беларусь / В. Н. Луканин, А. В. Загорская. – Минск : Выш. шк., 2000. – 142 с.

5. Михайлов, В. И. Перспективы применения плавучих грейферных установок на обводненных песчано-гравийных месторождениях / В. И. Михайлов, В. М. Мельникова // Строительные материалы. – 1985. – № 1. – С. 5–12.

6. Технология открытой разработки месторождений полезных ископаемых: учебник для вузов / М. Г. Новожилов [и др.]. – М. : Недра, 1971. – 512 с.

7. Новое оборудование для получения высококачественных нерудных строительных материалов / В. А. Артамонов [и др.] // Технология, оборудование и сырьевая база горных предприятий промышленности строительных материалов : сб. докл. – Минск, 2002. – С. 189–193.

8. Исследовать и разработать технологические параметры производства аглопорита : отчет О НИР (промежут.). – Минск : МНИИСМ, 1992. – 36 с. – № 92-067.

9. Богатов, Б. А. Математические методы и модели в горном деле / Б. А. Богатов. – Минск : Технопринт, 2003. – 115 с.

10. Березовский, Н. И. Разработка энергоэффективных технологий / Н. И. Березовский. – Минск : БИП-С Плюс, 2006. – 219 с.

Белорусско-Российский университет
Республиканский институт инновационных технологий
Материал поступил 02.02.2009

S. N. Berezoysky, N. I. Berezovsky
Complex development, use of raw materials
and overburden for manufacture of building
materials

Rational approaches on extraction and processing of the nonmetallic building materials providing energy efficiency are considered in article. To rational approaches one can rate full and complex extraction of all useful components from a deposit, economical and waste-free use of raw materials, moisture removal and technological use of production wastes, use of closed-circuit production cycles where efficiency of extraction, processing, transportation and realization of a commodity output of a sandy gravel mix can considerably increase.