

К. т. н. **И. В. Гладких** (✉), **А. В. Титов**

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет имени Р. Е. Алексеева», г. Нижний Новгород, Россия

УДК 669.054.8.001.5

ОЦЕНКА КАЧЕСТВА ТЕХНОГЕННОГО СЫРЬЯ ДЛЯ ФУТЕРОВКИ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ ЛИТЕЙНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА

Отмечена важность эффективного использования промышленных отходов в качестве техногенного сырья для изготовления огнеупорных материалов. Предложена поэтапная методология оценки качества техногенного сырья для футеровки тепловых агрегатов.

Ключевые слова: техногенное сырье, оценка качества, радиационная безопасность (РБ), удельная эффективная активность естественных радионуклидов $A_{эфф}$, футеровка тепловых агрегатов.

В результате производственной деятельности человечество крайне неэффективно использует природные ресурсы. Из добываемых ресурсов всего лишь 1–5 % их массы преобразуется в продукт для потребления, а остальное количество превращается в отходы. Затраты энергии на производство большинства изделий и материалов в несколько раз превосходят ее теоретический расход, например на производство стали — почти в 4 раза. Одновременно с этим при современных масштабах производства отходы являются главной причиной нарушения экологического равновесия на Земле.

Одним из путей снижения материало- и энергоемкости продукции, уменьшения негативного воздействия на окружающую среду, восстановления баланса между природой и обществом является повышение уровня использования отходов в качестве техногенного сырья. К перспективным направлениям вовлечения отходов в переработку относится применение их в качестве сырьевых компонентов для изготовления огнеупорных материалов для футеровки тепловых агрегатов литейно-металлургического производства. Это обусловлено массовым потреблением огнеупоров в металлургии, на долю которой приходится 60–75 % всех огнеупорных материалов.

Главное требование, предъявляемое к огнеупорным материалам, заключается в обеспечении высокой стойкости футеровки тепловых агрегатов литейно-металлургического производства, которые подвергаются интенсивным температурным, механическим и химическим воздействиям со стороны расплавов металлов, шлаков и других химиче-

ски агрессивных продуктов, участвующих в производственном цикле. Необходимые технологические и эксплуатационные характеристики огнеупоров в первую очередь обуславливаются свойствами исходного сырья, основными из которых являются огнеупорность (которая должна быть >1580 °С), наличие и распространенность сырьевых компонентов в природе, а также их стоимость [1].

Сырьем для производства огнеупоров являются материалы, непосредственно содержащие огнеупорную основу (химические соединения с высокой температурой плавления) или в которых она образуется в результате термообработки сырья (например, при дегидратации или декарбонизации). Наряду с традиционным природным сырьем (огнеупорные глины, магнезит, кварцит, высокопористые осадочные горные породы и др.) для производства огнеупорных материалов в качестве техногенного сырья могут быть использованы различные виды промышленных отходов (огнеупорные отходы, металлургические шлаки, золошлаковые отходы теплоэнергетики и др.) [2].

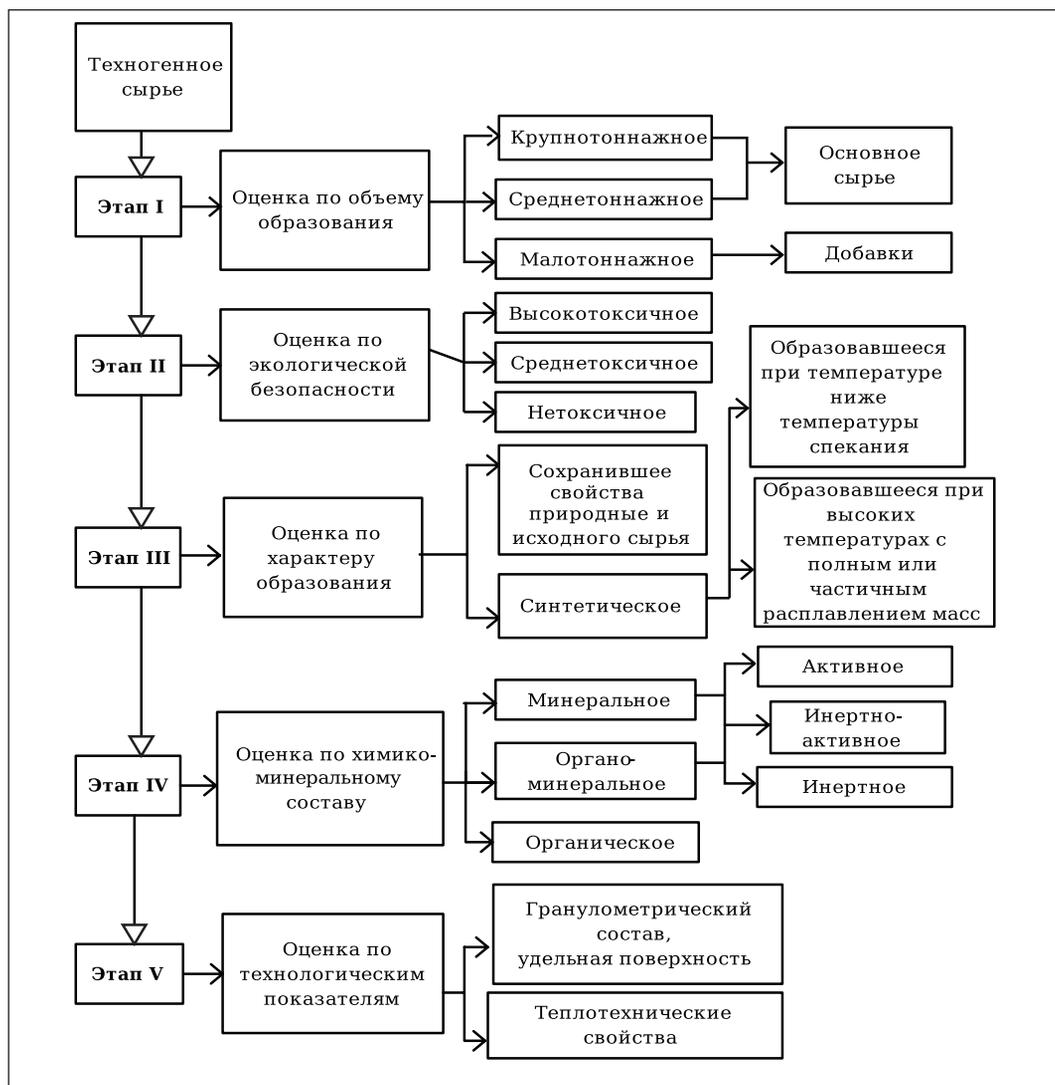
Поскольку существующие критерии выбора сырьевых компонентов для производства огнеупорных материалов, применимые к природному сырью, недостаточны и не всегда могут быть использованы применительно к техногенному сырью, разработана методология оценки качества техногенного сырья (см. рисунок).

Оценку степени пригодности техногенного сырья предлагается выполнять поэтапно по следующим параметрам: объем образования, экологическая безопасность, характер образования, химико-минеральный состав и технологические показатели.

• **I этап — объем образования.** Оценивает достаточность ресурсов для использования в производстве огнеупорных материалов. Техногенное сырье классифицируется на крупнотоннажное (>1000



И. В. Гладких
E-mail: annagladkih78@mail.ru



Методология оценки качества техногенного сырья

тыс. т в год), среднетоннажное (10–1000 тыс. т в год) или малотоннажное (<10 тыс. т в год). Крупно- и среднетоннажное техногенное сырье может быть использовано в составе огнеупорных материалов в качестве основного сырья (заполнителей), заменяющего природное, малотоннажное — в виде корректирующих добавок, связующих и т. д.

• **II этап — экологическая безопасность.**

Оценивает степень токсичности техногенного сырья. В качестве критериев степени токсичности предложено использовать класс опасности отходов для окружающей среды, а также радиационную безопасность (РБ) сырья. В соответствии с действующим природоохранным законодательством Российской Федерации класс опасности отходов для окружающей среды определяется по Федеральному классификационному каталогу отходов (ФККО) [2] либо при отсутствии данной позиции в коде отхода расчетным или экспериментальным методом [3]. РБ техногенного сырья устанавливается по величине удельной эффективной активности естественных радионуклидов $A_{эфф}$

согласно ГОСТ 30108–94 «Материалы и изделия строительные. Определение эффективной удельной активности естественных радионуклидов».

При оценке экологической опасности техногенное сырье классифицируется на высокотоксичное (I и II классы опасности, 4-й класс РБ, $A_{эфф} > 1350$ Бк/кг), среднетоксичное (III и IV классы опасности, 2-й и 3-й классы РБ, $A_{эфф} = 370 \div 1350$ Бк/кг) и нетоксичное (V класс опасности, 1-й класс РБ, $A_{эфф} < 370$ Бк/кг). Высокотоксичные отходы не рекомендуется использовать в качестве техногенного сырья для производства огнеупорных материалов без предварительного обезвреживания. Среднетоксичное сырье допустимо использовать в обжиговых технологиях при условии образования в массе достаточного для консервации тяжелых металлов расплава. Малотоксичное сырье используется без ограничений.

• **III этап — характер образования.** Обусловливает химико-минеральный состав и технологические свойства техногенного сырья. Сырье классифицируется на сохранившее в процессе образования свойства исходного сырья (напри-

мер, вскрышные породы или хвосты обогащения полезных ископаемых) и синтетическое техногенное сырье, образовавшееся в результате глубоких физико-химических превращений исходного природного сырья (например, металлургические шлаки, колошниковая пыль и др.). Синтетическое сырье, в свою очередь, предложено классифицировать на продукты, образовавшиеся при температуре ниже температуры спекания, которые содержат остатки исходного сырья и значительные количества свободных CaO , MgO , SiO_2 , например огнеупорный лом, и продукты, образовавшиеся при высоких температурах с полным или частичным расплавлением масс, представляющие собой кристаллические, стеклообразные или смешанные продукты, например шлаки, зола-унос и др.

• **IV этап — химико-минеральный состав.**

Имеет первостепенное значение при обосновании возможности и выборе направления дальнейшего использования техногенного сырья для получения огнеупорных материалов. В зависимости от содержания минеральных и органических компонентов сырье подразделяется на минеральное, органо-минеральное и органическое. Органическое техногенное сырье в производстве огнеупорных материалов не применяется. Минеральное и органо-минеральное техногенное сырье на основании данных о содержании в минеральной части аморфной фазы классифицируется на активное (содержание аморфной фазы >50 %), инертно-активное (содержание аморфной фазы <50 %) или инертное (отсутствие аморфной фазы). Активность сырья определяет способность использования его в качестве активной минеральной добавки, компонента пуццоланового портландцемента или вяжущего.

Данные о химическом составе минеральной части техногенного сырья, включая содержание основных оксидов (SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , FeO , CaO , MgO , Na_2O , K_2O) и элементный состав, позволяют обосновать выбор направления его дальнейшего использования, например в качестве заполнителя или вяжущего, и сделать прогноз ожидаемых технологических свойств полученных огнеупорных материалов, например огнеупорности, механической прочности, термостойкости. Данные о химическом составе и свойствах органической части техногенного сырья позволяют выявить возможные направления ее неблагоприятного влияния на технологический процесс получения и качество огнеупорных материалов. Например, высокое содержание летучих веществ может стать причиной низкой механической прочности композиций, а повышенное содержание углерода приведет к повышенной пористости, недожугу, снижению качества готовых изделий.

Возможны варианты, когда техногенное сырье представляет собой готовую сырьевую смесь или основное сырье для производства огнеупорных материалов, используемых в футеровке литейно-металлургических агрегатов. В этом случае химико-минеральный состав сырья сопоставляется

с составом сырьевых смесей для производства традиционных огнеупорных изделий из соответствующей группы по количеству преобладающих минералов. В случае соответствия химико-минерального состава техногенного сырья составу традиционных природных материалов оно оценивается как готовый шихтовый материал, при несоответствии — может быть использовано в качестве добавки.

• **V этап — технологические показатели.** Позволяют установить степень готовности техногенного сырья к использованию, определить способы и параметры обработки, выявить направление его использования. Данные о гранулометрическом составе техногенного сырья позволяют выбрать способ его подготовки к технологическому процессу (например, сортировка, дробление и т. д.) и связанные с этим затраты. От гранулометрического состава и связанного с ним показателя удельной поверхности сырья зависят такие важные свойства огнеупорных материалов, как макроструктура, пористость, газопроницаемость, анизотропность, что, в свою очередь, определяет возможность использования изделий в том или ином литейно-металлургическом агрегате. Теплотехнические свойства (огнеупорность) техногенного сырья позволяют оценивать принципиальную возможность его применения в качестве шихтовых компонентов огнеупорных материалов. Степень готовности техногенного сырья к использованию в виде огнеупорного заполнителя устанавливается согласно ГОСТ 23037–99 «Заполнители огнеупорные».

Таким образом, разработанная методология оценки качества техногенного сырья позволяет установить принципиальную возможность его применения для производства огнеупорных материалов, определить направление его использования, выявить важные технологические свойства и особенности, спрогнозировать основные параметры технологического режима получения огнеупорных материалов, используемых в футеровке тепловых агрегатов литейно-металлургического производства.

Библиографический список

1. **Кащеев, И. Д.** Химическая технология огнеупоров / И. Д. Кащеев, П. С. Стрелов, К. К. Мамыкин. — М. : Интермет Инжиниринг, 2007. — 752 с.
2. **Гладких, И. В.** Использование техногенного сырья для получения огнеупорных блоков / И. В. Гладких, Д. С. Куимов // Изв. вузов. Черная металлургия. — 2006. — № 2. — С. 63–66.
3. Федеральный классификационный каталог отходов (ФККО) [Электронный ресурс] : Режим доступа : <http://www.fkko.ru/>.
4. Приказ МПР от 15.06.2001 г. № 511 «Об утверждении Критериев отнесения опасных отходов к классу опасности для окружающей природной среды» URL: <http://docs.cntd.ru/document/901798965> (дата обращения: 14.06.2017). ■

Получено 28.11.17

© И. В. Гладких, А. В. Тутов, 2018 г.