

ния; 5) содержания радионуклидов в твердых отходах металлургического производства и станции нейтрализации кислых стоков, а также в сельхозпродукции, выращенной вблизи санитарно-защитной зоны комбината.

### Список литературы

1. *Pihulevskiy P.* Features of radioactive waste stores in central Ukraine / P. Pihulevskiy, O. Tiapkin, L. Anisimova // *Monitoring of Geological Processes and Ecological Condition of the Environment: Proceedings of XII International Scientific Conference.* – Kyiv, Ukraine, 2018. – 5 p.
2. *Тяпкін О.К.* До питання комплексування геолого-геофізичних методів в екологічному моніторингу територій, прилеглих до сховищ промислових відходів / О.К. Тяпкін, О.Г. Білашенко // *Збірник наукових праць Національного гірничого університету.* – Дніпропетровськ: ДВНЗ «НГУ», 2015. – №47. – С.19-26.
3. *Экологический паспорт Днепропетровской области /* Под ред. В.В. Антонова. – Днепропетровск, 2000. – 266 с.
4. *Повышение радиологической безопасности переработки редкоземельного сырья в среднем Приднепровье /* [О.К. Тяпкин, Е.С. Сердюк, Л.Б. Анисимова и др.] // *Стратегія якості в промисловості та освіті: Матеріали XV міжнародної конференції.* – Варна, Болгарія, 2019. – С.182-187.

УДК 622.788

**А. Ю. Худяков<sup>1</sup>, С.В. Ващенко<sup>1</sup>, М. Н. Бойко<sup>2</sup>, К. В. Баюл<sup>1</sup>, Н. В. Полякова<sup>2</sup>**

1 – Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАНУ, г. Днепр.

2 – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепр.

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УРАВНЕНИЙ ПРЕССОВАНИЯ ДЛЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ БРИКЕТИРУЕМЫХ МАТЕРИАЛОВ

В Институте черной металлургии [1] разработаны два уравнения прессования мелкофракционных материалов: основное (1) и стадийное (2), совместное применение которых позволит прогнозировать зависимость  $P=f(p)$  при брикетировании в технологическом диапазоне давлений прессования, а также даст возможность иденти-

фицировать стадии прессования и изучать факторы, влияющие на ход и результаты исследуемого процесса:

$$P = \frac{K_0}{a_1} \left( \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right)^{a_1} = b_1 \left( \frac{\rho - \rho_0}{\rho_0} \right)^{a_1}, \quad (1)$$

где  $P$  – давление прессования, МПа;  $\rho$  – текущая плотность прессовки, г/см<sup>3</sup>;  $\rho_0$  – насыпная плотность шихты, г/см<sup>3</sup>;  $a_1$  – показатель прессования основного уравнения:  $a_1 = d \ln P / d \ln (\Delta \rho / \rho_0)$ ;  $K_0$  – начальное значение модуля объемной упругости, соответствующее состоянию свободной засыпки шихты, МПа;  $b_1$  – постоянный коэффициент, характеризующий способность шихты сопротивляться сжатию и численно равный давлению, необходимому для двукратного уплотнения материала, МПа.

$$P = P_{bc} \left( \frac{\rho}{\rho_{bc}} \right)^{a_2}, \quad (2)$$

где  $P_{bc}$ ,  $\rho_{bc}$  – давление и плотность, определяющие граничное условие ( $bc$  – boundary condition) для конкретной стадии прессования;  $a_2$  – показатель прессования стадийного уравнения:  $a_2 = d \ln P / d \ln \rho$ .

Как указывает акад. А.Е. Ферсман, выдающийся отечественный ученый, заложивший основы энергетического фундамента геохимии, наиболее удобным, универсальным признаком в вопросах классификации и оценки минерального сырья является показатель энергоемкости, т.е. «то количество энергии, которое необходимо затратить на ископаемое, чтобы сделать его готовым для промышленного использования» [2]. Несмотря на бесспорную классификационную ценность данного показателя, подобная формулировка является слишком широкой, поскольку требует учета затрат энергии на каждую отдельную операцию для отдельного ископаемого, которые, в зависимости от комплекса исходных свойств и особенностей функционального назначения, подвергаются ряду индивидуальных воздействий на этапах добычи, обогащения и окускования. По нашему мнению, необходимо конкретизировать область применения показателя энергоемкости, в частности, для процесса брикетирования имеет смысл говорить о затратах энергии на получение качественного брикета. Показатель энергоемкости брикетируемого материала может быть непосредственно использован при разработке технологических режимов производства брикетов, расчетах прессового оборудования и проектировании линии брикетирования и

поэтому является важным дополнением к классическому определению брикетированности, как способности материала под воздействием сжатия образовывать брикет с заданными характеристиками.

Практика разработки технологий брикетирования показывает, что качество брикетов, как правило, растет симбатно степени их уплотнения, поэтому целесообразно оценивать энергоемкость брикетируемого материала по величине удельной работы прессования в технологическом диапазоне давлений  $W_{sp.tech}$ , рассчитывая ее как отношение интеграла от давления по плотности к объему прессовки по достижению верхней границы указанного диапазона. В качестве интегрируемой функции используется правая часть основного уравнения прессования (1), пределами интегрирования являются границы технологического диапазона давлений:

$$W_{sp.tech} = \rho_{2-3} b_1 \int_{\rho_0}^{\rho_{2-3}} \frac{\left(\frac{\rho-\rho_0}{\rho_0}\right)^{a_1}}{\rho^2} d\rho. \quad (3)$$

Отметим, что поскольку верхний предел интегрирования  $\rho_{2-3}$  соответствует плотности прессовки по достижению максимальной границы технологического диапазона давлений прессования, то для шихт, при брикетировании которых наблюдается стабилизация плотности, таким пределом является плотность в точке перехода стадии структурных деформаций сыпучего тела в стадию упругопластических деформаций частиц [1] (которая определяется посредством анализа экспериментальной кривой прессования при помощи стадийного уравнения (2)), а для остальных шихт пределом служит плотность прессовки при давлении, соответствующем верхнему пределу технических характеристик используемого прессового оборудования (около 200-220 МПа для валковых брикетных прессов).

### Список литературы

1. Худяков А.Ю. Анализ известных зависимостей и разработка новых уравнений прессования мелкофракционных материалов горно-металлургического комплекса / А.Ю. Худяков, С.В. Ващенко // Новые огнеупоры – 2019 – №12. – С. 37-46.
2. Ферсман А.Е. Избранные труды. Том III / А.Е. Ферсман - М.: Изд-во АН СССР, 1955. -798 с.