

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ И ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБРАЗЦОВ ЗАКЛАДОЧНЫХ КОМПОЗИТОВ НА ОСНОВЕ ГОРНО-МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ ОТХОДОВ<sup>1</sup>

**Е.А. Ермолович**  
**К.А. Измestьев**  
**А.В. Овчинников**

*Белгородский  
государственный  
национальный  
исследовательский  
университет*

*Россия, 308015 Белгород,  
ул. Победы, 85*

*E-mail:  
elena.ermolovich@mail.ru*

Рассмотрены результаты экспериментальных исследований прочностных и деформационных параметров образцов закладочных смесей на основе техногенных отходов акустическим методом. Приводится корреляционное уравнение, подтверждающее зависимость прочности образцов бесцементных составов от скорости продольных волн.

Ключевые слова: твердеющие смеси, отходы обогащения железистых кварцитов, кислый доменный гранулированный шлак, ультразвуковое прозвучивание, предел прочности при сжатии, модуль упругости, коэффициент Пуассона.

ОАО «Комбинат КМАруда» ведет разработку запасов железистых кварцитов подземным способом, в результате которого в недрах земли образуются пустоты – камеры, каждая объемом 50-120 м<sup>3</sup>. Общий объем накопленных пустот составляет около 50 млн. м<sup>3</sup>. Из каждого кубометра добытой руды образуется кубометр отходов обогащения [1]. Закладка выработанного пространства твердеющими смесями не только позволит оставлять в целиках минимальное количество руды, но и улучшит экологическую обстановку в регионе Курской магнитной аномалии, если в их составах использовать техногенные отходы. Утилизация отходов производства в структуре разработанных одним из авторов закладочных композитов составляет от 94% до 99.9% по массе на сухое вещество [2-5].

К характеристикам основных свойств закладочных массивов относятся прочностные и деформационные [6]. Прочность – важнейшее свойство материала. Под прочностью понимают способность сопротивляться разрушению от действия внутренних напряжений, возникающих в результате нагрузки или других факторов [7]. Для удобства определения и контроля прочности независимо от характера деформаций искусственного массива ее приводят к пределу прочности при одноосном сжатии. В общем случае, о деформационных свойствах закладочного материала при приложении нагрузки судят по его модулю деформации, т.е. по отношению напряжения к относительной деформации, вызываемой его действием. Чем выше модуль деформации, тем менее деформативен материал. Массивы закладки при деформировании проявляют упруго-вязкие свойства. Для описания их поведения под нагрузкой так же используют модуль деформации [8].

Кроме модуля Юнга  $E$ , деформации массива определяются с использованием упругих параметров: модуля всестороннего сжатия  $K$  и коэффициента Пуассона  $\mu$ .

Прочностные и деформационные характеристики закладочного массива могут определяться испытаниями образцов из кернов, неразрушающими методами контроля прочности и расчетно-фактическим методом [9]. Бетон кернов полностью соответствует реальному материалу конструкции. Однако сложность отбора образцов-кернов, высокая трудоемкость и стоимость выбуривания кернов, возможное нарушение структуры керна при выбуривании и обработке – все это во многих случаях ограничивает

<sup>1</sup> Исследования выполнены при проведении поисковой научно-исследовательской работы в рамках реализации ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы (проект П-1077).



использование этого метода [10]. Данные недостатки отсутствуют у методов неразрушающего контроля.

Основное отличие метода неразрушающего контроля от остальных состоит в том, что при его использовании непосредственно измеряемой величиной является не прочность, а какой-либо физический показатель, связанный с измеряемой величиной корреляционной зависимостью.

Для исследования прочностных и деформационных свойств закладки авторы применили ультразвуковой метод сквозного прозвучивания, когда датчики располагаются с разных сторон тестируемого образца. В результате эксперимента, проводившегося на приборе УК1-10П, была установлена корреляционная зависимость между скоростью распространения продольных ультразвуковых волн и пределом прочности закладки на основе отходов обогащения мокрой магнитной сепарации и молотого кислого доменного гранулированного шлака при сжатии при влажности образцов 3-5%:

$$\sigma = 0.37075 \exp(0.00137 \times V) - 0.91205,$$

где  $\sigma$  – предел прочности при сжатии, МПа;  $V$  – скорость продольной ультразвуковой волны, м/с.

График зависимости приведен на рисунке. Достоверность аппроксимации  $R^2=0/997$ .

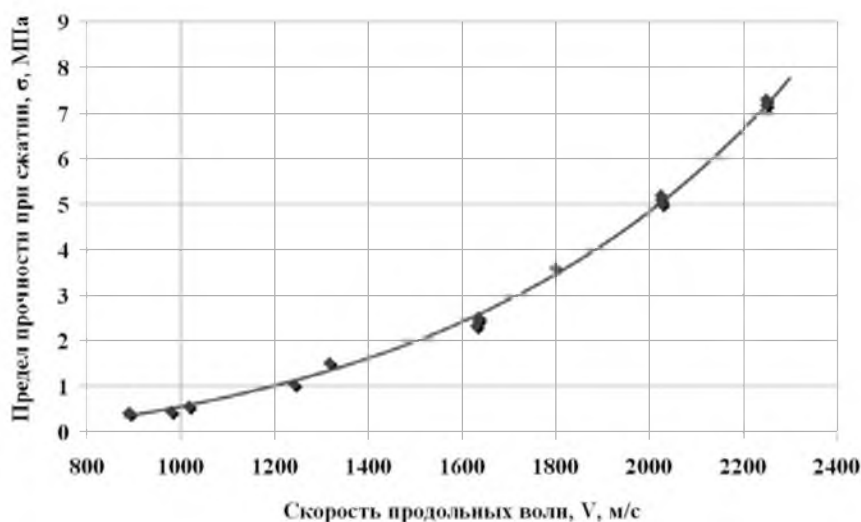


Рис. График зависимости предела прочности при сжатии образцов закладки от скорости ультразвуковых продольных волн

Данная зависимость отличается от полученных другими исследователями [9] тем, что установлена для бесцементных закладочных смесей на основе техногенных отходов без использования природных заполнителей.

Предел прочности образцов при сжатии определялся на электронной испытательной машине Инстрон 5882.

Деформационные характеристики для малопрочных составов закладки, для которых практически невозможно выбрать керны, представлены в таблице.

Таблица

**Деформационные, прочностные и акустические характеристики малопрочных закладочных смесей**

Номер п/п	Скорость продольной ультразвуковой волны, м/с	Предел прочности при сжатии, МПа	Модуль Юнга, МПа	Модуль всестороннего сжатия, МПа	Коэффициент Пуассона
1	891.1	0.41	412.4	957.1	0.428
2	978.9	0.44	403.9	1159.0	0.442
3	1017.4	0.55	691.8	1261.2	0.409
4	1241.1	1.04	933.1	1937.9	0.420
5	1317.0	1.50	1315.3	2117.5	0.396

*Работа выполнена с использованием оборудования Центра коллективного пользования научным оборудованием БелГУ «Диагностика структуры и свойств наноматериалов».*

### Список литературы

1. Лейзерович С.Г., Усков А.Х. Разработка экологической направленности технологии добычи железистых кварцитов КМА // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы IV Международной научной конференции. – Белгород, 2010. – С. 470-473.
2. Ермолович Е.А. Бесцементная закладочная смесь на основе техногенных отходов // Научные ведомости БелГУ. Серия Естественные науки. Выпуск 11. – Белгород: БелГУ. – 2010. – № 9(80). – С. 156-158.
3. Ермолович Е.А. Утилизация некондиционных доломитов в составе твердеющей закладочной смеси для заполнения выработанного пространства // Ресурсовоспроизводящие, малоотходные и природоохранные технологии освоения недр: материалы девятой Международной конференции. Москва–Котону (Бенин), 2010.– С. 209-211.
4. Ермолович Е.А. Утилизация горно-металлургических отходов в составе закладочных смесей для заполнения выработанного пространства шахт // Проблемы природопользования и экологическая ситуация в Европейской России и сопредельных странах: материалы IV Международной научной конференции. – Белгород, 2010. – С. 459-461.
5. Ермолович Е.А. Утилизация отходов ванадиевого производства в плотных смесях для закладки выработанного пространства // Горный информационно-аналитический бюллетень. – М: МГГУ, 2011. – №4. – С. 232-234.
6. Порцевский А.К. Геомеханическое обоснование выбора технологии подземной добычи руды с последующим использованием пустот: автореф. дис. ...д. т. н. – М., 2006. – 58 с.
7. Баженов Ю.М. Технология бетона. – М.: Высшая школа, 1987. – 415 с.
8. Страданченко С.Г., Шубин А.А., Легостаев С.О. Исследование деформационных свойств закладочного материала на основе фиброаппликатора // Проблемы подземного строительства и направления развития тампонажа и закрепления горных пород: материалы научно-практической конференции. – Антрацит, 2006. – С. 29-32.
9. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне – М.: Издательство «Горная книга», 2005 – 597 с.
10. Чихунов, Д. А. Методика и техника для контроля прочности бетонов и других искусственных каменных материалов // Строительная инженерия. – 2005. – № 4. – С. 55-60.

## THE STUDY OF STRENGTH AND DEFORMATION CHARACTERISTICS OF THE BACKFILL MIXTURE SAMPLES BASED ON MINING AND METALLURGICAL WASTES

**E.A. Ermolovich**  
**K.A. Izmestyev**  
**A.V. Ovchinnikov**

*<sup>1</sup>Belgorod State National Research University  
Pobedy St., 85, Belgorod, 308015,  
Russia  
E-mail: elena.ermolovich@mail.ru*

The article considers the results of experimental studies of strength and deformation parameters of the samples of backfilling mixtures based on industrial waste by the acoustic method. We present a correlation equation, confirming the dependence of the strength of the samples of cementless compositions on the velocity of longitudinal waves.

Key words: hardening mixes, iron ore enrichment waste, sour granulated blast furnace slag, ultrasonic sounding, compressive strength, elastic modulus, Poisson's ratio.