

*д.т.н. Должиков П.Н.,  
Фурдей П.Г.,  
Ивлиева Е.О.  
(ДонГТУ, г. Алчевск, Украина)*

## **РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ ЛИКВИДАЦИИ ПОДЗЕМНЫХ ПУСТОТ ЗАКЛАДОЧНЫМИ СМЕСЯМИ НА ОСНОВЕ ОТХОДОВ ПРОИЗВОДСТВА**

*У статті розглянуто питання про можливість використання в закладних сумішах відходів вугільної та металургійної промисловості для ліквідації виробленого простору. Обґрунтовані рецептури ресурсозберігаючих закладних сумішей для влаштування штучної основи будівель.*

***Ключові слова:** вироблений простір, закладні суміші, відходи виробництва, штучні основи, ресурсозбереження.*

*В статье рассмотрен вопрос о возможности использования в закладочных смесях отходов угольной и металлургической промышленности для ликвидации выработанного пространства. Обоснование рецептуры ресурсосберегающих закладочных смесей для устройства искусственного основания зданий.*

***Ключевые слова:** выработанное пространство, закладочные смеси, отходы производства, искусственные основания, ресурсосбережение.*

Массовое вовлечение крупных шлаковых и породных отвалов различных отраслей промышленности в производство строительных материалов становится сегодня одной из особенностей строительного материаловедения. Решение этой проблемы позволит получать не только высокие экономические эффекты за счет рационального использования цемента, но и имеет огромное природоохранное значение [1].

К сожалению, большое количество ценнейшего сырья сегодня остается не востребованным и находится на промышленных свалках и в шламонакопителях, занимающие значительные территории. Задача заключается в том, чтобы исследовать эти отходы, определить возможные пути их подготовки и, при необходимости, переработки с тем, чтобы при минимальном расходе вяжущих получать эффективные строительные материалы. Это может быть достигнуто путем научно-обоснованного подхода к проблеме применения шлаковых отходов в

строительстве, исследования механизмов действия химически активных шлаков и наполнителей на процессы гидратации и твердения цементных и композиционных материалов.

Приоритет в использовании техногенных отходов в строительстве должен отдаваться таким материалам, которые не имеют токсичности и радиоактивности, обладают стабильным химическим составом и физическими свойствами, определяющими основные направления их применения.

Одним из направлений решения этой задачи являются расширение производства и применение в строительстве эффективных материалов и изделий на основе вторичных минеральных ресурсов. Это обусловлено широким распространением и дешевизной твердых отходов и шлаков металлургической и угольной промышленности на территории Донбасса, простотой их переработки, высокой эффективностью и технологичностью [2, 4].

Однако широкое применение техногенных отходов сдерживается определенной нестабильностью и неоднородностью многих побочных продуктов промышленности, что, в свою очередь, может привести к снижению качества строительной продукции. На изменчивость свойств отходов промышленности оказывают влияние не только условия их образования, но также химико-минералогический состав, условия и длительность хранения в отвалах и шламонакопителях. Известно, например, что отвальные породы имеют значительную неоднородную усадку вследствие неоднородного гранулометрического состава и низкой прочности перегоревшего материала. Это приводит к деформациям и разрушениям конструкций, сужению области технологического применения отвальных пород и шлаков [1, 3, 4].

**Цель работы** – исследование возможности использования отходов горного и промышленного производства в качестве основного компонента закладочных смесей для заполнения выработанного пространства.

Одним из перспективных направлений использования тонкодисперсных шлаков и измельченных отвальных пород является применение их в качестве активаторов твердения и наполнителей в производстве цементных, композиционных строительных растворов и тампонажно-закладочных смесей. В качестве промышленных отходов используемых в тампонажно-закладочных смесях, применяются горелые и не горелые породы, шламы обогатительных фабрик, золы уноса ТЭС, а также отвальные шлаки металлургической промышленности [2]. Возможность использования в растворах отвального доменного шлака в качестве базового сырья аргументировано тем, что он включает широкий спектр минералов, в том числе гидравлически активных, что позволяет исполь-

зовать шлак в качестве основного компонента закладочной смеси без потери гидравлической активности.

Исследования механизмов усадки глинопородных и глиношлаковых суспензий в процессе гидратации и твердения цементных композиций позволили разработать технологические регламенты применения шлаков с целью получения технологичных и высококачественных строительных тампонажных безусадочных растворов. Более того, анализ механизмов действия усадки на различных уровнях формирования структуры массива и оптимизация составов позволяют в определенном смысле управлять процессами структурообразования и набора прочности материалов с целью получения материалов с заданными физическими свойствами [1].

При исследовании прочности материала и кинетики набора прочности придавалось особое значение разработке новых рецептур тампонажно-закладочных смесей, которая велась по показателю пластической прочности.

Пластическая прочность выбрана в качестве параметра в силу того, что при стабилизации суспензии глинистым раствором и минимальном содержании цемента тампонажно-закладочные смеси не будут иметь жесткий каркас и прочность на одноосное сжатие не будет показателем их свойств. Пластическую прочность определяли по методу Ребиндера путем измерения глубины погружения конуса пенетрометра с заданным углом и заданной приложенной нагрузкой. Расчет пластической прочности производили по формуле [3]:

$$P_m = K_\alpha \cdot \frac{F}{h^2},$$

где  $P_m$  – пластическая прочность, Па;

$K_\alpha = \frac{1}{\pi} \cos^2 \frac{\alpha}{2} \operatorname{ctg} \frac{\alpha}{2}$  – коэффициент, зависящий от угла конуса;

$\alpha$  – угол при вершине конуса;

$F$  – вес погружаемой системы, Н;

$h$  – глубина погружения конуса в закладочный раствор, мм.

Поскольку рассматриваемые отходы производства в исходном виде непригодны для использования в тампонажно-закладочных смесях, необходим их помол до крупности, сравнимой с крупностью глинистых частиц. Помол производился в лабораторной шаровой мельнице.

При проведении экспериментальных исследований использовались отходы различного кристаллохимического строения.

Для разработки тампонажно-закладочных смесей в качестве базового сырья использовали отходы:

- молотую породу отвала (шахта «Центральная»);
- горелую породу отвала (шахта «Центральная»);
- отвальный шлак (ОАО «АМК»).

В качестве добавки использовался бентонитовый глинопорошок, а в качестве вяжущего – портландцемент М400.

Методика исследования пригодности рассматриваемых материалов, как базовой суспензии тампонажно-закладочной смеси, заключалась в следующем. Прежде всего проводилось исследование гранулометрического и химического составов. Затем были произведены измерения плотности полученных тампонажно-закладочных смесей, после чего их для набора прочности на 15 суток поместили в ванну с гидравлическим затворением. Пластическую прочность тампонажно-закладочных смесей измеряли на 1, 7, 10, 15 и 20 сутки от момента затворения.

В таблицах 1 и 2 приведены исследования гранулометрического и химического составов отходов производства.

Таблица 1 – Гранулометрический состав отходов производства

Наименование материала	Состав (%) по фракциям, мм				Модуль крупности, мм
	0,1-0,5	0,05-0,1	0,005-0,5	<0,005	
Шахта «Центральная»					
Порода отвала	4,83	21,61	50,91	22,65	0,035
Горелая порода отвала	4,50	31,58	44,80	10,24	0,040
ОАО «АМК»					
Молотый отвальный шлак	0,29	2,05	20	65,5	1,14

Таблица 2 – Химический состав отходов производства, %

Наименование	п.п.п	SiO <sub>2</sub>	SO <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	K <sub>2</sub> O+Na <sub>2</sub> O
Шахта «Центральная»								
Порода отвала	11,6	52,7	4,0	8,9	18,6	3,5	1,9	5,6
Горелая порода отвала	8,1	52,8	3,8	8,4	19,0	2,7	1,7	3,5
ОАО «АМК»								
Молотый отвальный шлак	2,5	38,6	–	–	8,6	44,7	5,6	–

При проведении испытания образцов закладочных смесей на базе отходов производства изменяемым параметром было наличие в составе закладочной смеси цемента. Полученные образцы исследовались на растекаемость и набор пластической прочности во времени.

Диаметр расплыва закладочной смеси с использованием отвального шлака определялся при помощи вискозиметра Сутгарда (рисунок 1). Его величина составила 10-11 см.

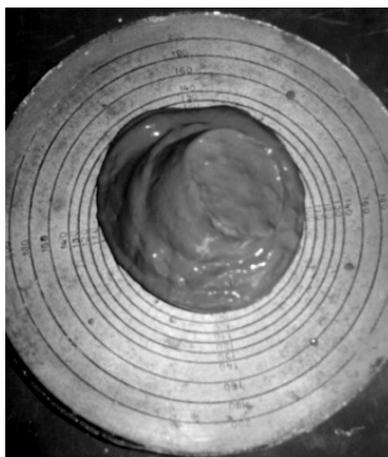


Рисунок 1 – Определение диаметра расплыва суспензии вискозиметром Сутгарда

Первые измерения пластической прочности при помощи пенетрометра произвели на 1 сутки, затем на 7 суток от начала затворения. Конус пенетрометра погружали в испытуемый образец по три раза. Это видно на рисунке 2 по оставленным характерным отверстиям. Испытания повторяли на 10, 15 и 20 сутки.



Рисунок 2 – Образец тампонажно-закладочной суспензии, испытанный пенетрометром на 1, 7, 10, 15 сутки

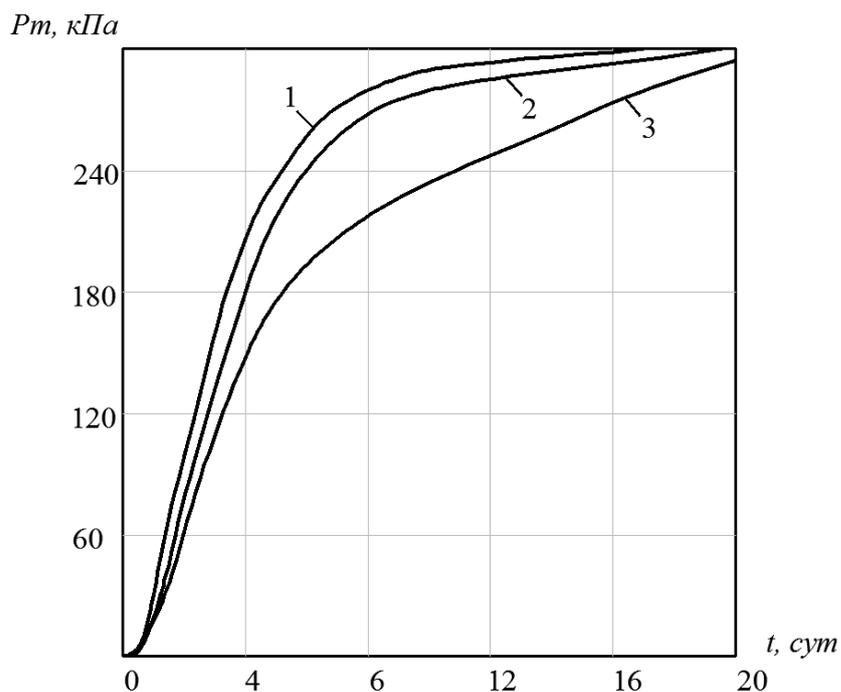
Это позволило определить оптимальный состав рецептур на базе отвальных пород и шлаков с целью улучшения технологических

свойств смесей для получения требуемой прочности тампонажно-закладочных составов растворов при минимальном расходе вяжущего (таблица 3).

Таблица 3 – Составы и свойства рецептур тампонажно-закладочных смесей

№ п.п.	Параметры смесей	Значения		
		На базе породы отвалов	На базе горелой породы	На базе отвалных шлаков
1	2	3	4	5
1	Количество отходов, кг/м <sup>3</sup>	818	816	820
2	Количество бентонита, кг/м <sup>3</sup>	5,9	5,9	10
3	Количество воды, кг/м <sup>3</sup>	626	626	625
4	Плотность базовой суспензии, кг/м <sup>3</sup>	1450	1450	1455
5	Количество цемента, кг/м <sup>3</sup>	40	40	20
6	Плотность раствора, кг/м <sup>3</sup>	1474	1474	1460
7	Пластическая прочность, кПа через 10 сут	296	286	237
8	Динамическое напряжение сдвига, Па	60	47	42
9	Структурная вязкость, 10 <sup>-3</sup> Па·с	46	52	54
10	Допустимая пластическая прочность, кПа	32,9	31,7	35,6
11	Усадка, %	0	0	0
12	Растекаемость, см	9-10	10-11	10-11
13	Угол естественного откоса, град	15	12	17

Зависимости пластической прочности разработанных закладочных смесей от времени приведены на рисунке 3.



1 – порода отвала; 2 – горелая порода; 3 – отвальный шлак

Рисунок 3 – Зависимость пластической прочности закладочных смесей от времени

С целью расширения масштабов применения материала шлаковых и породных накопителей в строительстве, в настоящее время разрабатывается и интенсивно внедряется ресурсосберегающая технология применения безусадочных глинопородных суспензий при ликвидации подземных пустот.

Технологическая схема подготовки тампонажно-закладочных материалов не требует установки сложного оборудования. Основными операциями являются [4]:

- отбор партий породы из шламонакопителя или отвала;
- механическое разделения на фракции и при необходимости дополнительное дробление;
- доставка материала в бункеры для усреднения химического состава;
- приготовление глинопородной суспензии для медленного использования либо ее транспортировки;
- введение в смесь минимального количества цемента;
- укладка закладочного материала;
- отбор проб для проведения контроля за плотностью и пластической прочностью массива.

**Выводы.** Исходя из результатов проведенных исследований было доказано, что тампонажно-закладочные смеси на базе отходов производства полностью соответствуют предъявляемым требованиям прокачиваемости и набора прочности.

Из представленных данных следует, что для получения закладочного массива с пластической прочностью 250 – 400 кПа достаточным количеством цемента является 1 – 4 % от массы заполнителя.

Таким образом, в результате применения шлаков и отвальных пород, строительные предприятия могут не только получать высокий экономический эффект за счет низкой стоимости основного материала, экономии цемента и повышения качества строительных растворов, но и способствуют значительному улучшению экологической обстановки вблизи предприятий металлургической, угольной промышленности и энергетических комплексов.

### **Библиографический список**

1. Кипко Э. Я. *Комплексный метод тампонажа при строительстве шахт: учеб. пособ.* / [Э. Я. Кипко, П. Н. Должиков, Н. А. Дудля, А. Э. Кипко и др. – 2-е изд., перераб. и доп.]. – Днепропетровск: Национальный горный ун-т., 2004. – 367 с.

2. Должиков П. Н. *Исследование реологических и структурно-механических свойств тампонажных растворов на базе промышленных отходов для заполнения горных выработок* / П. Н. Должиков, В. А. Курнаков // *Науковий вісник НГА України.* – 2001. - №1. – С. 10-13.

3. Кипко Э. Я. *Проектирование глиноцементных тампонажных растворов в горном деле: монография* / Э. Я. Кипко, Н. А. Дудля, Н. Н. Тельных, А. В. Попов, Е. Г. Цаплин. – Днепропетровск: Издательский дом «Андрей», 2008. – 176 с.

4. Кипко Э. Я. *Комплексная технология ликвидации наклонных горных выработок: монография* / Э. Я. Кипко, П. Н. Должиков, В. Д. Рябичев. – Донецк: Норд-Пресс, 2005. – 220 с.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф. Дроздом Г.Я.*