

УДК 662.7.622

## НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УТИЛИЗАЦИИ ХВОСТОВ ГИДРОМЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ПРОИЗВОДСТВА В ВЫРАБОТАННЫЕ ПРОСТРАНСТВА И ХВОСТОХРАНИЛИЩА

© 2014 г. В.И. Ляшенко

ГП «УкрНИПИИпромтехнологии», г. Желтые Воды, Украина

Статья поступила в редакцию 26.09.12 г., доработана 09.11.12 г., подписана в печать 13.11.12 г.

Приведены научные и практические результаты исследования и разработки новых технологий утилизации хвостов гидрометаллургического производства в выработанные пространства и хвостохранилища на основе их иммобилизации (отвердения). Определены и испытаны рецептуры твердеющих смесей, выполнена оценка их прочности. Показано, что скорость повышения прочности растёт при увеличении расхода шлака и времени выдержки твердеющей смеси.

**Ключевые слова:** урановые месторождения, утилизация, прочность, закладка, вяжущее, хвосты, выработанное пространство, хвостохранилища, иммобилизация (отвердение).

The scientific and practical results are given concerning the investigation and development of new processes of reject material recovery after the hydrometallurgical production into goafs and tailing dumps on the basis of their fixation (hardening). The formulas of hardening mixtures are determined and tested and the estimation of their strength is carried out. The strength rising rate is shown to grow when slag input and holding time of hardening mixture increases.

**Key words:** uranium deposits, recovery, strength, backfill, bonding material, tailings, goaf, tailing dumps, fixation (hardening).

### ВВЕДЕНИЕ

При отработке урановых месторождений подземным способом широко применяются системы с закладкой выработанного пространства твердеющими смесями. Затраты на закладочные работы в себестоимости добычи руды составляют 11–13 %, при этом на долю вяжущего приходится 40–60 % всех расходов на производство закладочного материала [1, 2]. Переработку уранового минерального сырья осуществляют на гидрометаллургическом заводе (ГМЗ), территориально расположенном на площадке предприятия ГП «ВостГОК» (Украина), отрабатывающего запасы месторождения урановых руд подземным способом.

Недостатком существующей технологии отработки урановых месторождений является накопление на дневной поверхности в отвалах пустой породы и хвостохранилищах большого количества отходов ГМЗ, что оказывает вредное воздействие на окружающую среду и население, проживающее в зоне влияния урановых объектов, например в Кировоградской обл. (Украина), имеющей развитое

сельскохозяйственное производство и плодородные почвы в районах добычи и первичной переработки уранового сырья. Поэтому охрана окружающей среды на основе новых методов утилизации отходов, обеспечивающих повышение безопасности жизнедеятельности в уранодобывающем и перерабатывающем регионах, снижение затрат на закладочные работы, — важная научная, практическая и социальная задача, требующая неотлагательного решения [3].

Цель настоящей работы — исследование и разработка новых технологий утилизации хвостов гидрометаллургического производства в выработанные пространства и хвостохранилища на основе их иммобилизации (отвердения), определение рецептур твердеющих смесей, оценка их прочности для заполнения подземного выработанного пространства и карт поверхностных хвостохранилищ.

В отечественной практике отходы ГМЗ складываются в специально оборудованных местах (хвостохранилищах), расположенных как на территории

Ляшенко В.И. — канд. техн. наук, ст. науч. сотр. ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» (52204, Украина, Днепропетровская обл., г. Желтые Воды, ул. Петровского, 37). E-mail: vi\_lyashenko@mail.ru.

рудоперерабатывающего предприятия (в пределах единой промплощадки), так и за ее границами. По способу укладки хвостов действующие нормативные документы допускают 3 вида хвостохранилищ:

— намывные, когда основная часть ограждающей дамбы намывается из переработанного рудного материала;

— наливные — дамба возводится из привозных или инертных местных материалов, а пульпа заливается в образуемую чашу;

— комбинированные — перспективный способ, при котором отходы переработки укладываются в специально оборудованное естественное углубление с ограждающей дамбой, часть которой сооружается из инертных грунтов, а часть отсыпается из переработанного рудного материала в смеси с вяжущим.

Для определения возможности использования хвостов ГМЗ в составе твердеющей смеси в качестве заполнителя по принятым методикам были определены их физико-химические свойства. Результаты приведены в табл. 1, из которой видно, что хвосты ГМЗ отличаются от песка только более низким мо-

дулем крупности. Гранулометрический состав пробы хвостов был следующим:

+0,15 мм.....	5 %
–0,15+0,074 мм.....	23 %
–0,074 мм.....	72 %

Образцы для испытаний получали из закладочной смеси на основе вяжущего, содержащего шлакопортландцемент (ГОСТ 10178-85) и доменный шлак Криворожского металлургического завода (сегодня ОАО «АрселорМиттал Кривой Рог», Украина), и заполнителя, в качестве которого использовались кислые и нейтрализованные хвосты ГМЗ, имеющие следующий гранулометрический состав:

+0,15 мм.....	4,0 %
–0,15+0,074.....	19,8–41,8 %
–0,074+0,043.....	22,0–30,0 %
–0,043+0,005.....	30,0–40,0 %
–0,005.....	2,2 %

а также дробленая забалансовая по содержанию полезного компонента руда (табл. 2, 3).

### ОПРЕДЕЛЕНИЕ РЕЦЕПТУРЫ И ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ТВЕРДЕЮЩИХ СМЕСЕЙ

Для проведения исследований была отобрана проба хвостов в объеме нескольких тонн на пляжной зоне действующего хвостохранилища ГМЗ в балке «Щербаковская», где откладываются наиболее крупные частицы по следующим классам:

+0,15 мм.....	13,5 %
–0,15+0,074 мм.....	42,3 %
–0,074 мм.....	44,2 %

В качестве вяжущего использовался сухой шлакоцемент М-200, производимый Криворожским цементным заводом (Украина). В лабораторных и натуральных условиях определялись следующие параметры: зависимости прочности твердеющей смеси от количества вяжущего и солевого состава воды, водопроницаемость, морозо- и сульфатоустойчи-

Таблица 1  
Характеристики заполнителя твердеющей смеси

Показатель	Песок	Хвосты	
		ГМЗ	ОФ
Прочность на сжатие, МПа	150	150	150
Модуль крупности, ед.	0,2–1	0,02	0,03
Плотность, т/м <sup>3</sup>	2,65	2,65	3
Насыпной вес, т/м <sup>3</sup>	1,30–1,4	1,3–1,4	1,6–1,7
Содержание глины, %	5–7	5–7	8–10
Влажность, %	9	9	10

Таблица 2  
Характеристики доменного шлака

Химический состав, мас. %				Модуль основности	Модуль активности
SiO <sub>2</sub>	CaO	MgO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>		
38,66	45,92	5,92	2,83	1,24	0,073

Таблица 3  
Химический состав хвостов ГМЗ

Содержание, мас. %										
SiO	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	FeO	CuO	Mg	TiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	Na <sub>2</sub> O	K <sub>2</sub> O	MgO
60,2–63,6	2,3–3,0	0,29–0,72	2,69–6,80	0,64–1,66	0,244–0,259	17,36–19,81	0,752–0,809	6,21–7,29	0,384–0,500	1,69–2,95

вость массива. Для экспериментов было приготовлено 204 образца (кубика) с различным количеством шлакоцемента (50, 65, 80, 95, 110, 125, 140, 155 кг на 1 м<sup>3</sup> твердеющей смеси). Подвижность приготовленной смеси оценивалась конусом «СтройЦНИЛ» и соответствовала 8–10 мм. После хранения на воздухе при температуре 15–20 °С и влажности 70–90 % образцы испытывались на прочность при одноосном сжатии в течение 360 дней. После этого из лабораторного образца макета дамбы были выбурены керны, у которых также определялась прочность твердеющей смеси в зависимости от расхода вяжущего (табл. 4).

Для установления характера связи между этими показателями строились эмпирические уравнения регрессии, по виду которых искомая зависимость может быть представлена как

$$\delta = \delta_0 e^{\beta q}, \quad (1)$$

где  $\delta$  — прочность твердеющей смеси, МПа;  $\delta_0$  — прочность исходного материала твердеющей смеси, МПа;  $\beta$  — эмпирический коэффициент;  $q$  — расход вяжущего материала, кг/м<sup>3</sup>.

Проведенные расчеты позволили установить зависимость между прочностью твердеющей смеси и расходом вяжущего для разных условий экспериментов: в одном случае опыты проводились на образцах в лабораторных условиях, а в другом — на кернах, отобранных через 1 год на сооруженной дамбе. Соответствующие уравнения выглядят следующим образом:

$$\delta_{\text{лаб}} = 0,446 e^{0,0141q}, \quad (2)$$

$$\delta_{\text{кern}} = 1,235 e^{0,0077q}. \quad (3)$$

Исследуя полученные зависимости, можно отметить значительное отличие параметров, характеризующих исходную прочность смеси, которое обусловлено тем, что факторы, определяющие  $\delta$ , в

Таблица 4  
Зависимость прочности (МПа) твердеющей смеси от количества вяжущего

Вид образца	Расход шлакоцемента, кг/м <sup>3</sup> смеси							
	50	65	80	95	110	125	140	155
Лабораторные образцы	1,2	1,2	1,5	1,8	2,2	2,6	3,1	3,9
Выбуренные керны	1,8	2,0	2,3	2,3	2,8	3,6	3,8	4,5

лабораторных и натуральных условиях значительно отличаются. Это связано в первую очередь с физико-механическими условиями обеспечения прочности смеси без вяжущего в лабораторных и промышленных вариантах.

Местом складирования хвостов переработки руд с вяжущим рассматривалась воронка обрушения объемом около 18 млн м<sup>3</sup>, образованная в процессе разработки Желтореченского железорудного месторождения системами принудительного обрушения руд и вмещающих пород (шахта «Новая», Украина) [2, 4, 5]. В этом случае прочность твердеющей смеси после схватывания должна предотвратить разрушение массива от механических воздействий взрывов и опускание разрушенных пород. Но в то же время полное разрушение массива до исходных размеров его компонентов нежелательно, как и образование прочного, неразрушающего массива (корки), для исключения возможных горных ударов.

Прочность смеси (заполнителя) зависит от количества вяжущего и изменяется по экспоненте согласно выражению

$$\delta_3 = \delta_0 e^{0,058q}, \quad (4)$$

где  $\delta_0$  — прочность заполнителя без добавки цемента, кгс/см<sup>2</sup>;  $q$  — удельный расход цемента (М-400), кг/м<sup>3</sup>.

На основании проведенных исследований, лабораторных и промышленных испытаний можно сделать следующие выводы:

— скорость повышения прочности твердеющей смеси при увеличении расхода шлака и времени выдержки возрастает;

— для достижения прочности твердеющей смеси 0,6 МПа за 90 дней необходимо 100 кг/м<sup>3</sup> шлака, а за 360 дней — 50 кг/м<sup>3</sup>.

После схватывания образцов твердеющей смеси в натуральных условиях опалубка была снята и кубы имели необходимую прочность на сжатие ( $\sigma_{\text{сж}} = 2 \div \pm 3$  МПа). После 3 и более лет пребывания на открытом воздухе образцов из смеси, содержащей 50–70 кг/м<sup>3</sup> шлака, происходит частичное, а иногда и полное разрушение образцов под воздействием погодных условий.

Для проведения натуральных испытаний твердеющей смеси на основе хвостов обогатительной фабрики (ОФ) шахты «Новая» на пляжной зоне хвостохранилища были отобраны пробы хвостов со следующим гранулометрическим составом:

+0,15 мм.....	14,8 %
-0,15+0,074 мм.....	43,1%
-0,074 мм.....	42,1 %

На их основе были приготовлены 3 образца (по 1 м<sup>3</sup> каждый) с молотым гранулированным доменным шлаком в качестве вяжущего. Тонина помола шлака была аналогичной описанной выше для смеси на основе хвостов ГМЗ, но его количество по образцам было больше — 89, 100 и 120 кг/м<sup>3</sup>. Приготовленная смесь укладывалась в деревянную опалубку, которая снималась после схватывания смеси. Образцы оставались на открытом воздухе для определения влияния атмосферных условий на их состояние и в течение 1 года подвергались воздействию 50 циклов замораживания—оттаивания.

После 3 лет испытаний внешний вид образцов показал лучшую сохранность их поверхности по сравнению с образцами на основе хвостов ГМЗ. Это можно связать с увеличением в них количества вяжущего.

Таким образом, рекомендуется следующая композиция твердеющей смеси :

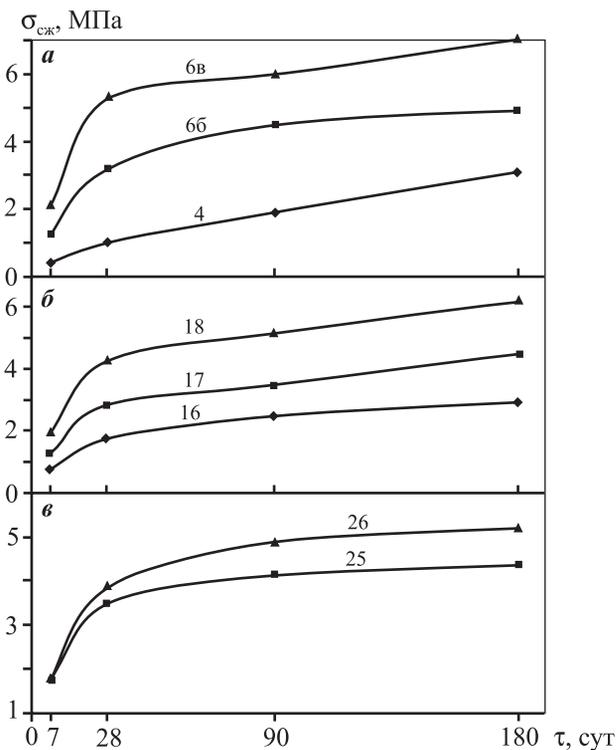
Песковая часть хвостов ОФ, кг/м <sup>3</sup> .....	1350—1500
Молотый гранулированный шлак, кг/м <sup>3</sup> .....	50—70
Вода затворения, л/м <sup>3</sup> .....	350

По результатам проведенных исследований был определен оптимальный состав закладочных смесей, обеспечивающий достижение нормативной прочности при минимальном расходе вяжущего, в качестве которого служит цемент, а заполнителем являются кислые или нейтрализованные хвосты и дробленая порода (рис. 1).

### ТЕХНОЛОГИЯ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ И ОРГАНИЗАЦИЯ СКЛАДИРОВАНИЯ ОТХОДОВ ПЕРВИЧНОЙ ПЕРЕРАБОТКИ УРАНОВОГО СЫРЬЯ

Анализ деятельности промышленных предприятий показывает, что основной вклад в загрязнение окружающей среды при добыче и переработке полезных ископаемых вносят отходы переработки руд — хвосты, представляющие собой частицы, измельченные до крупности менее 15 мм, легко разносимые ветром с высохших участков хвостохранилищ. По данным санитарно-эпидемиологической станции (г. Кривой Рог, Украина), запыленность воздуха при средней скорости ветра 7—8 м/с составляет 30—37 и 1—6 мг/м<sup>3</sup> на расстоянии 100 и 1000 м от сухого пляжа хвостохранилища. Такие пляжи имеются при любом способе складирования хвостов — как при намывном, так и при наливном, и представляют наибольшую опасность для экологии. Их площади составляют десятки и даже сотни гектаров и являются основным источником пылевого загрязнения территории, прилегающей к хвостохранилищам [6—10]. При средней скорости ветра 3,5 м/с с 1 га такого пляжа может быть поднято в воздух 2,5—5,0 т пыли за 1 сут, а при 5,0 м/с — более 5 т/сут. В хвостах переработки урановой руды остается до 99,8 % естественных радионуклидов от их исходного содержания в руде, поэтому в местах их складирования происходит загрязнение прилегающей территории этими опасными веществами (Ra-226, Th-230, Pb-210, Po-210, U-238, Ka-40 и др.) (табл. 5).

В практике деятельности предприятий при обращении с отходами переработки радиоактивных материалов наиболее полно применяется метод



**Рис. 1.** Зависимость прочности закладки на сжатие от времени твердения выборочных из исследуемых 49 составов образцов, у которых в качестве вяжущего использовался цемент, а заполнителем служили нейтрализованные хвосты ГМЗ (а), дробленая порода (б), и смесь кислых хвостов ГМЗ и дробленой породы (в)

Обозначения кривых соответствуют номерам исследуемых составов образцов

Таблица 5  
Содержание радионуклидов в хвостах ГМЗ

Естественный радионуклид	Содержание	
	Твердая фаза, Бк/кг	Жидкая фаза, Бк/дм <sup>3</sup>
Ra-226	454–12789	1,2–3,7
Th-230	2197–9768	0,09–0,38
Pb-210	8639–13634	0,05–0,24
Po-210	7955–11936	0,04–0,22
U-238	2516	0,02–0,10
Суммарная α-активность	1100–27800	–

иммобилизации (отверждения), позволяющий значительно снизить их выщелачиваемость, стабилизировать физико-механические и радиологические свойства. Также проводятся исследования и поиск других перспективных способов отверждения отходов гидromеталлургического передела и укладки хвостов в хранилище.

Так называемую сухую укладку искусственного массива в хранилище отходов из хвостов ГМЗ предлагается вести блоками объемом, равным месячной производительности комплекса подготовки хвостов к иммобилизации, что соответствует требованиям радиационной безопасности. После укладки блок оставляется на 1 мес для «набора прочности», а в это время укладывается соседний. Необходимая прочность для формирования массива хранилища твердых отходов с последующей работой техники на его поверхности при рекультивации должна составлять 2–3 МПа для верхнего несущего слоя и 1,0–1,5 МПа для остальных.

На площадках шахты «Новоконстантиновская» ГП «ВостГОК» предусмотрено строительство комплексов по обезвоживанию хвостов и приготовлению закладочной смеси, где может быть применена предлагаемая технология. В структуре каждого из них предполагается наличие корпуса обезвоживания, 3 сгустителей диаметром 50 м с насосной станцией, узла смешения и силосного склада цемента общей емкостью 6000 т.

Технологическая схема приготовления смеси с использованием хвостов ГМЗ для закладки выработанного пространства и их хранения в иммобилизованном виде приведена на рис. 2 (показатели обезвоживания хвостов уточняются опытным путем).

Согласно оценкам, при производительности предприятия 1500 тыс. т/год 50–55 % хвостов утили-

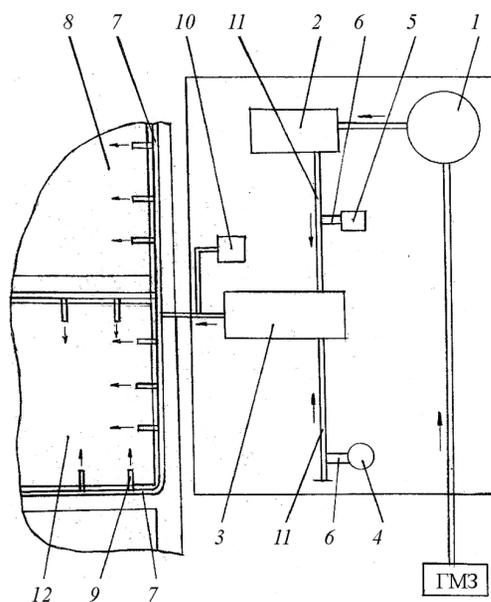


Рис. 2. Схема подготовки хвостов к иммобилизации и обезвоживанию на картах хвостохранилища  
1 – корпус обезвоживания; 2 – сгуститель; 3 – смеситель; 4, 5, 10 – бетононасосы; 6 – дозаторы; 7 – бетонопровод; 8, 12 – карты хвостохранилища; 9 – отводы; 11 – конвейер

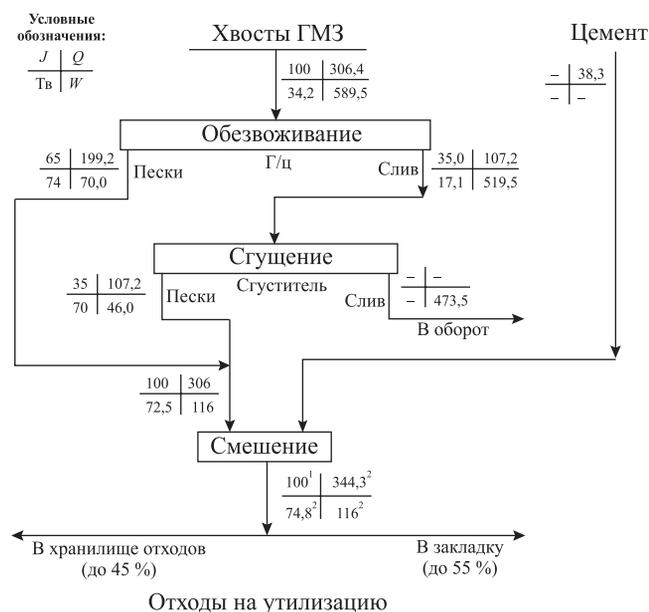


Рис. 3. Принципиальная технологическая схема приготовления смеси с использованием хвостов ГМЗ для закладки выработанного пространства и хранения хвостов в иммобилизованном виде  
J – частный выход от исходного продукта, %; Q – количество продукта, т/ч (без учета извести, идущей на нейтрализацию); T<sub>B</sub> – содержание твердого в продукте, %; W – количество воды в продукте, м<sup>3</sup>/ч; Г/ц – гидроциклоны

<sup>1</sup> Только для хвостов.  
<sup>2</sup> Показатели для смешанного продукта.

зируется в составе закладочной смеси в выработанные пространства (830 тыс. т/год), а остальная часть в отвержденном (иммобилизованном) состоянии складывается в хранилище (670 тыс. т/год) (рис. 3).

## ОЦЕНКА ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

В лабораторных условиях испытано 49 составов закладочных смесей, в том числе 9 — с вяжущим цементом и заполнителем из нейтрализованных хвостов ГМЗ (г. Желтые Воды, Украина), имеющих следующие характеристики:

Крупность помола.....	58 % кл. 0,074 мм
Удельный вес, кг/м <sup>3</sup> .....	2460—2900
Плотность, кг/м <sup>3</sup> .....	1600—1650
Влажность, %.....	20—25

Нейтрализованные хвосты отбирались с пляжа хвостохранилища с рН = 7÷8, не нейтрализованные — непосредственно на ГМЗ из пачука сорбции с рН = 3. Вода применялась как техническая, так и питьевая. На основании проведенных исследований для закладки выработанного пространства рекомендуются следующие составы твердеющей смеси:

Цемент, кг/м <sup>3</sup> .....	200—400
Нейтрализованные хвосты ГМЗ, кг/м <sup>3</sup> .....	1360—1450
Вода затворения, л/м <sup>3</sup> .....	400

Прочность образцов в течение 6 мес изменялась от 3,1 до 7,0 МПа (см. рис. 1, а). При применении кислых хвостов ГМЗ в количестве 950 кг добавлялась дробленая порода от 350 до 400 кг. В этом случае  $\sigma_{сж} = 4,8 \div 5,2$  МПа (см. рис. 1, б). Закладочные смеси, где вяжущее — цемент, а заполнитель — хвосты ГМЗ и дробленая порода, показали наилучшие результаты. Образцы, где в качестве заполнителя используются хвосты ГМЗ, а вяжущего — цемент или граншлак, набирают в течение 6 мес твердения нормативную прочность, сопоставимую с прочностными свойствами песчано-шлаковых закладочных смесей.

Таким образом, результаты исследования твердеющих смесей, приготовленных на основе хвостов ГМЗ, для сооружения макета дамбы хвостохранилища показали:

— контакт дамбовой воды и технической с твердеющей смесью в пределах исследованного диапазона концентрации солей и времени не разрушает ее и не влияет на ее прочность;

— коэффициент фильтрации смеси составляет менее 1 см/сут;

— прочность твердеющей смеси, приготовленной на дамбовой воде, на 25 % выше, чем в случае использования технической воды;

— прочность выбуренных из массива дамбы кернов после 1 года пребывания на открытом воздухе практически не изменилась и составила 2,0—2,3 МПа;

— твердеющая смесь после 100 циклов замораживания—оттаивания получила незначительное «шелушение» поверхности и сохранила форму, а значит, в соответствии со СНиП-56-76 считается морозоустойчивым материалом.

Результаты исследований возведения дамбы хвостохранилища из расчета расхода компонентов на 1 м<sup>3</sup> смеси: хвосты ГМЗ — 1350÷1500 кг, вяжущее (цемент) — 50÷70 кг и вода — 350 л, могут быть полезны для определения технологии приготовления смеси, выбора ее состава и схемы заполнения карт поверхностных хранилищ на основе хвостов ГМЗ.

По полученным в работе данным рекомендованы составы твердеющих смесей (из расчета на 1 м<sup>3</sup> смеси) для закладки выработанного пространства при расположении камер по простиранию рудных залежей (система подэтажных штреков), вкрест простирания (система подэтажных ортов) и при

Таблица 6  
Составы твердеющих смесей, кг/м<sup>3</sup>

Номер состава смеси	Нейтрализованные хвосты ГМЗ	Цемент М-200	Вода затворения	Дробленая порода	Кислые хвосты ГМЗ
<b>Закладка выработанного пространства</b>					
Система подэтажных штреков					
1	1400	200	400	—	—
2	—	200	400	1500	—
3	—	350	400	400	950
Система подэтажных ортов					
4	1400	350	400	—	—
5	—	300	400	1500	—
6	—	400	400	350	950
Слоевая система с восходящим порядком отработки					
7	—	250	400	1500	—
<b>Укладка на хвостохранилище</b>					
8	1600—1800	200	350	—	—

слоевой системе с восходящим порядком отработки, а также для укладки на хвостохранилище, приведенные в табл. 6.

Таким образом, наиболее перспективным направлением снижения загрязнения окружающей среды следует считать утилизацию и использование твердых отходов переработки руд, что позволит уменьшить объемы и площади хвостохранилищ, а также снизить капитальные затраты. Результаты проведенных исследований использованы ГП «УкрНИПИИПромтехнологии» в проекте строительства шахты «Новокозачинская» ГП «ВостГОК» [10–12].

## ВЫВОДЫ

1. На основании проведенных исследований разработаны и рекомендуются следующие составы твердеющей смеси из расчета на 1 м<sup>3</sup>: цемент — 200÷÷400 кг, нейтрализованные хвосты ГМЗ — 1360÷÷1450 кг, вода затворения — 400 л. Прочность образца, испытанного в течение 6 мес на воздухе, изменялась от 3,1 до 7,0 МПа. При применении в смеси кислых хвостов ГМЗ в количестве 950 кг добавлялось от 350 до 400 кг дробленой породы, и такой образец показал прочность в пределах 4,8–5,2 МПа.

2. Установлено, что скорость повышения прочности твердеющей смеси при увеличении расхода шлака и времени выдержки возрастает. Для достижения величины прочности смеси 0,6 МПа необходимы 100 кг/м<sup>3</sup> шлака и выдержка 90 дней или 50 кг/м<sup>3</sup> и 360 дней.

3. Выявлено, что для безопасного ведения работ с применением самоходной техники рабочая поверхность искусственного массива твердеющей закладки должна иметь прочность 2,2–3,5 МПа при толщине слоя 15–20 см.

*Работа выполнена при активном участии сотрудников С.П. Фоминых, Ю.Н. Тархина, Н.А. Худошиной, Л.А. Ляшенко, В.З. Дятчина, А.Г. Скотаренко и др. (ГП «УкрНИПИИПромтехнологии»)*

## ЛИТЕРАТУРА

1. *Хомяков В.И.* Зарубежный опыт закладки на рудниках. М.: Недра, 1984.
2. *Слепцов М.Н., Азимов Р.Ш., Мосинец В.Н.* Подземная разработка месторождений цветных и редких металлов. М.: Недра, 1986.
3. Закладочные работы в шахтах: Справочник / Под ред. Д.Н. Бронникова, М.Н. Цыгалова. М.: Недра, 1989.
4. *Ляшенко В.И., Коваленко В.Н., Голик В.И.* и др. // Бесцементная закладка на горных предприятиях: Обз. инф. М.: ЦНИИЦветмет экономики и информации, 1992.
5. Добыча и переработка урановых руд / Под общ. ред. А.П. Чернова. Киев: Адеф-Украина, 2001.
6. *Голик В.И., Хадонов З.М., Габараев О.З.* Управление технологическими комплексами и экономическая эффективность разработки рудных месторождений: Владикавказ: Терек, 2001.
7. *Сорока М.Н., Савельев Ю.Я.* // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* 2004. № 5. С. 91–94.
8. *Сердюк А.М., Стусь В.П., Ляшенко В.И.* *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності населення у промислових регіонах України.* Днепропетровск: Пороги, 2011.
9. *Ляшенко В.И.* // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* 2011. № 5. С. 111–117.
10. *Ляшенко В.И., Коваленко Г.Д.* // *Экология и промышленность.* 2011. № 4. С. 29–35.
11. *Ляшенко В.И.* // *Цв. металлургия.* 2012. № 1. С. 3–20.
12. *Ляшенко В.И.* // *Металлург. и горноруд. пром-сть.* 2012. № 4. С. 87–91.