

В.И. Ляшенко, В.З. Дятчин, Ю.Н. Тархин

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ПОВЫШЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ЖИЗНЕДЕЯТЕЛЬНОСТИ В УРАНОДОБЫВАЮЩЕМ РЕГИОНЕ

Розглянуто результати науково-технічного обґрунтування підвищення безпеки життєдіяльності в уранодобувному регіоні шляхом використання технології закладних робіт для уранових шахт з урахуванням покращення екології у районах видобутку та переробки руд, раціонального складу закладного матеріалу, радіаційної оцінки його застосування та перспектив використання пастоподібної твердуючої суміші на базі хвостів гідрометалургійного виробництва.

Рассмотрены результаты научно-технического обоснования повышения безопасности жизнедеятельности в уранодобывающем регионе путем использования технологии закладочных работ для урановых шахт с учетом улучшения экологии в районе добычи и переработки руд, рационального состава закладочного материала, радиационной оценки его применения и перспектив использования пастообразной твердеющей смеси на основе хвостов гидрометаллургического производства.

The considered results of the making the research motivation saving technologies filling work for uranium mines with provision for improvements of the ecologies in region of the mining and conversion of ore on base of the motivation rational composition filling material.

Актуальность проблемы. При отработке рудных 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 затрат на производство закладочного материала [1]. Недостатком существующей технологии отработки урановых месторождений является накопление на дневной поверхности в отвалах пустой породы и хвостохранилищах отходов гидрометаллургической переработки урановой руды, что оказывает отрицательное воздействие на окружающую среду. Поэтому научно-техническое обоснование повышения безопасности жизнедеятельности в уранодобывающем регионе, путем использования технологии закладочных работ для урановых шахт с учетом улучшения экологии в районе добычи и переработки руд, рационального состава закладочного материала, радиационной оценки его применения и перспектив использования пастообразной твердеющей смеси на основе хвостов гидрометаллургического производства, представляет важную научную и практическую задачу, требующую неотлагательного решения.

Методика исследований. ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» в 1990-2000 годах проведены лабораторные исследования свойств закладочных смесей с использованием хвостов гидрометаллургического завода (ГМЗ) первичной переработки урановых руд, шлаковых и цементных вяжущих для заполнения выработанного пространства урановых шахт. Испытано 49 составов закладочных смесей, в том числе 9 составов с вяжущим цементом и заполнителем – нейтрализованные хвосты ГМЗ – крупностью помола 58% класса 0,074 мм, удельным весом 2460-2900 кг/м³, плотностью 1600-1650 кг/м³, влажностью 20-

25%. Нейтрализованные хвосты отбирались с пляжа хвостохранилища с pH=7-8, не нейтрализованные – непосредственно на ГМЗ из пачука сорбции с pH=3. Вода применялась как техническая, так и питьевая.

Стационарные закладочные комплексы (рис. 1) имеют годовую производительность 500 тыс. м³/год. Для снижения себестоимости в закладочную смесь добавляют дробленые до крупности 15 мм горные породы. Состав 1 м³ смеси: шлак – 200-300 кг; песок – 650-750 кг; порода дробленая – 750 кг; вода шахтная – 300-400 л.

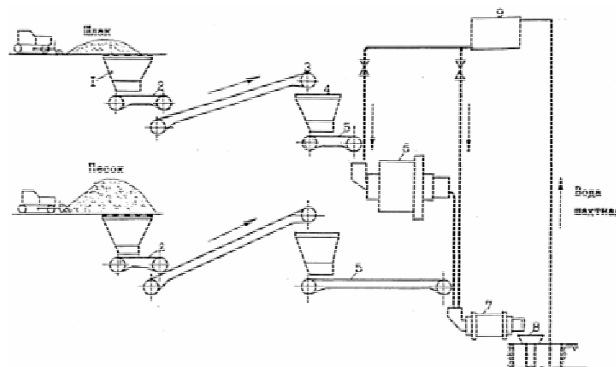


Рис. 1. Технологическая схема закладочного комплекса: 1 – бункер приемный; 2 – питатель; 3 – конвейер; 4 – бункер накопительный; 5 – дозатор; 6 – мельница шаровая; 7 – смеситель; 8 – воронка приемная; 9 – емкость для воды

Изучены вопросы дозирования мелкодисперсных влажных материалов, прочностных и фильтрационных свойств искусственного массива, а также радонвыделения. Прочностные характеристики смесей определяли по кубикам, изготовленным из смеси в специальных формах и по керновым образцам, выбу-

ренным из искусственного массива. Всего испытан 231 образец с соотношением вяжущего и заполнителя от 1/3 до 1/30 (от 60 до 350 кг/м³ вяжущего) в смеси. Образцы выдерживались при влажности 100% и естественной температуре (-18 ... +30 °С) и испытывали в возрасте 6 и 12 месяцев. В лабораторных условиях проведены исследования и определены коэффициент эманирования и эманлирующая способность образцов закладки с использованием хвостов ГМЗ, проверены их фильтрационные свойства.

Авторами установлена зависимость между прочностью твердеющей смеси и расходом вяжущего для двух экспериментов, один из которых был проведен на образцах в лабораторных условиях, а второй – по кернам, отобраным через 1 год твердения (рис. 2).

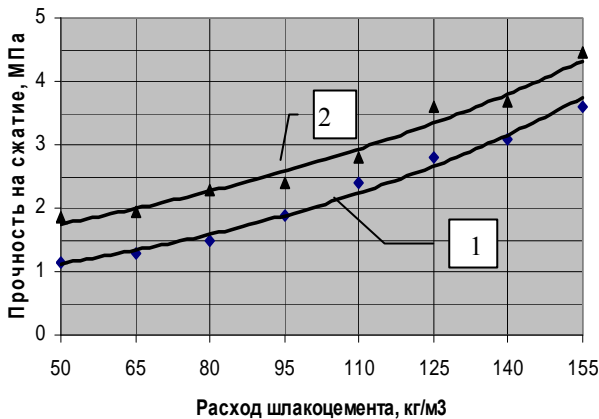


Рис. 2. Зависимость прочности твердеющей смеси в возрасте 1 года от количества вяжущего: 1 – лабораторные образцы; 2 – керны

Характеристика твердеющей закладочной смеси приведены ниже.

Прочность горизонтального обнажения закладки на изгиб определяется по формуле (рис. 3, а):

$$\sigma_{изг.} = \frac{l_{экв.г.}^2 \cdot \gamma_3}{4h_{сл}} \cdot \frac{K_3}{100 \cdot K_c \cdot K_{он}}, \quad (1)$$

где $\sigma_{изг.}$ – прочность закладки на изгиб, МПа; $l_{экв.г.}$ – эквивалентный пролет горизонтального обнажения закладки, м; $\gamma_3 = 2,0$ – плотность закладки, т/м³; $h_{сл} = 4-6$ – толщина нижнего монолитного слоя закладки, м; $K_3 = 2,0$ – коэффициент запаса прочности, ед.; $K_c = 0,8$ – коэффициент, учитывающий сейсмическое воздействие массовых взрывов, дол. ед.; $K_{он} = 0,8$ – коэффициент, учитывающий характер опоры закладочного массива для вторичных камер, дол. ед.; 4 и 100 – переходные коэффициенты.

Прочность вертикального обнажения закладки на сцепление определяется по формуле (рис. 3, б):

$$C = \frac{l_{экв.в}^2 \cdot \gamma_3}{2R} \cdot \frac{K_3}{100 \cdot K_c}, \quad (2)$$

где C – прочность закладки на сцепление, МПа; R – показатель устойчивости закладки (радиус кривизны). Для закладки $\sigma_{сж.} \leq 5,5$ МПа, $R = 15$, для $\sigma_{сж.} > 5,5$ МПа, $R = 20$; K_3 – коэффициент запаса прочности ($K_3 = 1,5$, так как прочность на сцепление менее ответственна, чем на изгиб); 2 и 100 – переходные коэффициенты.

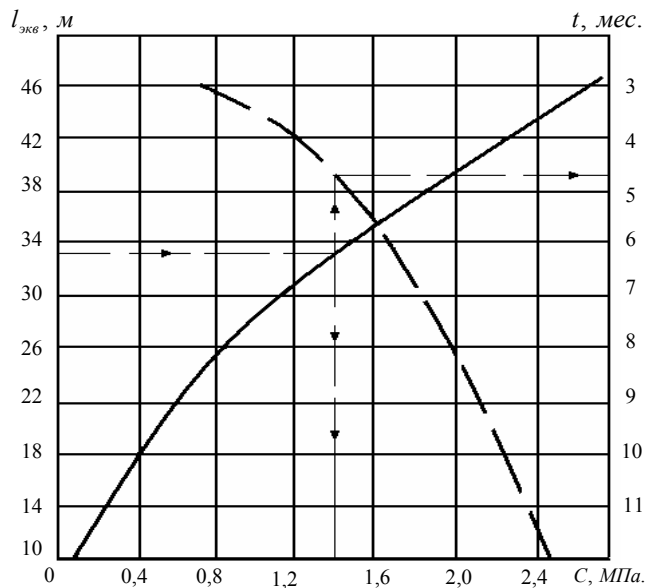
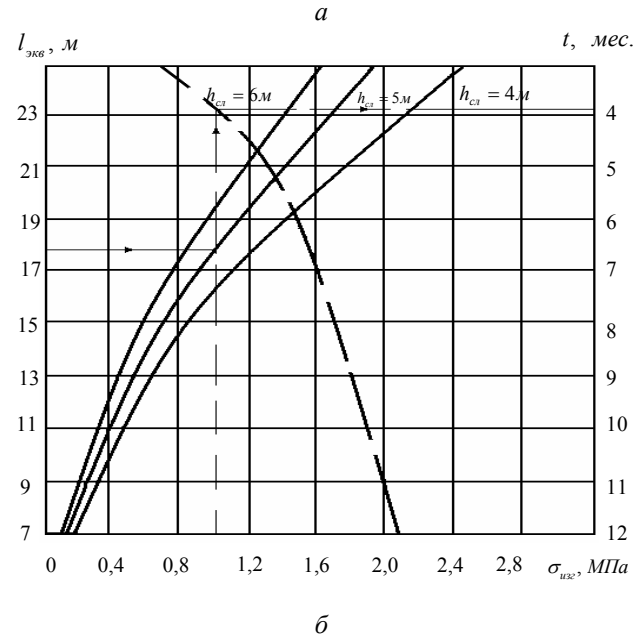


Рис. 3. Номограмма для определения нормативной прочности закладки: а – на изгиб и б – сцепление

Прочность целика из твердеющей закладки на сжатие определяется по формуле (рис. 4):

$$\sigma_{сж.} = \left(\frac{2\gamma_n \cdot h_{св}^2}{m} \cdot \frac{E_3}{E_n} + \gamma_3 \cdot m \cdot \cos \alpha \right) \cdot \frac{K_3}{100 \cdot K_{об} \cdot K_c}, \quad (3)$$

где $\sigma_{сж.}$ – прочность закладки на сжатие, МПа; $\gamma_n = 2,7$ – плотность пород, т/м³;

$h'_{св} \approx (0,25 - 0,5) \cdot h_{св}$ – приращение высоты свода разгрузки при отработке последующей камеры, м; высота свода разгрузки определяется по формуле: $h_{св} = \frac{(H + m)}{6}$, м; m – мощность залежи, ширина очистного пространства, H – высота выработанного пространства, м; $E_3 = 3,0 \cdot 10^3$ – модуль упругости закладочного материала, МПа; $E = 6,6 \cdot 10^4$ – модуль упругости горных пород, МПа; $\alpha = 55^\circ$ – угол падения рудного тела; K_3 – коэффициент запаса прочности ($K_3 = 3,0$, так как результаты не проверялись по данным моделирования); $K_{об} = 1,6$ – коэффициент, учитывающий увеличение несущей способности целлика при объемном нагружении, ед.

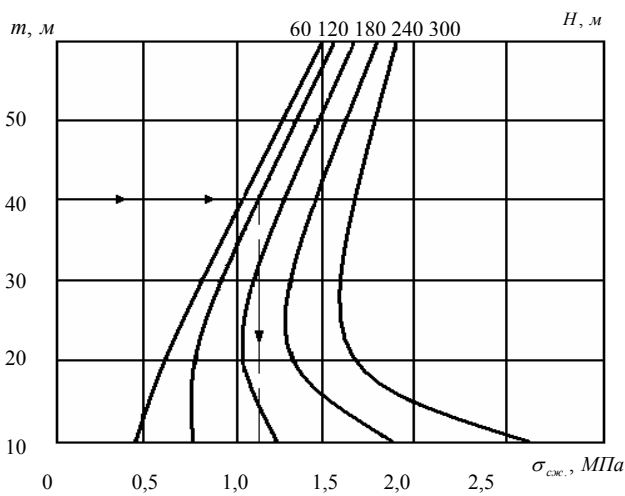


Рис. 4. Номограмма для определения нормативной прочности закладки на сжатие

Прочность закладки на растяжение от воздействия сейсмички взрывов определяется по формуле (рис. 5):

$$\sigma_p = \left(\frac{Q}{r^3}\right)^{0,43} \cdot \frac{85 \cdot \gamma_3 \cdot C_p}{2 \cdot q \cdot 10000}, \quad (4)$$

где σ_p – прочность закладки на растяжение, МПа; Q – масса заряда на одно замедление, кг; r – расстояние от геометрического центра веера скважин до границы раздела двух сред в закладочном массиве, м; $C_p = 24 \cdot 10^2$ – скорость распространения продольных волн в закладочном массиве, см/с; $q = 9,81$ – ускорение силы тяжести, м/с²; 2 и 10000 – переходные коэффициенты.

Нормативная прочность песчано-шлаковой закладки в возрасте 6 месяцев в зависимости от мощности рудного тела при высоте камеры $h \leq 60$ м и составы растворов твердеющей смеси приведены в табл. 1 и 2.

Возможно применение других составов той же прочности твердеющей закладки. На закладочный комплекс выдаются карты прочности закладочных смесей для каждого блока или залежи. Допустимые

пролеты обнажения закладки в зависимости от ее фактической прочности на начало обнажения определяются по формулам (1) и (2).

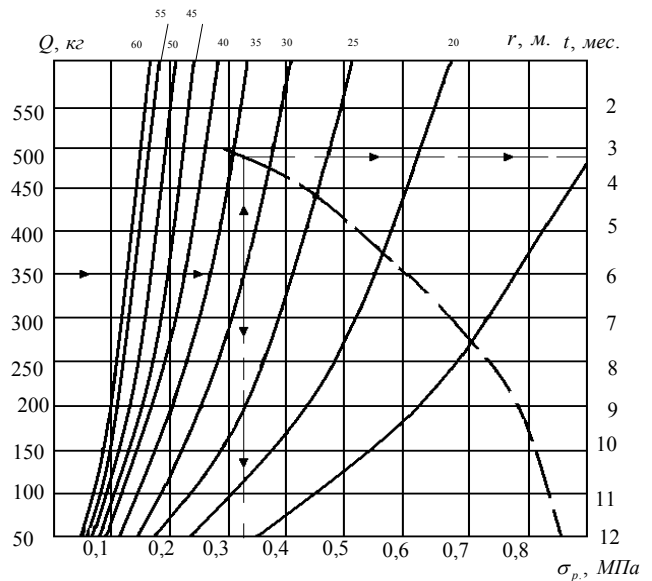


Рис. 5. Номограмма для определения нормативной прочности закладки на растяжение

Таблица 1
Нормативная прочность песчано-шлаковой закладки

Мощность рудного тела, м	Расчетные показатели*, МПа				Рекомендуемая нормативная прочность на сжатие, МПа
	$\sigma_{изг.}$	$\sigma_{сж.}$	$\sigma_p.$	C	
менее 20	<u>0,66</u>	<u>2,64</u>	0,25	0,30	3,0
более 20	1,05	1,88	0,36	<u>1,46</u>	5,0

* Между показателями существует устойчивая корреляционная связь:

$$\frac{\sigma_{сж.}}{\sigma_p.} = 9,3; \quad \frac{\sigma_{сж.}}{\sigma_{изг.}} = 3,6; \quad \frac{\sigma_{сж.}}{C} = 3,1;$$

подчеркнуты расчетные критические показатели, по которым принималась рекомендуемая нормативная прочность на сжатие.

Таблица 2
Составы растворов твердеющей закладки

песок	Расход компонентов, кг/м ³				Предел прочности на сжатие в возрасте 6 мес., МПа
	дробленый материал	хвосты ГМЗ	шлак	вода	
1350	–	–	250	400	3,0
750	750	–	200	400	
–	800	700	200	400	
1300	–	–	300	400	5,0
700	750	–	250	400	
–	800	650	250	400	

Результаты исследования. На основе проведенных исследований установлено:

– образцы закладочных смесей с применением хвостов ГМЗ достигают в течение 6 месяцев твердения нормативной прочности и обеспечивают их утилизацию в закладку выработанного пространства;

– закладочные смеси, где вяжущим является молотый шлак, а заполнитель – дробленая порода или нейтрализованные хвосты ГМЗ, или дробленая порода с кислыми хвостами, образцы по истечению 6 месяцев не набирают нормативной прочности. Такие составы смесей требуют дальнейших исследований по прочностным свойствам с учетом химических реакций активных компонентов;

– коэффициент эманирования цементно-хвостовых закладочных смесей изменяется от 11 до 18%, а хвостового материала ГМЗ – 15-17%, при этом закономерного его изменения в зависимости от рецептуры не установлено. Эманлирующая способность хвостов ГМЗ составляет 1,13 Бк/г, а образцов закладки на их основе – 1,01 Бк/г;

– расчетное значение дебита радона из твердеющего массива на основе цементно-хвостовой закладки сопоставимо с выделением его из естественного горного массива;

– численное значение коэффициента фильтрации закладочных смесей находится в интервале $1,0-1,8 \cdot 10^{-4}$ см/с, что характеризует его как слабопроницаемый материал;

– усредненные значения коэффициентов выщелачивания урана из заскладированных смесей изменяются в интервале от 1,3 до $3,4 \cdot 10^{-4}$, а радия – $6,9 \cdot 10^{-6}$ отн. ед.

– материалы закладочной смеси на основе хвостов первичной переработки урановых руд относятся к низкоактивным отходам (техногенно-усиленные источники ионизирующего излучения природного происхождения);

– для контроля надежности захоронения отходов добычи и первичной переработки урановых руд в составе твердеющей закладки необходимо проводить постоянный радиационный мониторинг миграции радионуклидов в окружающую среду (воздушную и водную).

Радиационная оценка применения отходов первичной переработки урановых руд в закладку. Использование в качестве заполнителя для твердеющей закладки отходов добычи и первичной переработки урановой руды предопределяет необходимость прогнозирования эманлирующей способности обнажений закладочного массива. Искусственно созданный закладочный массив, как и горные породы, обладает гомогенной структурой. Наблюдения показывают, что в гомогенных структурах в большинстве случаев эманации распространяются в порах и трещинах по законам газовой конвекции и диффузии.

Хвосты ГМЗ характерны тем, что при переработке урановых руд происходит извлечение из них почти 100% урана, а радий-226 остается в тонкоизмельченных породах, что приводит к эманации радона. Ха-

рактер поступления радона в шахтную атмосферу из искусственного массива, сформированного с использованием хвостов ГМЗ, такой же, как из скальных пород, т.е. его выделение происходит по законам газовой диффузии и, в основном, носит диффузионно-конвекционный характер. Конвекционный вынос радона происходит за счет перепада барометрического давления. Движение порового воздуха в массиве закладки будет направлено от участков с большим давлением к участкам с меньшим давлением и при высокопористых и трещиноватых массивах может быть преобладающим.

Газообразное агрегатное состояние и химическая инертность определяют способность радона проникать из материалов, содержащих радий, в атмосферу окружающей среды, помещений, горных выработок и т.п. Количественные параметры выхода (выноса) радона (удельное радоновыделение) из массива в основном зависят от содержания в нем радия-226, пористости горных пород, коэффициента диффузии радона, скорости фильтрации воздуха через массив, размеров закладываемой камеры, перепада давления, под воздействием которого находится закладочный материал [6-7].

Результаты проведенных лабораторных исследований и расчетов показывают, что при применении для погашения выработанного пространства закладки на основе отходов добычи и переработки урановой руды по технологии, исключающей недозалив камер, уровень загрязнения воздуха рабочих мест, горных выработок и формируемая этим фактором ингаляционная составляющая эффективной дозы облучения персонала, сравнимы с аналогичными показателями при традиционной технологии ведения работ с песчано-шлаковой закладкой.

Величина дебита радона, дочерних продуктов его распада из шахты зависит от технологии заполнения выработанного пространства. Определяющим при этом является полнота заполнения камеры закладочной смесью, надежность изоляции выработанного и заложеного пространства от мест ведения горных работ и дневной поверхности.

Технические решения по нормализации производственной среды. Анализ условий производства работ по приготовлению, транспортировке, укладке в выработанное пространство рудника закладочной смеси на основе отходов добычи и первичной переработки урановой руды, эксплуатации сформированных искусственных массивов показал, что основным производственно-вредным фактором при этом является радиационное воздействие газа радона и его дочерних продуктов распада на персонал и окружающую среду. Наиболее эффективными средствами снижения радиационного воздействия этих факторов являются:

– проветривание производственных помещений, подземных горных выработок в режиме, обеспечивающем максимально возможный уровень снижения радиационного воздействия на персонал и окружающую среду при соблюдении экономической целесообразности функционирования технологии;

- ограничение выделения радона в проветриваемые объемы рабочей зоны рудника;
- полевая подготовка месторождения и сокращение длины воздухоподающих выработок;
- применение обратного порядка отработки месторождения (от воздуховыдающего ствола к воздухоподающему);
- использование специальных вентиляционных выработок (коллекторов) для сбора и выдачи загрязненного воздуха;
- максимальная концентрация и интенсификация горных работ;
- минимизация подготовленных и готовых к выемке запасов при производстве добычных работ;
- ограничение общего количества горной массы, находящейся в подземных условиях;
- расположение вентиляционных восстающих со стороны чистой струи, а рудоперепускников – со стороны исходящей струи;
- заполнение закладочным материалом всего комплекса горных выработок отработанных зон;
- повышение плотности и уменьшение пористости образуемого искусственного массива путем отфильтровывания через изолирующие переемы избыточной воды из закладочной пульпы;
- исключение недозалива погашаемых камер закладочным материалом.

Определение прочности верхнего слоя искусственного массива. Для безопасного ведения работ самоходной техникой на искусственном массиве (в подземных условиях либо на поверхности хранилища) рабочая поверхность твердеющей закладки должна иметь надежную прочность на определенную толщину слоя.

Прочность покрытия с учетом массы груженой машины, усилия черпания и площади соприкосновения шин с почвой установил Л.В. Малетин. Максимальное напряжение в бетоне под действием машины [5]:

$$\sigma = P_{\max} / S_B, \quad (5)$$

где P_{\max} – максимальная нагрузка на бетон в период черпания, Н; S_B – площадь выдавливания протектора шины, см².

Согласно расчетной схеме (рис. 6):

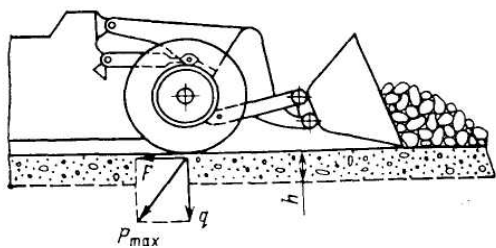


Рис. 6. Расчетная схема к определению величины усилий, действующих на поверхности закладки

$$P_{\max} = \sqrt{F^2 + q}, \quad (6)$$

где F – усилие черпания, приходящееся на одно колесо машины, даН; q – нагрузка на одно колесо машины, даН.

В расчетах дорожных покрытий принимают

$$q = Q / 4, \quad (7)$$

где Q – вес груженой машины, Н.

$$S_B = 0,5S_C, \quad (8)$$

где S_C – площадь следа шины, которую принимают равной площади круга с диаметром, равным ширине шины, см².

Удельное давление на бетонный настил самоходными машинами тяжелого типа не превышает 1,5-1,8 МПа.

Необходимая толщина бетонного покрытия h , возводимого из материала определенной прочности, устанавливается путем расчета балки, лежащей на упругом основании, с учетом того, что реакция основания пропорциональна величине его осадки. Разрушение балки происходит от действия максимального изгибающего момента (M_{\max}). Расчет покрытий производят по их предельному состоянию – образованию трещин.

$$M_{\max} < mn \frac{bh^2}{0,6} R, \quad (9)$$

где $m = 0,8-1$ – коэффициент, учитывающий условия работы покрытия, зависящего от типа движителя (колесо или гусеница); $n = 0,6-0,8$ – коэффициент однородности закладочного массива; $R = (0,25-0,30) \cdot R_{сж}$ – нормативное сопротивление закладочного материала растяжению, МПа (принимается в зависимости от предела прочности на одноосное сжатие ($R_{сж}$)); b – ширина плиты в плоскости действия момента, равна ширине следа колеса, м; h – толщина плиты, м.

Максимально допустимая толщина плиты

$$h = \sqrt{0,6M_{\max} / (bmnR)}. \quad (10)$$

В окончательном виде максимальный изгибающий момент

$$M_{\max} = 4\sqrt{KEJ_x / 4} \cdot qC_x / K, \quad (11)$$

где K – коэффициент прочности массива; E – модуль упругости закладочного материала, даН/см²; J_x – момент инерции относительно оси, перпендикулярной плоскости изгибающего момента, м⁴; q – равномерно распределенная нагрузка на бетонный настил, МПа; C_x – гипербола-тригонометрическая функция.

Если закладочный массив имеет прочность 0,2-0,4 МПа, то верхняя его часть (бетонное покрытие) возводится из материала прочностью до 3,5 МПа толщиной 35-50 см, что обеспечивает нормальные условия для работы тяжелого самоходного оборудования.

В практике рудников, применяющих взрывную отбойку руды на бетонный настил и скреперную доставку руды в блоках, прочность материала настила применяется в пределах 1-1,5 МПа, которую он должен приобрести в течение двух смен. Толщина настила составляет 10 см. Дальнейшее сокращение

сроков твердения связано с повышенным расходом цемента, применением ускорителей твердения, что неэкономично.

На руднике «Мацуминэ» (Япония) прочность бетонного настила составляет от 1,4 до 3,5 МПа, а работу на нем начинают через 1-4 сут, иногда через 6 сут. На руднике «Блек Хилл» (США) толщина бетонного настила находится в пределах 10-14 см. На Белоусовском руднике (Россия) применяют настилы толщиной 6-8 см и производят на них взрывную отбойку через сутки. На участках, где работает самоходное оборудование, толщину настила увеличивают до 10 см [5].

Технология закладочных работ и организация складирования отходов первичной переработки уранового сырья. Результаты исследований использованы ГП «УкрНИПИИпромтехнологии» в проекте строительства предприятия на базе Новокозачинского месторождения урановых руд, который разработан в 1996 г. и утвержден распоряжением Кабинета Министров Украины от 09.06.2000 г. № 256Р. В основу схемы утилизации отходов добычи и первичной переработки урановой руды приняты решения, которые реализуются на начальных этапах развития предприятия.

При производительности предприятия 1500 тыс. т/год 50-55% хвостов утилизируется в составе закладочной смеси в выработанное пространство (830 тыс. т/год), а остальная часть в отвержденном (иммобилизованном) состоянии складывается в хранилище (670 тыс. т/год).

На площадке рудника предусматривается строительство комплекса по обезвоживанию хвостов и приготовлению закладочной смеси такой же производительности. В состав комплекса по подготовке хвостов к иммобилизации на площадке хранилища отходов входят: корпус обезвоживания, три сгустителя диаметром 50 м с насосной, узел смешения, силосный склад цемента общей емкостью 6000 т (рис. 7).

Таким образом, в закладочных смесях, где вяжущее – цемент, заполнитель – хвосты ГМЗ и дробленая порода, кислые хвосты дают более прочную закладку, чем нейтрализованные, а при использовании в качестве заполнителя хвостов ГМЗ, вяжущего – цемента или граншлака, набирают в течение 6 месяцев твердения нормативную прочность, которая сопоставима с прочностными свойствами песчано-шлаковых закладочных смесей. Полученные зависимости изменения коэффициента фильтрации и выщелачивания показывают, что основной вынос радионуклидов с водой будет происходить в короткий период времени при схватывании закладочного массива. Эта вода в составе шахтных вод будет очищаться на специальной установке. После закладки массива значительно выноса ЕРН с водой не ожидается.

Перспективы применения пастообразной твердеющей смеси на основе хвостов обогащения руды. Одной из главных причин значительного расхода вяжущего является наличие в закладочной смеси излишней воды, способствующей ее перемещению по

закладочному трубопроводу, что приводит к существенному вымыванию вяжущего и, как следствие, к расслоению закладочного массива, снижению его прочности. При традиционной технологии закладочных работ необходимо создание системы дренажа, сбора и удаления с горизонта до 50-70% воды, выделившейся из закладочной смеси, что снижает безопасность работ из-за возможности прорыва в горные выработки скопившейся в выработанном пространстве зашламованной воды [2-4].

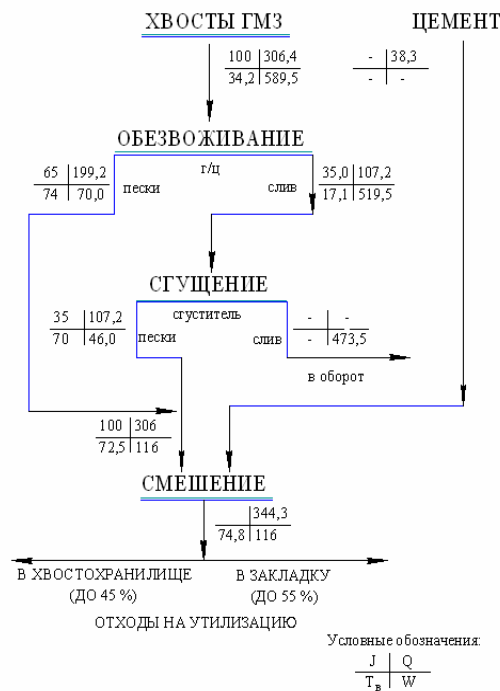


Рис. 7. Проектируемая технологическая схема приготовления твердеющей смеси с использованием хвостов ГМЗ: J – частный выход от исходного продукта, %; Q – количество продукта, т/час (количество хвостов приведено без учета извести, идущей на нейтрализацию); T_в – содержание твердого в продукте, %; W – количество воды в продукте, м³/ч

Пастообразный закладочный материал представляет собой густую массу, в которой вода содержится в основном в связанном виде (в поровом пространстве) и, следовательно, в минимально необходимом количестве для обеспечения текучести материала. При этом полезно используются тиксотропные свойства мелкодисперсной минеральной среды с относительно малым количеством жидкости, а именно – способность к разжижению при механическом воздействии. Коллоидные свойства пастообразной массы с поляризацией частиц электрическим зарядом способствуют удержанию воды в материале в процессе его транспортирования. В таком виде минеральная масса может транспортироваться по трубопроводу с критической скоростью, при которой поток разделяется на фазы – более жидкую и твердую. Причем твердая фаза распределяется в виде ядра в центре трубопровода, а более жидкая – по

периферии. Коллоидные свойства пасты могут регулироваться тониной фракций и различными химическими добавками.

Нормативный расход цемента обычно составляет 2-3%. Для удешевления пастообразной закладки на рудниках, где она применяется, используют, кроме цемента, смеси цемента с золой уноса, а также молотые доменные шлаки с добавками извести и цемента или без них. При этом наличие вяжущего, кроме основного функционального действия, влияет как катализатор, увеличивающий скорость гидратации.

Пастообразная закладочная смесь – это продукт технологии утилизации хвостов обогащения. Особенность такой смеси заключается в обязательном наличии в ней частиц крупностью $-20+10$ мкм. Эти частицы выполняют роль смазочного слоя при транспортировании по закладочному трубопроводу. Количество илесто-глинистых частиц ограничивается 5-6%. Вода в пасте находится в связанном состоянии от пограничного слоя до середины сечения потока. При этом скорость движения смеси в пристенном участке трубы приближается к нулю. Пастообразные смеси можно транспортировать в самотечном режиме на расстояние, определяемое соотношением вертикали к горизонтали 1 : 1. При большей длине доставки применяют бетононасосы.

На основании имеющегося опыта использования пастообразной закладки авторами выделены основные ее достоинства и недостатки в сравнении с традиционной твердеющей.

Достоинства:

- снижение общего расхода цемента и других вяжущих на 15-25%;

- сокращение времени цикла очистной выемки за счет быстрого схватывания и твердения закладочной смеси в начальный период после укладки в выработанное пространство и принятия нагрузки очистного оборудования;

- возможность эффективного использования хвостов обогащения для закладки выработанных пространств шахт;

- снижение затрат на строение перемычек на горизонтальных горных выработках, сопрягающихся с выработанным пространством;

- снижение на 40-55% объема откачиваемой дренажной воды и, как следствие, уменьшение потерь вяжущего и загрязнения горных выработок, улучшение структуры закладочного массива;

- использование хвостов обогащения способствует сокращению объемов добываемых наполнителей (главным образом, песка) и улучшает экологическую обстановку в регионе за счет утилизации их в подземном выработанном пространстве.

Недостатки:

- более сложная доставка густой минеральной массы в выработанное пространство;

- меньшая результирующая прочность техногенного массива из-за превышения количества мелкодисперсных фракций;

- сложность вторичного извлечения компонентов из заложенных подземных камер;

- хвосты ГМЗ содержат естественные радионуклиды уранового и ториевого рядов, которые в открытых хвостохранилищах находятся в более удобных условиях для мониторинга и проведения природоохранных мероприятий.

Выводы

1. Рекомендуются следующие составы твердеющей смеси из расчета на 1 м^3 : цемент – 200-400 кг; нейтрализованные хвосты ГМЗ – 1360-1450 кг; вода затворения – 400 кг; прочность образца в возрасте 6 месяцев изменялась от 3,1 до 7 МПа; при применении кислых хвостов ГМЗ в количестве 950 кг добавлялась дробленая порода от 350 до 400 кг. При этом прочность образца изменялась от 4,8-5,2 МПа.

2. Усредненные значения коэффициентов выщелачивания урана из заскладированных смесей на основе хвостов ГМЗ изменяются в интервале от $1,3 \cdot 10^{-4}$ до $3,4 \cdot 10^{-4}$ отн. ед., радия – $6,9 \cdot 10^{-6}$ отн. ед; численное значение коэффициента фильтрации закладочных смесей находится в интервале $1,0 \cdot 10^{-4}$ - $1,8 \cdot 10^{-4}$ см/с, что характеризует его как слабопроницаемый материал.

3. Для безопасного ведения работ самоходной техникой на искусственном массиве рабочая поверхность твердеющей закладки должна иметь прочность 2,2-3,5 МПа на толщину слоя 15-20 см.

4. Значительный объем тонкой фракции требует больших затрат по обезвоживанию закладочного материала. Технология приготовления пастообразной закладки связана с высокими капитальными и энергетическими затратами (использование поршневых насосов, установок по обезвоживанию и смешиванию). Возрастают требования к контролю за процессом приготовления закладочной смеси из-за малых допусков в отклонении дозировки: для сыпучих $\pm 0,5\%$, для воды $\pm 0,25\%$.

5. Приготовление твердеющих пастообразных смесей с применением хвостов ГМЗ для закладки выработанного пространства шахты позволит снизить расход цемента и других вяжущих на 20-25%, сократить на 40-55% объем откачиваемой дренажной воды из шахты, улучшить экологическую обстановку в регионе.

6. Основные перспективные направления дальнейших исследований по применению отходов первичной переработки урановых руд в твердеющую закладку:

- определение параметров выщелачиваемости естественных радионуклидов (^{238}U , ^{230}Th , ^{226}Ra , ^{210}Po , ^{210}Pb , ^{40}Ka) из закладочных материалов шахтными и подземными водами;

- подготовка и проведение опытно-промышленных работ по заполнению выработанного пространства закладочной смесью на основе хвостов ГМЗ для отработки технологии закладки.

– разработка нормативно-методических документов по использованию низкоактивных хвостов ГМЗ в твердеющую смесь для обоснования радиационно-безопасной технологии закладки.

– составление инструкции по технологии приготовления и доставки твердеющей смеси с использованием хвостов ГМЗ в выработанное пространство шахты.

Список литературы

1. Ляшенко В.И. Совершенствование природоохранных технологий и технических средств для горнорудной промышленности при разработке урановых месторождений // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2008. – № 4. – С. 92-96.
2. Хомяков В.И. Зарубежный опыт закладки на рудниках. – М.: Недра, 1984. – 224 с.
3. Ломоносов Г.Г., Полоник П.И., Абдалах Х. Совершенствование технологии очистных работ на основе применения пастообразных закладочных материалов // *Горный журнал*. – 2000. – № 2. – С. 21-23.
4. Ресурсосберегающие технологии добычи руды на Малеевском руднике Зырянского ГОКа (АО “Каз-

цинк”) / Ю.П. Гусев, Е.П. Березиков, Л.А. Крупник и др. // *Горный журнал*. – 2008. – № 11. – С. 20-22.

5. Твердеющие закладочные смеси повышенной плотности / В.В. Квитка, В.Е. Сергеев, К. Тротер и др. (фирма GMSZ, Австралия) // *Горный журнал*. – 2001. – № 5. – С. 33-35.

6. Ляшенко В.И., Кошик Ю.И. Природоохранные технологии подземной разработки урановых месторождений // *Науковий вісник НГУ*. – 2005. – № 8. – С. 21-29.

7. Кошик Ю.И., Ляшенко В.И. Совершенствование природоохранных технологий и технических средств добычи урановых руд в Украине // *Цветная металлургия*. – 2008. – № 7. – С. 3-11.

8. Ляшенко В.И., Дудченко А.Х., Ткаченко А.А. Научно-технические основы природоохранных технологий подземной разработки урановых месторождений // *Екологія довкілля та безпека життєдіяльності*. – 2008. – № 4. – С. 34-42.

Рекомендовано до публікації д.т.н. О.М. Кузьменком 25.12.09

УДК 622.831.312

© С.Ф. Власов, А.А. Сидельников, 2010

С.Ф. Власов, А.А. Сидельников

ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЗМА ОБРУШЕНИЯ ПОРОД КРОВЛИ НА ОБЪЕМНОЙ МОДЕЛИ СЛОИСТОГО ТРАНСВЕРСАЛЬНО-ИЗОТРОПНОГО МАССИВА ПРИ ПОДВИГАНИИ ОЧИСТНОГО ЗАБОЯ

Наведено результати дослідження механізму обвалення порід покрівлі у вироблений простір лави з використанням покровоного комп'ютерного моделювання посування лави у шаруватому трансверсально-ізотропному масиві гірських порід.

Представлены результаты исследования механизма обрушения пород кровли в выработанное пространство лавы на основании результатов пошагового моделирования перемещения очистного забоя в объемной компьютерной модели слоистого трансверсально-изотропного массива горных пород.

The results of researching the roof fall mechanism around a moving longwall applying three-dimensional computer model of the stratified transversely isotropic rock mass are presented in the article. Parameters and results of the three-dimensional simulation of the rock mass are valid for Western Donbas conditions.

Введение. В сложившихся экономических условиях на действующих горнодобывающих предприятиях Украины предполагается увеличение объемов добычи угля за счет внедрения высокоэффективных технологий ведения горных работ и использования современной высокопродуктивной горной техники. Однако интенсификация технологии добычи угля определила широкий круг горнотехнических задач, связанных с негативными проявлениями горного давления в подготовительных и очистных выработках, что, в свою очередь, приводит к снижению добычи, увеличению себестоимости угля и значительному повышению уровня аварийности на производстве. Применение

высокоэффективных технологий и способов управления горным давлением в очистных выработках требует знания закономерностей распределения зон предельного состояния массива горных пород как по длине лавы, так и по длине выемочного столба.

Суть вопроса. В результате движения очистного забоя и увеличения размера выработанного пространства в массиве горных пород происходят качественные и количественные изменения. Одним из основных показателей, характеризующих такие изменения, является переход вмещающих угольный пласт горных пород в предельное состояние. Как правило, переход в предельное со-