

Код МРНТИ 52.13.15

С.Н. Шапошник¹, Л.А. Крупник², *Ю.Н. Шапошник³, В.А. Портола⁴¹Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан),²Казахский национальный исследовательский технический университет им. К.И. Сатпаева (г. Алматы, Казахстан),³Институт горного дела СО РАН им. Н.А. Чинакала (г. Новосибирск, Россия),⁴Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф. Горбачева (г. Кемерово, Россия)

ПРИГОДНОСТЬ ИНЕРТНЫХ ЗАПОЛНИТЕЛЕЙ ДЛЯ ПРИГОТОВЛЕНИЯ СУХОЙ ИЛИ БУТОБЕТОННОЙ ЗАКЛАДКИ

Аннотация. В статье приведены требования нормативных документов к инертным материалам сухой породной и бутобетонной закладки на подземных рудниках. Определен гранулометрический состав пород в проходческом забое путем обработки фотографий производительными алгоритмами компьютерного зрения. Представлена методика проведения термографических исследований инертных материалов по определению склонности заполнителей к самовозгоранию по скорости сорбции кислорода, температуре воспламенения и условной скорости окисления. Выявлена способность применяемых инертных заполнителей поглощать из атмосферы некоторые газы, а также выделять газы, образующиеся при химических реакциях и при распаде этих материалов. На основе лабораторных испытаний выявлены деформационно-прочностные свойства образцов бутобетонной закладки в возрасте 14, 28 и 45 суток.

Ключевые слова: закладочные материалы, бутобетонная закладка, инертный заполнитель, гранулометрический состав, пожароопасность, деформационно-прочностные свойства.

Инертті агрегаттардың құрғақ немесе бетон бетбелгісін дайындауға жарамдылығы

Аннотация. Мақалада жерасты кеніштеріндегі құрғақ тау жыныстары мен бүршік бетон төсемдерінің инертті материалдарына қойылатын нормативтік құжаттардың талаптары келтірілген. Компьютерлік көрудің өнімді алгоритмдерімен фотосуреттерді өңдеу арқылы ұңғыма кенжарындағы тау жыныстарының гранулометриялық құрамы анықталды. Оттегінің сорбция жылдамдығы, тұтану температурасы және шартты тотығу жылдамдығы бойынша толтырғыштардың өздігінен жануға бейімділігін анықтау үшін инертті материалдарға термографиялық зерттеулер жүргізу әдістемесі ұсынылған. Қолданылатын инертті агрегаттардың атмосферадан кейбір газдарды сіңіру, сондай-ақ химиялық реакциялар кезінде және осы материалдардың ыдырауында пайда болатын газдарды шығару қабілеті анықталды. Зертханалық сынақтар негізінде 14, 28 және 45 тәулік жасында бетон төсеу үлгілерінің деформациялық-беріктік қасиеттері анықталды.

Түйінді сөздер: бетон материалдары, бетон төсеу, инертті толтырғыш, гранулометриялық құрамы, өрт қауіптілігі, деформациялық-беріктік қасиеттері.

Suitability of inert aggregates for preparation of dry or rubble concrete backfill

Abstract. The article presents the requirements of regulatory documents for inert materials of dry rock and rubble concrete backfill in underground mines. The granulometric composition of rocks in the drift face was determined by processing photographs using productive computer vision algorithms. A technique for conducting thermographic studies of inert materials to determine the tendency of fillers to spontaneous combustion based on the oxygen sorption rate, ignition temperature, and conditional oxidation rate was presented. The ability of the inert fillers to absorb certain gases from the atmosphere and to emit gases formed during chemical reactions and the decomposition of these materials was revealed. Based on laboratory tests, the deformation and strength properties of rubble concrete backfill samples at the age of 14, 28, and 45 days were determined.

Key words: backfill materials, rubble concrete backfill, inert filler, granulometric composition, fire hazard, deformation and strength properties.

Введение

На сегодняшний день на горных предприятиях широко применяются различные виды закладки выработанного пространства: твердеющая, в том числе пастовая [1], гидравлическая, льдопородная на рудниках Крайнего Севера [2, 3], бутобетонная и сухая породная. Твердеющая закладка позволяет решить множество технологических и экологических вопросов при добыче руды, однако имеет существенный недостаток, а именно, высокие затраты при производстве закладочных работ. Пастовая закладка отличается от твердеющей меньшим объемом затворителя, но требует повышенных затрат из-за необходимости применения в составе технологической цепочки закладочных работ высоконапорных насосов для подачи смеси в отдаленные выработанные пространства в шахте. В качестве инертного заполнителя в настоящее время на закладочных комплексах при приготовлении твердеющей закладки на подземных рудниках Казахстана нашли применение измельченные пустые породы, золошлаки, золы-уносы, измельченные доменные шлаки, лежалые хвосты обогатительных фабрик (ОФ), текущие флотационные хвосты, отсев дробильно-сортировочных фабрик. Бутобетонная закладка нашла широкое применение при выемке запасов руд камерной системой разработки с формированием бутобетонных целиков и породной закладкой на рудниках Якутии и Чукотки, что дало возможность снизить высокие логистические затраты на доставку компонентов

смеси в отдаленные северные районы. Массив из сухой породной закладки не обладает несущей способностью, однако дает возможность поддерживать обнажения выработанного пространства. Формирование навала породной закладки в отработанных камерах возможно путем перепуска породы с поверхности или вышерасположенных горизонтов, принудительного обрушения пород всякого бока залежей или за счет их самообрушения. Степень заполнения выработанного пространства путем принудительного обрушения вмещающих пород или их самообрушения необходимо контролировать инструментальными методами. Анализ литературных источников и нормативной базы по производству бутобетонной закладки показал, что в настоящее время отсутствует метрологическое обеспечение ведения закладочных работ и не регламентирована.

Цель исследований – разработка нормативных требований к сухой породной и бутобетонной закладке на подземных рудниках.

Задачи исследований:

- выявление гранулометрического состава породы от проходческих работ для производства бутобетонной закладки и его влияние на усадку сформированных закладочных массивов;

- проведение испытаний инертных заполнителей на склонность сорбции кислорода инертными, температуры воспламенения и условной скорости окисления;

- установление влияния отходов производства на прочностные характеристики бутобетонной закладки.

Методы исследования

Опыт разработки рудных месторождений с сухой или бутобетонной закладкой выработанного пространства показывает, что качество возведенного искусственного массива в большой степени зависит от свойств компонентов закладочных смесей [4–6]. Выбор того или иного материала во многом определяется требованиями к ним и формируемому закладочному массиву, способу транспортирования и размещению закладки в выработанном пространстве [7]. Выбор компонентов закладочной смеси проводится по критериям безопасности ведения горных работ, т. е. достижению нормативной прочности сформированных закладочных массивов, экологической безопасности и возможности утилизации отходов производства в закладку.

Из проведенного анализа применяемых заполнителей при производстве закладочных работ и влияния заполнителя на реологические свойства смеси и прочностные характеристики закладки следует, что при выборе заполнителей необходимо учитывать их наличие или возможность получения их в необходимом количестве, технологию закладочных работ и возможность приготовления на их основе закладки требуемой прочности при минимальной стоимости.

Заполнители формируют жесткий каркас закладочного массива, уменьшают усадку и тепловыделение, повышают плотность смеси [8, 9]. При выборе заполнителя необходимо провести качественные исследования его свойств, основываясь на требованиях к искусственному массиву и в соответствии с технологией закладочных работ. Заполнители для закладочных работ специально добываются либо в качестве их используются отходы горно-обогатительного производства. Использование пустых пород для закладки не требует создания специальных закладочных комплексов, способствует уменьшению объемов транспортирования горной массы, а также поверхностных отвалов. Однако малая жесткость и высокая пустотность сухой закладки препятствуют их широкому применению. Основные сложности в использовании пустых пород в качестве закладочного материала связаны с трудностями их размещения в выработанном пространстве без существенного недозаклада и ее высокой сжимаемости.

Гранулометрический состав пород в проходческом забое возможно определять путем обработки фотографий производительными алгоритмами компьютерного зрения компании Piklema. Система CVision.PitFace позволяет измерять гранулометрический состав и негабариты в забое с погрешностью менее 5 см, что полностью соответствует требованиям к данным испытаниям.

Определение склонности к самовозгоранию исследуемых образцов инертных материалов проводится согласно [10]. В ходе лабораторных исследований выявляется присутствие или отсутствие серного колчедана FeS_2 и сульфида железа FeS в составе инертных, что позволяет судить об окисляемости и пожароопасности инертных и устанавливается возможность их использования в составах сухой

породной и бутобетонной закладки. Исследование аншлифов образцов проводятся на электронном микроскопе с приставкой для волнодисперсионного анализа. Для определения концентраций элементов используются стандарты М.А.С. Micro–Analysis Consultants Limited. Концентрация элементов представляются в весовых процентах. Определяется общее количество сульфидной серы. Минералогический анализ проб производится расчетным способом, т. е. осуществляется пересчет химического состава породы на минеральный.

Степень склонности к самовозгоранию инертных материалов по результатам лабораторных испытаний оценивается по:

- скорости сорбции кислорода, мл/г. ч;
- условной скорости окисления, мг/мин., SO_2 ;
- температуре воспламенения, град.

Для определения скорости сорбции кислорода инертным заполнителем отобранную пробу измельчают, просеивают на ситах для выделения фракции 1–3 мм. Затем пробы материала взвешивают на весах и определяют влажность представленных образцов с помощью сушильного шкафа. Установка (рис. 1) состоит из сорбционного сосуда, имеющего верхнюю пробку, слой стеклянных палочек, на которые помещают пробу руды или породы, а также нижний кран, через который отбирается проба воздуха. Пробоотборная пипетка соединена трубками через нижний кран с сорбционным сосудом и емкостью с раствором сульфата натрия. Вакуумный насос создает разрежение в емкости.

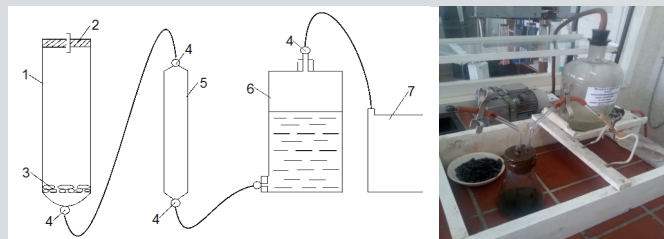


Рис. 1. Установка для определения скорости сорбции кислорода инертным заполнителем: 1 – сорбционный сосуд; 2 – пробка; 3 – стеклянные палочки; 4 – кран; 5 – пробоотборная пипетка; 6 – емкость с раствором; 7 – вакуумный насос.

Сурет 1. Инертті толтырғышпен оттегінің сорбция жылдамдығын анықтауға арналған қондырғы:

1 – сорбциялық ыдыс; 2 – тығын; 3 – шыны таяқшалар; 4 – кран; 5 – сынама алу тамшыуыры; 6 – еріміндісі бар ыдыс; 7 – вакуумдық сорғы.

Figure 1. Installation for determining the rate of oxygen sorption by an inert filler: 1 – sorption vessel; 2 – stopper; 3 – glass rods; 4 – tap; 5 – sampling pipette; 6 – container with solution; 7 – vacuum pump.

Испытываемая проба руды помещается в сорбционный сосуд, заполненный воздухом, на слой стеклянных палочек и герметически закрывается. Опыт протекает при постоянной температуре (обычно в интервале 20–25 °С), для чего сорбционный сосуд помещают в термостат. По истечении определенного времени (обычно через 24 ч) из

сорбционного сосуда отбирают пробу газа и определяют убыль в ней кислорода. Для отбора пробы газа пипетка заполняется раствором из емкости и соединяется с сорбционным сосудом. С помощью вакуумного насоса в емкости создается разрежение, что приводит к перемещению в него раствора из пипетки. Воздух из сорбционного сосуда замещает раствор в пипетке. Затем краны закрываются, а отобранная проба воздуха подается в газоанализатор для определения концентрации кислорода. Для продолжения опыта в сорбционном сосуде восстанавливают нормальный состав воздуха. С этой целью его продувают воздухом в течение 5 мин., затем вновь герметизируют.

Вычисление скорости сорбции кислорода рудой производилось по формуле:

$$U = \frac{V}{M\tau} \ln \frac{C_A(1 - C_0)}{C_0(1 - C_A)},$$

где V – объем воздуха, находящийся в соприкосновении с инертным материалом, см³; M – масса пробы инертного, г;

τ – время контакта воздуха с инертным, ч;

C_0 – начальная концентрация кислорода в сосуде, доли ед.;

C_A – концентрация кислорода через время τ , доли ед.

Через 24, 48, 72, 96 и 120 ч результаты расчета константы скорости сорбции инертными материалами суммируются, и определяется средняя скорость сорбции по формуле:

$$U_{25} = \frac{\sum_{i=1}^n U_i}{n},$$

где n – число определений скорости сорбции кислорода породой в процессе эксперимента;

U_i – текущее значение скорости сорбции кислорода породой, см³/(г·ч).

Скорость окисления инертных материалов пропорциональна количеству выделяющегося сернистого газа в единицу времени. Эта скорость окисления является условной, так как при ее определении учитываются не все продукты окисления. При определении условной скорости окисления при непрерывном равномерном повышении температуры инертного нагревание образца производилось в электрической печи, в которую помещалась реакционная трубка с навеской руды весом в 1 г. При проведении лабораторных исследований инертных на окисление и самовозгорание через навеску пробы породы пропускался воздух с массовым расходом 125 мг/мин. Скорость тока воздуха измерялась лабораторным реометром. Отобранные пробы воздуха пропускали через хроматограф для определения концентрации SO_2 .

Температурой воспламенения является минимальная температура, при которой вещество способно выделять пары и газы в количестве, достаточном для продолжения горения после их воспламенения без дальнейшего добавления (притока) тепла от внешнего источника. Значение температуры воспламенения зависит от различных факторов: крупности зерен, состояния поверхности образца, скорости продувания воздухом, состава газовой фазы и т.

п. При определении температуры воспламенения образцы инертного нагревались в электрической печи с периодическим появлением источника воспламенения над образцом. Температура, при которой над образцом появлялось устойчивое пламя, являлось температурой воспламенения. У отобранных проб определялась влажность, а при оценке скорости сорбции кислорода измерялась концентрация кислорода, метана, оксида углерода и углекислого газа. Склонность пород к самовозгоранию определялась по определенной скорости сорбции кислорода, температуре воспламенения и условной скорости окисления (по таблице В.Я. Манакова).

Одной из опасностей подземных горных работ является способность применяемых материалов поглощать из атмосферы некоторые газы, а также выделять газы, образующиеся при химических реакциях и при распаде этих материалов. В аналитической лаборатории пробы помещались в термощкаф с вакуумным отсосом и подогревались до определенной температуры с одновременным замером объема и состава выделяющихся газов из штучного образца. Состав выделяющихся газов определялся с помощью газоанализаторов и хроматографа газового.

На первом этапе температура в термощкафу принудительно не повышалась. Продолжительность отбора проб воздуха на первом этапе – до прекращения выделения ядовитых газов и снижения содержания кислорода. На втором этапе воздух в термощкафу, в котором и помещена проба руды, принудительно разогревался до повышенных температур (в термощкафу температура воздуха повышалась до 450–500 °С). На всех этапах производился одновременный замер объема и состава выделяющихся газов.

Для исследования процессов выделения различных газов и интенсивности поглощения атмосферного кислорода породой отобранные пробы вначале измельчались, просеивались на ситах для выделения фракции 1–3 мм. Затем пробы пород взвешивались на весах, и определялась влажность представленных образцов с помощью сушильного шкафа.

В ходе лабораторных исследований образцы породы помещались в термощкаф и в герметично закрываемую установку. При проведении лабораторных исследований образцов руды и вмещающих пород через установку постоянно пропускался воздух с массовым расходом 0,5 л/мин. Скорость потока воздуха измерялась лабораторным реометром. Отобранные пробы воздуха пропускали через хроматограф и газоанализаторы для определения концентрации выделяющихся газов. Отбор проб газа из емкостей с образцами породы проводился при температурах 50, 100, 150, 200, 300, 350, 400 °С. При оценке интенсивности выделения газов в отобранных пробах воздуха измерялись концентрации метана, этана, этилена, ацетилена, пропана, пропилена, бутана, кислорода, углекислого газа, оксида углерода, водорода, сероводорода и оксидов азота в пересчете на NO и NO_2 .

Приготовление опытной закладочной смеси осуществляли путем дозирования составляющих материалов и последующего их смешения. Приготовленную смесь разливали в формы для получения образцов и определения пределов прочности на сжатие и растяжение в контрольные

сроки испытаний. На каждый срок испытаний готовили не менее трех образцов составов одной рецептуры.

Предел прочности образцов-кубиков закладки на одноосное сжатие определялся с применением комплекса для испытаний образцов на базе сервогидравлического пресса INSTRON 8802. При исследовании реологических и прочностных параметров закладочных смесей на стадии лабораторных экспериментов определяли прочность на одноосное сжатие, расплыв конуса, угол

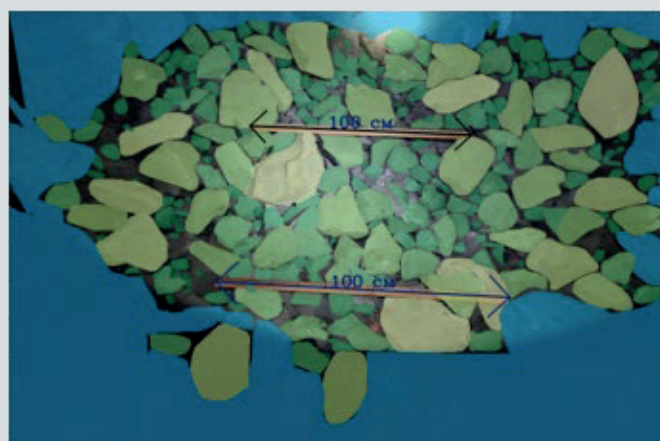
растекания смеси, водопотребность в зависимости от состава смеси, условий и продолжительности твердения.

Результаты исследований

Результаты расчетов гранулометрического состава пород в проходческом забое в программном обеспечении Pikelema CVision.PitFace на одном из подземных рудников представлены на рис. 2.

Фракция, мм	Процент от суммы площадей всех измерений	Кумулятивный процент от суммы площадей всех измерений
0–50	3,48	3,48
50–100	16,12	19,6
100–150	20,09	39,69
150–200	18,87	58,57
200–250	20,54	79,11
250–300	10,43	89,54
300–350	10,46	100
Размер, мм	Процент прохождения через сито	
P10	69,86	10
P20	100,69	20
P30	124,07	30
P40	152,74	40
P50	177,92	50
P60	210,55	60
P70	219,01	70
P80	250,89	80
P90	309,3	90
P95	314,03	95
P96	314,03	96
P97	314,03	97
P98	321,49	98
P99	321,49	99
P100	321,49	100

Параметры модели Rosin-Rammler $X_c: 186,72$	n:2,63	
Параметры модели Swebrec $X_{max}: 322$	X50: 177,66	b: 2,14
Максимальный размер куска, мм	321,49	
Процент выхода негабарита	0	
Средний размер куска, мм	177,74	



Фрагмент фотографии развала породы в проходческом забое



Рис. 2. Результаты расчетов гранулометрического состава пород в проходческом забое в программном обеспечении Pikelema CVision.PitFace.

Сурет 2. Pikelema CVision.PitFace бағдарламалық жасақтамасындағы ұңғыма кенжарындағы тау жыныстарының гранулометриялық құрамын есептеу нәтижелері.

Figure 2. Results of calculations of the granulometric composition of rocks in the mining face in the Pikelema CVision.PitFace software.

Одним из главных требований, предъявляемых к закладочному материалу, используемому для управления кровлей, является ее жесткость. Усадка закладочного массива существенно зависит от его гранулометрического состава. С помощью программного обеспечения Piklema CVision. PitFace установлены максимальный и средний размеры куска в проходческом забое, составляющие, соответственно, 320 и 177 мм, что может привести к усадке сформированного породного закладочного массива до 50%.

В качестве основной технологии закладочных работ может служить смесительный способ подготовки закладочных компонентов с приготовлением бутобетонной закладочной смеси заданных параметров в шахте с последующей доставкой самоходным оборудованием в выработанное пространство. В качестве бутобетонной закладки может применяться смесь пустой породы от проходки горных выработок с водным раствором цемента, а также отходы производства, такие как золошлаки котельных рудников, золы-уноса и др.

Введение оптимального количества золы или золошлаковой смеси в бетоны улучшает удобоукладываемость, снижает усадку и водопроницаемость, обеспечивает требуемую прочность и может обеспечить морозостойкость бетона до М 100–300. Применение золы не оказывает отрицательного действия на деформации ползучести, усадки и на модуль упругости бетона обычного состава, повышает коррозионную стойкость железобетона и сульфатостойкость бетона. Наличие крупных включений в составе золошлаков негативно влияет на прочность формируемых закладочных массивов. Вредной примесью в золах, резко снижающей прочность закладки, является несгоревший уголь, который в воздушно-влажной среде окисляется быстро, впитывая в себя воду, увеличиваясь в объеме. Кроме того, он является носителем гуминовых кислот, которые разлагают вяжущее.

Способствовать инертных заполнителей к самовозгоранию, выделению вредных газов и веществ определяется на основе определения их минералогического состава, ре-

зультатов лабораторных испытаний на скорость сорбции кислорода инертными материалами, температурой воспламенения и условной скоростью окисления.

На основе лабораторных испытаний было установлено, что разница в достигаемой прочности закладки с применением золошлаков котельной с повышением ее возраста от 14 до 45 сут. и повышенном расходе цемента от 100 до 150 кг/м³ постепенно снижается в сравнении с прочностными характеристиками составов без использования золошлаков (таблица 1):

- при расходе вяжущего 100 кг/м³ и золошлаков 220 кг/м³ – практически одинаковы;

- при расходе вяжущего 120 кг/м³ и золошлаков 220 кг/м³ – в 1,9 раза;

- при расходе вяжущего 150 кг/м³ и золошлаков 220 кг/м³ – в 1,2 раза.

Паспорта прочности лабораторных образцов закладки представлены на рис. 3.

Деформационно-прочностные свойства образцов бутобетонной закладки, полученные в ходе лабораторных испытаний образцов в возрасте 45 сут., приведены в таблице 2.

В результате лабораторных испытаний образцов закладки установлено, что достигаемая прочность в 2 МПа в возрасте 45 сут. присуща составам с расходом вяжущего 100 и 120 кг/м³ при расходе золошлаков 220 кг/м³, а также при повышенном расходе золошлаков до 440 кг/м³. Прочность закладочного массива в 4 МПа в возрасте 45 сут. достигается при расходе вяжущего 120–150 кг/м³ без использования золошлаков.

Полученные в ходе лабораторных испытаний данные о прочностных характеристиках бутобетонной закладки хорошо согласуются с данными, ранее опубликованными в работе [11]. Так, в ходе испытаний образцов на месторождении Албазино (Хабаровский край) установлено, что в возрасте 14 сут. при расходе вяжущего 130 кг/м³ прочность бутобетонной закладки достигает 3,46–3,48 МПа, а в возрасте 30 сут. прочность образца при таком же расхо-

Таблица 1

Прочностные свойства образцов бутобетонной закладки в возрасте 45 сут.

Кесте 1

45 күндік бүршік бетон төсеу үлгілерінің беріктік қасиеттері

Table 1

Strength properties of rubble concrete backfill samples at the age of 45 days

Номер состава	Расход компонентов бутобетонных закладочных смесей, кг/м ³				Прочность закладочного массива, МПа, в возрасте, сутки		
	цемент	порода	золошлаки	вода	14	28	45
1	100	2335	-	190	1,02	1,12	2,14
2	100	1775	220	190	0,68	0,97	2,12
3	120	2335	-	190	1,12	2,04	4,12
4	120	1765	220	190	0,71	0,89	2,20
5	150	2250	-	200	1,20	2,20	4,22
6	150	1700	220	200	0,83	1,44	3,62
7	100	1189	440	200	0,66	0,88	2,06
8	150	1141	440	200	0,82	1,36	3,44

Таблица 2

Деформационно-прочностные свойства образцов бутобетонной закладки в возрасте 45 сут.

Кесте 2

45 күндік бүршік бетон төсеу үлгілерінің деформациялық-беріктік қасиеттері

Table 2

Deformation and strength properties of rubble concrete fill samples at the age of 45 days

Номер состава	Плотность, кг/м ³	Прочность на сжатие, МПа	Прочность на растяжение, МПа	Сцепление, МПа	Угол внутреннего трения, град.	Модуль упругости, ГПа	Коэф-т Пуассона
3	2,21	4,12	1,33	1,17	30,79	2,91	0,31
4	1,96	2,2	0,82	0,67	27,19	1,36	0,34

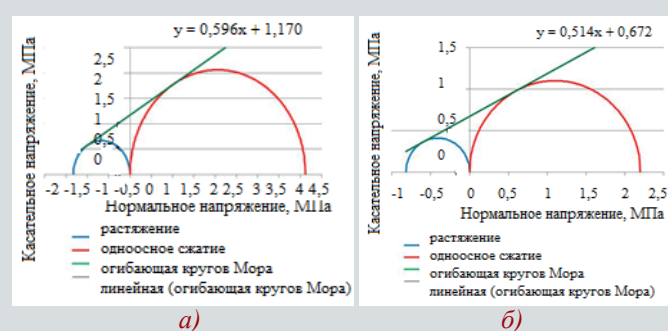


Рис. 3. Паспорта прочности лабораторных образцов закладки: а) состав № 3 (сцепление $C = 1,17$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 30,79^\circ$); б) состав № 4 (сцепление $C = 0,67$ МПа, угол внутреннего трения $\varphi = 27,19^\circ$).

Сурет 3. Зертханалық бетбелгі үлгілерінің беріктік паспорттары: а) № 3 композиция (C адгезиясы = 1,17 МПа, ішкі үйкеліс бұрышы $\varphi = 30,79^\circ$); б) № 4 композиция (C адгезиясы = 0,67 МПа, ішкі үйкеліс бұрышы $\varphi = 27,19^\circ$).

Figure 3. Strength passports of laboratory samples of the fill: a) composition No. 3 (adhesion $C = 1.17$ MPa, angle of internal friction $\varphi = 30.79^\circ$); b) composition No. 4 (adhesion $C = 0.67$ MPa, angle of internal friction $\varphi = 27.19^\circ$).

де цемента – 4,04–4,06 МПа. В тоже время, при расходе вяжущего 80 кг/м³ прочность образцов на 14 и 30 сутки достигает 1,24–1,26 МПа и 1,37–1,42 МПа, соответственно. Таким образом, повышение расхода цемента в 2,6 раза приводит к увеличению прочности бутобетонного закладочного массива в 2,8–2,85 раза.

Обсуждение результатов

Результаты испытаний рекомендуется считать ориентировочными и требующими проведения дополнительных исследований на керновом материале. Как показывает практика, косвенный метод недостаточно надежен из-за различия условий твердения смеси в образце и в массиве. В последнем случае прочность закладки выше на 30–40% за счет влияния температурного и компрессионного факторов. Однако для достижения цели исследований он вполне может быть использован.

Возможное ухудшение динамики набора прочности в производственных условиях может объясняться снижением химической и адгезионной активности как инертного заполнителя, так и цемента в результате хранения.

Факторы, улучшающие прочность закладочного массива:

- пустые породы будут утилизироваться сразу после проходки выработок, соответственно их поверхность будет обладать более высокой химической активностью и адгезией с цементирующим материалом;
- применение качественного цемента и наличие незначительного количества инертных добавок – около 28% по твердому;
- действие масштабного фактора и компрессии закладочного массива.

Факторы, ухудшающие свойства закладочного массива:

- нестабильность фракционного состава инертного заполнителя;
- сегрегация закладочного материала по крупности в процессе укладки в выработанное пространство;
- потенциальная опасность расслоения закладки и фильтрации цементирующего материала в нижнюю часть выработанного пространства в случае передозировки воды.

Заключение

Установлено значение среднего размера куса в проходческом забое, составляющий 177 мм, что приводит к усадке сформированного породного закладочного массива до 50%.

В результате лабораторных испытаний установлено, что в возрасте 45 сут. закладка с расходом вяжущего 100 и 120 кг/м³ при расходе золотшляков 220 кг/м³, а также при повышенном расходе золотшляков до 440 кг/м³ прочность искусственного массива достигает 2 МПа. Прочность закладочного массива в возрасте 45 сут. при расходе вяжущего 120–150 кг/м³ без использования золотшляков достигает 4 МПа.

Анализ нормативной базы по производству бутобетонной закладки свидетельствует о том, что данная технология на сегодняшний день полностью не регламентирована.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Крупник Л.А. Комбинат «Ачполиметалл» – основоположник пастовой закладки // Горный журнал Казахстана. 2023. № 8. С. 53–55 (на русском языке)
2. Шапошник Ю.Н., Неверов С.А., Неверов А.А. Бутобетонная закладка на подземных рудниках Крайнего Севера // Фундаментальные и прикладные вопросы горных наук. 2021. Т. 8. № 1. С. 282–290 (на русском языке)
3. Петров А.Н., Петров Д.Н. Совершенствование технологии закладки выработанных камер льдопородной смесью в криолитозонах // Горный журнал. 2015. № 4. С. 26–28 (на русском языке)
4. Петлований М.В., Зубко С.А., Попович В.В., Сай К.С. Физико-химический механизм структурообразования и упрочнения в массиве обратной засыпки при заполнении подземных полостей // Вопросы химии и химических технологий. Украинский государственный химико-технологический университет. 2020. № 6. С. 142–150 (на английском языке)
5. Цзян Х., Фолл М., Ли Ю., Хан Дж. Экспериментальное исследование поведения цементированной каменной засыпки при сжатии // Строительные Материалы. 2019. Т. 213. С. 10–19 (на английском языке)
6. Сейнсбери Д.П., Сейнсбери Б.Л. Проектирование и внедрение цементированной горной засыпки на месторождении Балларат Голд // Конференция Minefill 2014, Перт, Австралия, 2014. С. 205–216 (на английском языке)
7. Теория и практика закладочных работ при разработке месторождений полезных ископаемых: Учебник / М.Ж. Битимбаев, Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник. Алматы. 2012. 624 с. (на русском языке)
8. Основы процессов производства и транспортирования закладочных смесей при подземной разработке месторождений полезных ископаемых: Учеб. пособие / А.Н. Анушенков, А.Ю. Стовманенко, Е.П. Волков. Красноярск: Сиб. федер. ун-т. 2015. 208 с. (на русском языке)
9. Цирель С.В., Гапонов Ю.С., Шоков А.Н. Оценка влияния гранулометрического состава на сжимаемость и пустотность закладочного материала // ГИАБ. 2013. № 12. С. 80–83 (на русском языке)
10. Методические указания по профилактическому заиливанию и тушению подземных эндогенных пожаров на медно-колчеданных рудниках Республики Казахстан. Согласованы приказом Комитета по государственному контролю за чрезвычайными ситуациями и промышленной безопасностью Республики Казахстан от 20 августа 2008 года, № 33 (на русском языке)
11. Исследование свойств и определение параметров закладочного материала, состоящего из бутобетонной смеси (пустые породы месторождения Албазино с цементом) совместно с отработанными покрывками на руднике месторождения Албазино: отчет о НИР/ИПКОН РАН, М., 2017. 50 с. (на русском языке)

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Крупник Л.А. «Ачполиметалл» комбинаты-паста бетбелгісінің негізін қалаушы // Қазақстан кен журналы. 2023. № 8. Б. 53–55 (орыс тілінде)
2. Шапошник Ю.Н., Неверов С.А., Неверов А.А. Қиыр солтүстіктің жерасты шахталарына бетон төсеу // Тау-кен ғылымдарының іргелі және қолданбалы мәселелері. 2021. Т. 8. № 1. Б. 282–290 (орыс тілінде)
3. Петров А.Н., Петров Д.Н. Криолитозондарда мұз жынысы қоспасымен өндірілген камераларды төсеу технологиясын жетілдіру // Тау-кен журналы. 2015. № 4. Б. 26–28 (орыс тілінде)
4. Петлований М.В., Зубко С.А., Попович В.В., Сай К.С. Жер асты қуыстарын толтыру кезінде толтыру массивінде құрылымды қалыптастырудың және нығайтудың физика-химиялық механизмі // Химия және химиялық технологиялар сұрақтары. Украина мемлекеттік химия-технология университеті. 2020. № 6. Б. 142–150 (ағылшын тілінде)
5. Цзян Х., Фолл М., Ли Ю., Хан Дж. Сығымдау кезіндегі цементтелген тау жыныстарының әрекетін эксперименттік зерттеу // Құрылыс материалдары. 2019. Т. 213. Б. 10–19 (ағылшын тілінде)
6. Сейнсбери Д.П., Сейнсбери Б.Л. Балларат алтын кенішінде цементтелген тау жыныстарын толтыруды жобалау және енгізу // Minefill 2014 конференциясы, Перт, Австралия, 2014. Р. 205–216 (ағылшын тілінде)
7. Пайдалы қазбалар кен орындарын игеру кезіндегі қалау жұмыстарының теориясы мен практикасы: Оқулық / М.Ж. Битимбаев, Л.А. Крупник, Ю.Н. Шапошник. Алматы, 2012. 624 б. (орыс тілінде)

8. Пайдалы қазбалар кен орындарын жерасты игеру кезінде толтырғыш қоспаларды өндіру және тасымалдау процестерінің негіздері: Оқу құралы / А.Н. Анушенков, А.Ю. Стовманенко, Е.П. Волков. Красноярск: Сиб. федералды университет, 2015. 208 б. (орыс тілінде)
9. Цирель С.В., Гапонов Ю.С., Шоков А.Н. Гранулометриялық құрамның қалау материалының сығылуы мен бос болуына әсерін бағалау // ГИАБ. 2013. № 12. 2013. Б. 80–83 (орыс тілінде)
10. Қазақстан Республикасының мыс-колчедан кеніштерінде жерасты эндогендік өрттерін профилактикалық Тұндыру және сөндіру жөніндегі әдістемелік нұсқаулар. Қазақстан Республикасы Төтенше жағдайларды және өнеркәсіптік қауіпсіздікті мемлекеттік бақылау комитетінің 2008 жылғы 20 тамыздағы № 33 бұйрығымен келісілді (орыс тілінде)
11. Альбазино кен орнының кенішінде пайдаланылған шиналармен бірге бутобетон қоспасынан (цементі бар Альбазино кен орнының бос жыныстары) тұратын толтырғыш материалдың қасиеттерін зерттеу және параметрлерін анықтау: ФЗЖ/ИПКОН РАН туралы есеп, М., 2017. 50 б. (орыс тілінде)

REFERENCES

1. Krupnik L.A. Kombinat «Achpolimetall» – osnovopolozhnik pastovoi zakladki [Achpolimetall Plant – the Founder of Paste Filling], Gornyi zhurnal Kazakhstana [Mining Journal of Kazakhstan]. 2023. No. 8. 53–55 pp. (in Russian)
2. Shaposhnik Yu.N., Neverov S.A., Neverov A.A. Butobetonnyaya zakladka na podzemnykh rudnikakh Krainego Severa [Rubble Concrete Filling in Underground Mines of the Far North], Fundamental'nye i prikladnye voprosy gornykh nauk [Fundamental and Applied Issues of Mining Sciences]. 2021. V. 8. No. 1. 282–290 pp. (in Russian)
3. Petrov A.N., Petrov D.N. Sovershenstvovanie tekhnologii zakladki vyrabotannykh kamer l'doporodnoi smes'yu v kriolitozonakh [Improving the Technology of Filling Mined-Out Chambers with Ice-Rock Mixture in Cryolithozones], Gornyi zhurnal [Mining Journal]. 2015. No. 4. 26–28 pp. (in Russian)
4. Petlovanyi M.V., Zubko S.A., Popovych V.V., Sai K.S. Physicochemical mechanism of structure formation and strengthening in the backfill massif when filling underground cavities // Questions khimii i khimicheskoi tekhnologii, Ukrainian State University of Chemical Technology. 2020. No. 6. 142–150 pp. (in English)
5. Jiang H., Fall M., Li Y., Han J. An experimental study on compressive behavior of cemented rockfill // Constr. Build. Mater. 2019. V. 213. 10–19 pp. (in English)
6. Sainsbury D.P., Sainsbury B.L. Design and implementation of cemented rockfill at the Ballarat Gold Project // Conference: Minefill 2014. Perth, Australia, 2014. 205–216 pp. (in English)
7. Teoriya i praktika zakladochnykh rabot pri razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Uchebnik [Theory and practice of stowage operations during development of mineral deposits: Textbook], M.Zh. Bitimbaev, L.A. Krupnik, Yu.N. Shaposhnik. Almaty, 2012. 624 p. (in Russian)
8. Osnovy protsessov proizvodstva i transportirovaniya zakladochnykh smesei pri podzemnoi razrabotke mestorozhdenii poleznykh iskopaemykh: Ucheb. posobie [Fundamentals of production processes and transportation of stowage mixtures during underground development of mineral deposits: Textbook. Manual], A.N. Anushenkov, A.Yu. Stovmanenko, E.P. Volkov. Krasnoyarsk: Sib. feder. un-t, 2015. 208 p. (in Russian)
9. Tsirel S.V., Gaponov Yu.S., Shokov A.N. Otsenka vliyaniya granulometricheskogo sostava na szhimaemost' i pustotnost' zakladochnogo materiala [Evaluation of the influence of granulometric composition on the compressibility and voidage of backfill material], GIAB [Mining Information and Analytical Bulletin]. 2013. No. 12. 80–83 pp. (in Russian)
10. Metodicheskie ukazaniya po profilakticheskomu zailivaniyu i tusheniyu podzemnykh endogennykh pozharov na medno-kolchedannykh rudnikakh Respubliki Kazakhstan. Soglasovany prikazom Komiteta po gosudarstvennomu kontrolyu za chrezvychainymi situatsiyami i promyshlennoi bezopasnost'yu Respubliki Kazakhstan ot 20 avgusta 2008 goda, № 33 [Guidelines for preventive siltation and extinguishing of underground endogenous fires in copper-pyrite mines of the Republic of Kazakhstan. Agreed upon by the order of the Committee for State Control over Emergencies and Industrial Safety of the Republic of Kazakhstan dated August 20, 2008, No. 33] (in Russian)
11. Issledovanie svoistv i opredelenie parametrov zakladochnogo materiala, sostoyashchego iz butobetonnoi smesi (pustye porody mestorozhdeniya Albazino s tsementom) sovmestno s otrabotannymi pokryshkami na rudnike mestorozhdeniya Albazino: otchet o NIR/IPKON RAN [Study of properties and determination of parameters of backfill material consisting of rubble concrete mixture (waste rock of the Albazino deposit with cement) together with spent tires at the Albazino mine: Research Report/ IPKON RAS], Moscow, 2017. 50 p. (in Russian)

Сведения об авторах:

Шапошник С.Н., д.т.н., доцент, ассоциированный профессор Школы наук о Земле Восточно-Казахстанского технического университета им. Д. Серикбаева (г. Усть-Каменогорск, Казахстан), shaposhniksergey@mail.ru; <https://orcid.org/0009-0001-7721-0706>

Крупник Л.А., д.т.н., профессор, профессор-исследователь кафедры «Технологические машины и оборудование» Института энергетики и машиностроения им. А. Буркитбаева, Satbayev University (г. Алматы, Казахстан), leonkr38@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-5779-8218>

Шапошник Ю.Н., д.т.н., профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории подземной разработки рудных месторождений Института горного дела СО РАН (г. Новосибирск, Россия), shaposhnikyury@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-5425-0158>

Портала В.А., д.т.н., профессор, профессор кафедры аэрологии, охраны труда и природы Кузбасского государственного технического университета (г. Кемерово, Россия), portola2@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0002-7920-1248>

Авторлар туралы мәліметтер:

Шапошник С.Н., т.ғ.д., доцент, Шығыс Қазақстан техникалық университетінің Жер туралы ғылымдар мектебінің қауымдастырылған профессоры Д. Серікбаев атындағы (Өскемен қ., Қазақстан)

Крупник Л.А., т.ғ.д., профессор, Ә. Бүркітбаев атындағы энергетика және машина жасау институтының «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының зерттеуші профессоры, Satbayev University (Алматы қ., Қазақстан)

Шапошник Ю.Н., т.ғ.д., профессор, РФА СБ Тай-кен институтының кен орындарын жерасты игеру зертханасының жетекші ғылыми қызметкері (Новосибирск қ., Ресей)

Портала В.А., т.ғ.д., профессор, Кузбасс мемлекеттік техникалық университетінің аэрология, еңбекті қорғау және табиғат кафедрасының профессоры (Кемерово қ., Ресей)

Information about the authors:

Shaposhnik S.N., D.Sc. (Eng.), Associate Professor, Associate Professor of the School of Earth Sciences, East Kazakhstan Technical University named after D. Serikbayev (Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan)

Krupnik L.A., D.Sc. (Eng.), Professor, Research Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Institute of Power Engineering and Mechanical Engineering named after A. Burkitbayev, Satbayev University (Almaty, Kazakhstan)

Shaposhnik Yu.N., D.Sc. (Eng.), Professor, Leading Researcher, Laboratory of Underground Mining of Ore Deposits, Institute of Mining SB RAS (Novosibirsk, Russia)

Portola V.A., D.Sc. (Eng.), Professor, Professor, Department of Aerology, Occupational Safety and Environment, Kuzbass State Technical University (Kemerovo, Russia)



TECH MINING RUSSIA

www.techmining.ru

7-Я СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ И ВЫСТАВКА

СТРОИТЕЛЬСТВО, МОДЕРНИЗАЦИЯ И ЦИФРОВИЗАЦИЯ ГОРНОГО ПРЕДПРИЯТИЯ

17-18

сентября
2025

Москва

Novotel Moscow City



16+

