

Список литературы

1. Каплунов Д.Р., Юков В.А. Геотехнология перехода от открытых к подземным горным работам: учеб. пособие. М.: Горная книга, 2007. 267 с.: ил.
2. Гавришев С.Е., Бурмистров К.В., Кидяев В.А. Использование преимуществ карьерного комбинированного транспорта при открыто-подземной разработке месторождений // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2010. №3. С. 25-28
3. Васильев М.В., Фадеев Б.В., Хохряков В.С.. Наклонные подъемники на карьерах. М.: Госгортехиздат, 1962. 151 с.
4. Васильев М.В. Транспорт глубоких карьеров. М.: Недра, 1983. 295 с.
5. Трубецкой К.Н., Краснянский Г.Л., Хронин В.В.. Проектирование карьеров: учебник для вузов: в 2 т. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Изд. Академии горных наук, 2001. Т. II. 535 с.: ил.
6. Спиваковский А.О., Дьячков В.К. Транспортирующие машины. Изд. 2-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1968. 504 с.
7. Шахмейстер Л.Г., Солод Г.И.. Подземные конвейерные установки / под ред. чл.-кор. АН СССР Спиваковского А.О. М.: Недра, 1976, 432 с.
8. Транспорт на горных предприятиях / Кузнецов Б.А., Ренгевич А.А., Шорин В.Г. и др. М.: Недра, 1976. 552 с.
9. Щелканов В.А. Подземные выработки на карьерах. М.: Недра, 1982. 128 с.
10. Высокопроизводительные глубокие карьеры / Новожилов М.Г., Дриженко А.Ю., Маевский А.М. и др.; под ред. Новожилова М.Г. М.: Недра, 1984. 188 с.

Bibliography

1. Kaplunov D.R., Yukov V.A. Geotechnology transition from open to underground mining operations: The manual. Moscow: Publishing House «Mountain Book», 2007. 267 p.
2. Gavrishev S.E., Burmistrov K.V., Kidyayev V.A. Take advantage of open pit combined transport in open and underground mining // Bulletin MSTU named after G.I. Nosov. 2010. №3. P. 25-28
3. Vasiliev M.V., Fadeev B.V., Khokhryakov V.S. Inclined lifts in the open pits. Gosgortekhizdat, M., 1962. 151 p.
4. Vasiliev M.V. Transport of deep pits. M.: Nedra, 1983. 295 p.
5. Trubetzkoj K.N., Krasnyansky G.L., Hronin V.V. Pit design: Textbook. for Universities: 2 volumes. 2 ed., rev. and add. M.: Publishing House of the Academy of Mining Sciences, 2001. T. II. 535 p.
6. Spivakovskiy A.O., Dyachkov V.K. Transporting machine. Ed. 2nd, revised. and add. M.: Publishing House «Machine industry», 1968. 504 p.
7. Shahmeyer L.G., Solod G.I. Underground conveyor systems. Under. Ed. Corresponding Member. USSR Spivakovskiy S.A. M.: Nedra, 1976. 432 p.
8. Kuznetsov B.A., Rengevich A.A., Shorin V.G. etc. Transport in mines. M.: Nedra, 1976. 552 p.
9. Shchelkanov V.A. Underground workings in the pits. M.: Nedra, 1982, 128 p.
10. Novozhilov M.G., Drizhenko A.U., Majewsky A.M. and others, Under. ed. Novozhilov M.G. High performance deep pits. M.: Nedra, 1984, 188 p.

УДК 622.3

Монтянова А.Н., Кириллов Д.С., Штауб И.В., Бильдушкинов Е.В.

## СПЕЦИФИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЗАКЛАДОЧНЫХ РАБОТ НА РУДНИКЕ «МИР» АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ АК «АЛРОСА»

Объектом изложенных в статье исследований являлась технология закладочных работ на алмазодобывающем руднике «Мир» при очистной выемке системой с закладкой выработанного пространства.

Приведены результаты усовершенствования технологии приготовления закладочных смесей – последовательное внедрение новых клинкерных и малоклинкерных составов, позволяющих сократить потребности в цементе на 10 и 30% соответственно.

**Ключевые слова:** кимберлитовая трубка, система разработки, цементный клинкер, цеолитовые породы, малоклинкерные вяжущие, природные рассолы, закладочный массив, водоупорные свойства.

The object of research described in the article is the method of backfilling in the Mir underground diamond mine which is developed using stoping excavation and backfilling mining method.

The results of improvement of technology of mixing the backfilling mixtures are presented, specifically, the consistent introduction of new clinker and low-clinker mixtures, which allow reducing the cement content by 10 and 30% respectively.

**Keywords:** kimberlite pipe, mining method, cement clinker, zeolite rocks, low-clinker cements, natural brines, backfilling mass, water-resistant properties.

Высокое содержание и ценность алмазов в добываемом сырье наряду с экстремальными условиями разработки алмазонасыщенной кимберлитовой трубки «Мир» предопределили целесообразность использования при подземной добыче системы разработки с закладкой выработанного пространства. В настоящее время практике закладочных работ на алмазодобывающем руднике «Мир» АК «АЛРОСА» 2 года. За столь незначительный период на руднике успешно внедрено ряд технических решений по сокращению стоимости возводимых закладочных массивов. Вместе с тем, осложнение гидрогеологической обстановки на руднике, вследствие проникновения рассолов Метегеро-Ичерского горизонта через предохранительный рудный целик в дне карьера, предопределяет необходимость изыскания способов предотвращения фильтрации воды в очистное пространство. Один из возможных способов – создание закладочного массива с водоупорными свойствами, разработка которого представляет собой актуальную и сложную технологическую задачу.

На первом этапе, на руднике «Мир» производство

закладочных смесей осуществлялось с применением в качестве вяжущего – порландцемента М400. Однако техническими решениями, разработанными на стадии технологических регламентов и проектов, был предусмотрен переход на использование в закладочных смесях не порландцемента, а молотого цементного клинкера. Внедрение составов на основе молотого клинкера состоялось уже в первый год эксплуатации рудника «Мир».

С указанной целью на закладочном комплексе рудника «Мир» введен в эксплуатацию участок помола с мельницей, оснащенной камерой сушки, и сепаратором фирмы «СИМТЕК» (Австрия) для нужд двух подземных рудников: «Мир» и «Интернациональный». Рудник «Интернациональный» расположен в 20 км от рудника «Мир».

Использование свежемолотого клинкера исключило потери и ухудшение качества дорогостоящего вяжущего в процессе его длительного транспортирования и хранения в межнавигационный период, что обеспечило снижение расхода цемента в составах закладочных смесей на 10% (табл. 1).

Таблица 1

Основные свойства закладки, используемой на руднике «Мир»

Фактический расход компонентов, кг/м <sup>3</sup>						Вода + рас- сол/цемент + цеолит Водо/вяжущее	Предел прочности при сжатии, МПа (усло- вия тверде- ния – нор- мальные)	Водоне- проницае- мость W через 28 90 сут
Вяжущее, кг/м <sup>3</sup>		Диабаз	Вода	Рас- сол	До- бавка ЛСТ			
Це- мент	Цео- лит							
293**		1427	369		1,7	1,26	7,95	W2 W0
201**	86	1357	174	174	2,5	1,21	9,0	W2 W0
329*		1306	380		1,0	1,15	6,9	W2 W2
103**		1549	387		0,6	3,76	1,00	W2 W0

\* Портландцемент М400.

\*\* Молотый цементный клинкер.

С целью снижения водоотделения от закладочных массивов, разупрочняюще влияющего на кимберлит, все составы закладочных смесей для рудников АК «АЛРОСА» содержат добавку лигносульфоната технического (ЛСТ). Эффективность применения ЛСТ при производстве закладочных смесей подтверждена практикой на рудниках АК «АЛРОСА». Доказано, что введение ЛСТ в закладочные смеси позволяет увеличить их растекаемость в выработанном пространстве с 40 до 80 м, снижает водоотделение от закладочного массива в два раза и повышает прочность закладки эквивалентно ~ 50 кг портландцемента. Дополнительно зафиксировано, что смеси с ЛСТ самотеком освобождают трубопровод до начала его промывки (угол наклона горизонтального участка 2°).

Поиск приемлемых технических решений в области сокращения потребления цемента на рудниках «Мир» и «Интернациональный» побудил вернуться к исследованиям института Якутннпроалмаз 1982-1996 гг. В отмеченный период было выявлено [1], что местные цеолитовые породы месторождения «Хонгуруу» являются эффективным средством сокращения расхода цемента при производстве строительной продукции и закладочных смесей. Однако результаты были получены на закладочных смесях, приготовленных с использованием только карбонатных заполнителей, обладающих, как известно, некоторой активностью.

При разработке составов закладочных смесей для рудника «Мир» (2002-2003 гг.) было выявлено, что использование в качестве заполнителей не карбонатных, а инертных материалов (диабазовые породы, мелкозернистые пески) снижает эффективность цеолитовых пород как средства сокращения цемента.

В 2008 г. специалистами ООО «Технологии закладки» и АК «АЛРОСА» разработано новое техническое решение. Установлено, что при затворении цеолитосодержащих закладочных смесей местными природными рассолами Метегеро-Ичерского водоносного комплекса активизируются свойства цеолитовых пород. Размещение рассолов, являющихся сильнейшими электролитами, в их поровом простран-

стве способствует образованию связей с цементом не только поверхностным слоем частиц цеолита, но и внутренним. В закладочной смеси активизированные цеолитовые породы интенсивно взаимодействуют с цементом, а также хлористыми солями, содержащимися в рассолах, что сопровождается существенным улучшением свойств закладки. Улучшаются подвижность и растекаемость закладочных смесей; снижаются усадка и водоотделение; возрастает в 5-7 раз ранняя прочность

закладки (возраст 3-7 сут). Получены композиции, в которых цеолитом замещается 30-40% молотого клинкера или портландцемента, без потери прочности закладки и независимо от применяемого заполнителя.

Новое техническое решение защищено патентом и внедрено. При этом на закладочном комплексе рудника «Мир» осуществляется приготовление цеолитосодержащего вяжущего также для нужд двух рудников: «Мир» и «Интернациональный». Проектная производительность помольного участка – 200 тыс. т вяжущего в год.

Экономическими расчетами, выполненными Мирнинским ГОКом, установлено, что внедрение цеолитосодержащих составов на рудниках «Мир» и «Интернациональный» обеспечило снижение стоимости закладочных смесей на 16-18%. При этом потребности в дорогостоящем привозном цементном клинкере сокращены на 30% без потери прочности закладки (см. табл. 1).

При решении задачи по созданию на руднике «Мир» закладочного массива с водоупорными свойствами учитывался опыт, наработанный в строительстве. Из практики строительства известно, что в основном водонепроницаемость бетона зависит от его пористости и водоцементного отношения (у обычного бетона В/Ц от 0,4 до 1,0, у водонепроницаемого – до 0,4). Закладочный массив формируется из твердеющих смесей с В/Ц от 1, до 4,0. При таких В/Ц закладочный массив характеризуется высокой пористостью (~ 35%) и влажностью (~ 20%) [1]. Данные параметры значительно превосходят показатели, характерные для бетона. Водонепроницаемость закладки ранее не изучалась.

На первом этапе исследований установлено ускоренным методом, что водонепроницаемость используемых на руднике «Мир» закладочных смесей характеризуется показателями W0-W2 (см. табл. 1). Однако с учетом того, что по факту в производственных условиях составы закладочных смесей отличаются повышенным водосодержанием по сравнению с лабораторными составами, очевидно, что в основной своей массе

у сформированных на руднике «Мир» закладочных массивов показатель водонепроницаемости  $W_0$ .

Кроме того, путем визуальных наблюдений за состоянием искусственной кровли на руднике «Мир» установлено, что наиболее проблемными с точки зрения водопроницаемости являются сопряжения искусственных массивов в пределах слоя сопряжения с вмещающими породами, а также зоны вокруг перемычек.

Разработана «Методика проведения экспериментальных исследований». При этом использовались как известные, так и специально разработанные методы. Всего в процессе экспериментов изготовлено 144 серии образцов для различного вида испытаний. С целью обеспечения закладке водонепроницаемости исследована эффективность введения в составы закладочных смесей различных специальных добавок (табл. 2).

Установлено, что с течением времени (90 и более суток) водонепроницаемость всех составов, не содержащих модификатор бетона, снижается или сводится на нет. Следует уточнить, что данные показатели получены при определении водонепроницаемости ускоренным методом. Запланирована перепроверка полученных результатов путем проведения стандартных испытаний по методу «мокрого пятна».

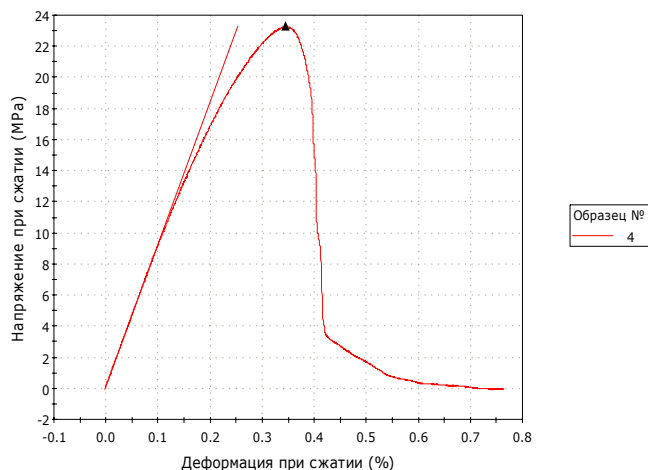


Рис. 1. Зависимость «напряжение-деформация» при испытании образца высокопрочной, водоупорной закладки с модификатором ( $W \geq 16$ )

Разработанные составы закладочных смесей различной водонепроницаемости, вследствие их патентоспособности, не приводятся, а свойства наиболее характерных составов представлены в табл. 3. При этом водонепроницаемость  $W \geq 16$  у составов с модификатором установлена стандартным способом – испытанием водой под давлением.

Таблица 2

Водонепроницаемость образцов закладки

Номер серии	Спец-добавка + пластификатор	В/Ц	$R_{сж}$ , МПа	$R_{изг}$ , МПа	Водонепроницаемость $W$ через 28/90 суток
В-4	нет + ЛСТ	1,15	6,9	1,8	$W_2 W_2$
102	нет + ЛСТ	0,83	20,5	4,8	$W_{10} W_2$
103	нет + ЛСТ	0,75	21,5	5,2	$W_{14} W_4$
В-79	Кальматрон+ ЛСТ	0,69	20,6	4,9	$W_4 W_2$
В-63	Акватрон + «С-3»	0,82	16,2	3,0	$W_0 W_0$
В-75	МБ 10-50С+ нет	0,50	30,2	8,3	$W_{20} W_{20}$ , $W \geq 16$ при испытании водой под давлением

Таблица 3

Свойства водонепроницаемых составов закладки

Технологические параметры	Численные значения технологических параметров		
	Требуемые	Состав без спецдобавок, $W_2$	Состав с МБ, $W \geq 16$
Растекаемость, см	$\geq 19$	23	22
Угол растекания, град	$\leq 3$	2	1
Предельное напряжение сдвига, кгс/м <sup>2</sup>	$\leq 20$	10,8	8,3
Коэффициент расслаиваемости	$\leq 1,5$	1,5	1,27
Водоотделение, %	$\leq 1$	0,4	0
Усадка, %	$\leq 1$	0,5	0,07
Предел прочности при одноосном сжатии / изгибе, МПа	$\geq 1$	6,9 / 1,8	30,2 / 8,5
Модуль деформации, МПа		8500	8900
Водонепроницаемость	$W_2$ - $W_{12}$	$W_2$ (требуется перепроверка)	$W \geq 16$ (установлен методом «мокрого пятна»)
Адгезия к соли/закладке, МПа	$\geq 0,1$	0,09 / 0,17	0,15 / 1,74
Коррозионная стойкость	$\geq 0,8$	0,85	1,09
Предел прочности при сжатии через 28/120 суток		6,9/10,3	30,2/45,5

В лабораторных условиях ИПКОН РАН на установке ИНСТРОН определены деформационные свойства закладки.

Выявлено, что, несмотря на высокие прочностные показатели составов с модификатором, модуль их деформации практически идентичен модулю деформации закладки, применяемой на рудниках «Мир» и «Айхал» и выявленному ранее [1]. Закладка не является жесткой, что подтверждается динамикой разрушения образцов в процессе испытаний (рис. 1). Вывод также требует перепроверки, что запланировано.

Эффективность Модификатора объясняется повышенным содержанием гелевых пор ( $1-5 \cdot 10^3$  мкм) в продуктах твердения и соответственно сокращенным объемом капиллярных пор ( $5 \cdot 10^3-2 \cdot 10^1$  мкм), которые определяют водо- и газопроницаемость цементной системы [2]. Коэффициент фильтрации системы также приведен на рис. 2.

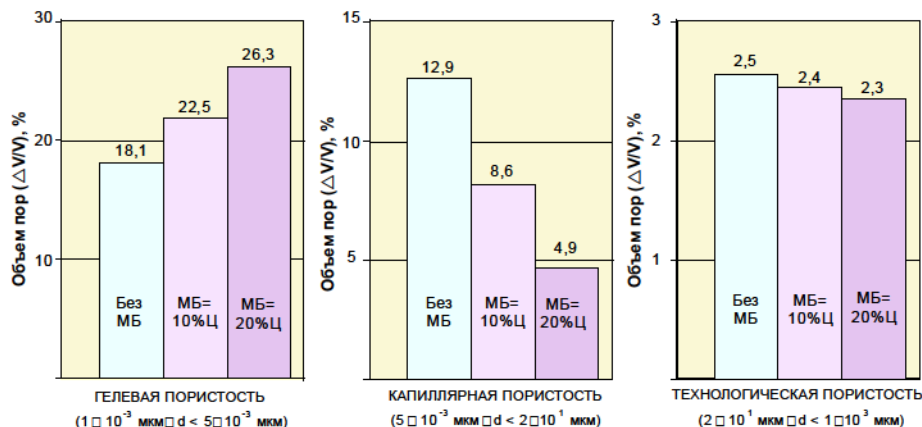
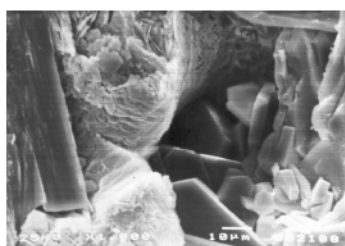
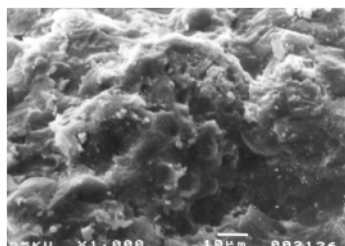


Рис. 2. Пористость цементного камня с комплексным органоминеральным модификатором (общая пористость 33,5%)

В целом структура цементного камня становится более дисперсной с преобладанием мелкозернистых кристаллогидратов и гелеобразных продуктов твердения (рис. 3) [2]. Изменения структуры способствуют снижению проницаемости цементных систем с модификаторами для жидкостей, газов, ионов хлора (рис. 4) [2].



без модификатора



с модификатором типа МБ

Рис. 3. Микроструктура цементного камня (увеличение в 1000 раз)

Геомеханическими и термодинамическими расчетами не выявлены противопоказания к применению водоупорного закладочного массива на руднике «Мир».

Сформулированы предварительные рекомендации по конструктивным параметрам и местоположению водоупорного слоя. Основные положения следующие. При возведении водоупорного закладочного массива его несущую часть целесообразно формировать без изменений (толщина 1,5 м, слой армируется, выравни-

вание слоя производится с помощью промежуточных перемычек, марка закладки М60). Водоупорную прослойку целесообразно формировать над несущим слоем либо мощной, до заполнения выработки под кровлю (I вариант, без спецдобавок), либо толщиной ~ 0,5 м (II вариант, с модификатором). При этом во втором варианте пространство над водоупорной прослойкой заполняется базовым составом закладки М10, т.е. массив трехслойный.

Необходимо производить дополнительное инецирование сопряжений закладочных массивов в случае, если герметизации швов не удастся достичь за счет адгезии, что предусмотрено.

Водоупорный закладочный слой следует заглублять во вмещающие породы с целью исключения фильтрации контактной зоны. Заглубленную часть искусственного массива целесообразно формировать с подъемом с целью создания

эффекта мулды. Поскольку над водоупорным слоем будет скапливаться фильтрат, появляется опасность его прорыва. Для предотвращения данного негативного аспекта необходимо предусмотреть сооружение в заданной части водоупорного слоя дренажной скважины для отвода скапливающегося фильтрата. Предпочтительно местоположение водоупорного закладочного слоя ( $v \sim 150$  тыс. м<sup>3</sup>) в отметках от -280 до -290 м (вмещающие породы – доломиты). Возможно возведение водоупорного слоя в контакте с галогенными вмещающими породами. Однако в последнем случае сложнее обеспечить герметичность зоны «закладка-соль» вследствие более низкой адгезионной прочности данного контакта и природной трещиноватости, ползучести, растворимости галогенного массива.

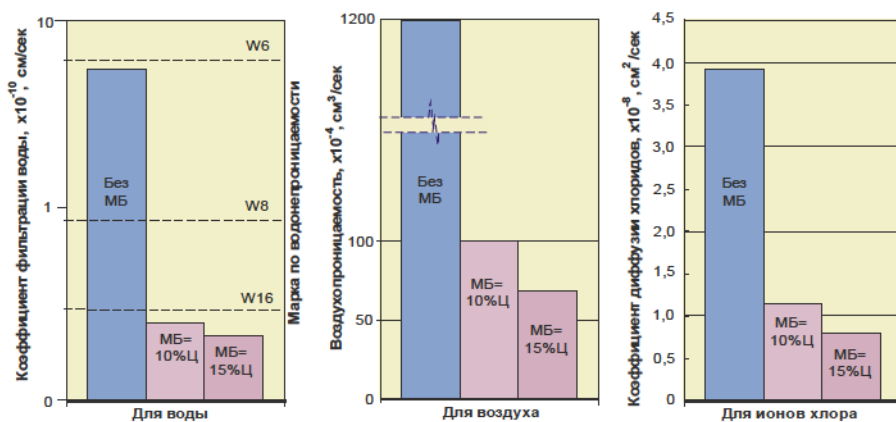
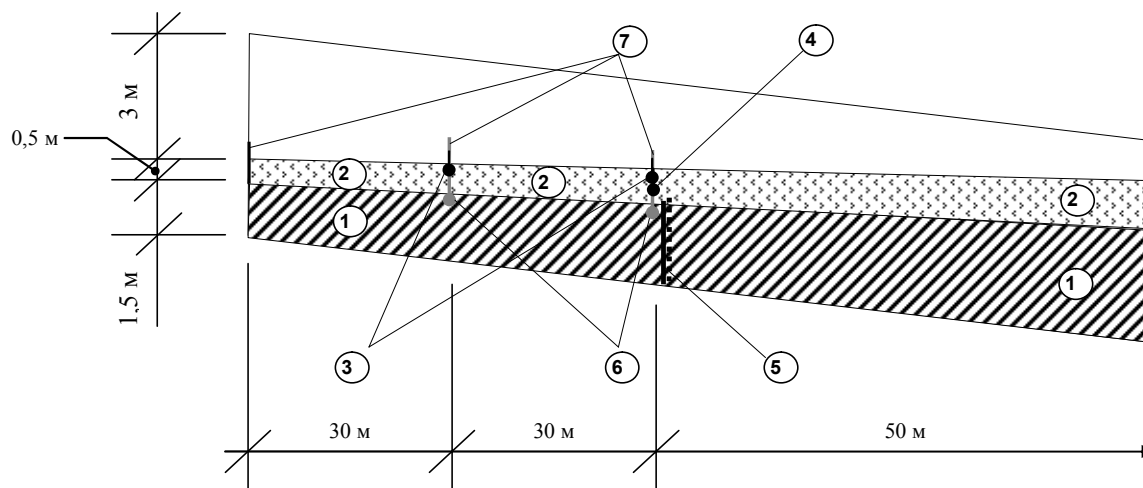


Рис. 4. Проницаемость цементных систем с комплексными органоминеральными модификаторами

Исследования, в результате которых выявлена возможность создания закладочного массива с водопорными свойствами, завершены в мае 2012 г. Следует подчеркнуть, что работа по данной тематике выполнялась впервые в мировой практике, положительный результат не гарантировался, т.е. работа носила поисковый характер.

Полученные положительные результаты подлежат

проверке, развитию, оптимизации, конкретизации в рамках опытно-промышленных испытаний (далее – ОПИ) на руднике «Мир». Методика ОПИ разработана. Пример формирования опытного закладочного массива с водопорными свойствами представлен на рис. 5, испытания намечены на ноябрь 2012 г. При положительных результатах ОПИ в первой половине 2013 г. запланирована разработка технологического регламента.



**Рис. 5. Способ формирования в процессе ОПИ водопорных закладочных массивов над несущим слоем (на примере водопорного слоя по варианту II): 1 – базовый состав закладки М60; 2 – водопорный состав,  $W > 16$ , с модификатором; 3 – перфорированный шланг для подачи воды (прокладывается по ширине выработки); 4 – перфорированный шланг для подачи инъекционного раствора типа «Микродур» (прокладывается по ширине выработки); 5 – постоянная промежуточная перемычка в несущем слое (не демонтируется); 6 – наблюдательные скважины, пробуренные на всю шину выработки (под стыками); 7 – временные ограждающие перемычки демонтируются)**

**Список литературы**

1. Монтянова А.Н. Формирование закладочных массивов при разработке алмазных месторождений в криолитозоне. М.: Горная книга, 2005. 597 с.
2. Влияние органоминерального модификатора МБ-50С / Каприелов С.С., Шейнфельд А.В., Карпенко Н.И., Кузнецов Н.И. Влияние на структуру и деформативность цементного камня и высокопрочного бетона // Бетон и железобетон. 2003. №3. С. 2-7.

**Bibliography**

1. Montyanova A.N. Backfilling Mass Formation during the Development of Diamond Deposits in Kryolitic Zone. Moscow, Gornaya kniga, 2005. 597 p.
2. Kapriyevlov S.S., Scheinfeld A.V., Karpenko N.I., Kuznetsov N.I. Effect of MB-50C Organo-Mineral Modifying Agent on the Structure and Deformability of the Cement Stone and High-Strength Concrete. // Beton I Zhelezobeton (Concrete and Reinforced Concrete), №3, 2003, pp. 2-7.