

УДК 622.693.2.004.4

ФОРМИРОВАНИЕ В ГОРНОМ МАССИВЕ ИНЪЕКЦИОННЫХ ПРОТИВОФИЛЬТРАЦИОННЫХ ЗАВЕС С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭНЕРГИИ УПРУГИХ ВОЛН

Войтенко В.С. (ООО «Белорусское горное общество», г. Минск, Беларусь),
Оника С.Г., Халявкин Ф.Г. (Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Беларусь), Новиков С.С. (ПКФ «Недра – С», Россия)

В статье рассматриваются технология производства работ и оборудование для увеличения проницаемости горных пород воздействием упругих волн, создаваемых оборудованием. Приведен анализ существующих видов тампонирующего и тампонирующих смесей.

Введение

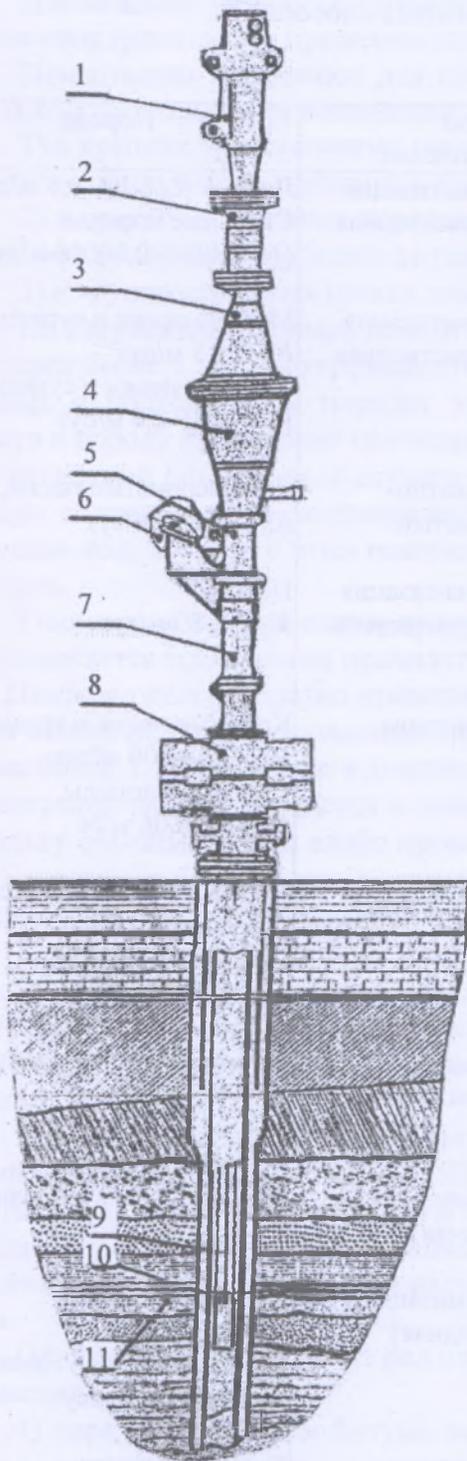
В рассматриваемом инъекционном способе создания противofильтрационных завес для защиты шахтных стволов и карьеров от притока подземных вод применяется разработанная под руководством профессора А.И. Божала технология волнового нагнетания жидких и вязких сред в пористые структуры. Эта технология позволяет обеспечить продвижение различных эмульсионных, коллоидных и суспензионных материалов в пористые и трещиноватые горные породы на значительно большие расстояния от места нагнетания и тем самым создать более надежную защиту в результате затвердевания кольматантов. Образование этой защиты осуществляется через скважины, пробуренные до глубины, на которой создается завеса. Диаметр скважины выбирается с учетом конкретных условий проведения работ. Эти скважины должны иметь одинаковую проходимость по всему сечению и быть обсаженными до зоны образования завесы.

Созданию противofильтрационной завесы на проектной глубине предшествуют замеры интенсивности зон поглощения на проектных отметках и в целом по скважине. Аналогичные замеры проводят и в ближайших скважинах. Повторяются эти замеры после образования проектной фofильтрационной завесы, а при необходимости и в процессе ее формирования.

Результаты исследований

Для обеспечения жидкостной проницаемости грунтов и скальных структур направленными ударными («силовыми») волнами путем вскрытия существующих и образования в горном массиве новых пор и трещин разработано специальное оборудование (рисунок). Волновую обработку участка горного массива, в котором запроектирована противofильтрационная завеса проводят до начала работ по созданию этой завесы. При этом общую проницаемость скважины доводят до максимального расхода жидкой фазы, который способна пропустить волновая установка при расчетном давлении нагнетания.

В волновую установку кольматант (тампонирующая смесь) подается под нарастающим статическим давлением от 0,1 МПа в начале до расчетного в конце закачки. Величина давления в конце закачки зависит от вязкости кольматантa по мере потери приемистости горного массива в зоне создания противofильтрационной завесы.



- 1 – пульсатор (ударный механизм); 2 – излучатель силовых волн;
- 3, 4 – генератор силовых волн; 5 – катушка с патрубками;
- 6 – приспособления для спуска отражателя; 7 – катушка переходная;
- 8 – противовыбросовое оборудование;
- 9 – каротажный кабель (трос для спуска отражателя силовых волн);
- 10 – отражатель силовых волн; 11 – объект обработки

Рисунок – Специальное оборудование для обеспечения жидкостной проницаемости грунтов и скальных структур направленными ударными («силовыми») волнами

При больших объемах поглощения кольматанта допускается на первом этапе закачка более вязких растворов и растворов с более крупным гранулометрическим составом наполнителя, который сменяется на второй и последующих стадиях менее вязким раствором и с менее крупным гранулометрическим составом наполнителя. При необходимости увеличения протяженности противофильтрационной завесы увеличивают интенсивность и время волнового воздействия, снижают вязкость кольматанта.

Для увеличения размера противофильтрационной завесы по толщине закачку кольматанта осуществляют на разных уровнях с помощью специального устройства и технологии.

При создании площадных завес с помощью сетки скважин, волновую закачку кольматанта в каждой отдельной скважине осуществляют до тех пор, пока он не появится в близлежащих скважинах, окружающей закачную. Для улучшения контроля кольматант в этом случае окрашивают.

При закачке кольматанта не допускается остановка процесса до полной потери приемистости пласта. Для этого заранее готовят необходимое количество кольматанта и обеспечивают надежность работы оборудования. Срок действия противофильтрационной завесы зависит от вида кольматанта и гидродинамики подземных вод. Поэтому при выборе кольматанта учитывают эти факторы.

В зависимости от того какой материал нагнетают в массив горных пород, различают следующие виды тампонирования инъекционных завес: цементация, глинизация, битумизация, силикатизация, смолизация (таблица) [1, 2].

Таблица – Классификация наиболее распространенных способов
глубинного закрепления горных пород

№ п/п	Тампонирующая смесь (кольматант)	Способ закрепления	Порода
1	Раствор $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$ 10-20 %-ной концентрации, модуль 2,7-3,0	Силикатизация однорастворная	Лессы, $K_{\phi} = 0,1-0,5$ м/сут; Скальные породы: $Q = 0,0006-0,00006$ м ³ /ч
2	Раствор $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$ 10-20 %-ной концентрации, модуль 1,0-3,0 с добавлением H_3PO_3 , NaNO_2 , $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ + H_2SO_4 , H_2Si_6	Силикатизация однорастворная	Мелкие пески и супеси, $K_{\phi} = 1-5$ м/сут Средние пески и супеси, $K_{\phi} = 0,75-2,0$ м/сут
3	Раствор $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$ + глинистый раствор	Силикатно-глинистый	Разнозернистые пески, $K_{\phi} = 10-30$ м/сут
4	Раствор $\text{Na}_2\text{O}\cdot n\text{SiO}_2$ соленостью 16-17 мг-экв/л, модуль 2,7-3,0, 30 %-ный раствор CaCl_2	Силикатизация Двухрастворная	Пески, $K_{\phi} = 2-80$ м/сут
5	Цементные растворы	Цементация	Крупные пески и гравий, $K_{\phi} = 100-500$ м/сут Скальные породы, $Q = 0,6-0,06$ м ³ /ч
6	Глинистые растворы	Глинизация	Щебень и крупные пески, $K_{\phi} = 80-500$ м/сут Скальные породы $Q > 0,6$ м ³ /ч
7	Цементные и глинистые растворы	Цементно-глинистый	Песчано-гравийные породы, $K_{\phi} = 80-500$ м/сут
8	Расплавленные битумы	Битумизация (горячая)	Крупные пески и гравий, $K_{\phi} = 100-500$ м/сут
9	Битумные эмульсии, коагуляторы: раствор CaCl_2 , раствор Na_2SiF_6 и др.	Битумизация (холодная)	Скальные породы, $Q = 0,6-0,06$ м ³ /ч Крупные пески и гравий, $K_{\phi} = 100-500$ м/сут
10	Смолы. Крепители (HCl, щавелевая кислота и др.)	Смолизация	Скальные породы, $Q = 0,6-0,06$ м ³ /ч Пески и супеси, $K_{\phi} = 0,5-20$ м/сут

Примечание: K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, м/сут; Q – удельное водопоглощение, м³/ч на 1 м длины скважины при давлении 0,0098 МПа.

Для каждого метода глубинного закрепления отдельных разновидностей пород установлены границы его применимости.

Цементацию применяют для снижения притоков воды при строительстве подземных сооружений путем возведения противofильтрационных завес:

- 1) в крепких трещиноватых горных породах с размером трещин не менее 0,1 мм и скоростью фильтрации подземных вод не выше 600 м/сут;
- 2) в гравийно-галечных породах с размером зерен более 2 мм при условии, что породы между зернами свободны от глинистых или песчаных частиц;
- 3) в крупнозернистых песках диаметр зерен которых более 0,8 мм.

По зарубежным данным цементация может быть применена для песков крупностью зерен более 1 мм и коэффициентом фильтрации не менее 0,1 см/с (86,4 м/сут). В скальных и полускальных породах удовлетворительное проникновение цементного раствора в породу происходит при ширине трещины не менее 0,1 мм, что подтверждает и отечественный опыт. В ряде случаев сооружение цементационных завес осуществляется при одновременном водопонижении, то есть при больших скоростях движения подземных вод. В связи с этим важное значение имеют сроки схватывания цементных растворов.

Глинизация при создании противofильтрационных завес инъекционным методом применяется тогда, когда прочность тампонажного материала не играет решающей роли. Наиболее целесообразно применять ее при агрессивных водах, при наличии карстовых полостей, в сдrenированных трещиноватых и кавернозных породах с размером трещин более 1 мм, а также в песках с коэффициентом фильтрации более 30 м/сут. Концентрация раствора задается в зависимости от водопроницаемости горных пород. Поскольку обычные глины слабо проникают в трещины, то для тампонирувания чаще всего используют бентонитовые глины с 15 %-ной концентрацией раствора. Эти глины медленно впитывают воду, продолжительно набухают и не разжижаются водой.

К недостаткам глинизации относят большой расход тампонажных материалов, малую сопротивляемость глинистого камня внешнему давлению, ненадежность тампонирувания тонкотрещиноватых горных пород. В связи с этим глинизацию целесообразно применять только в породах с весьма крупной трещиноватостью или в карстовых породах.

При битумизации в трещиноватые породы через скважины нагнетают расплавленный битум при температуре 140-190 °С. Попадая в заполненные водой трещины или пустоты горных пород, горячий битум отвердевает и, таким образом, делает массив пород водонепроницаемым. Битумизация может применяться при значительных скоростях движения подземных вод при наличии в массиве крупных трещин размером более 0,6 мм.

Однако этот способ имеет ряд недостатков, из-за которых он не нашел широкого применения в практике:

- 1) перед нагнетанием битума необходима тепловая обработка массива горных пород;
- 2) производственные неудобства, связанные с использованием горячего битума и подогрева его в процессе нагнетания;
- 3) высокая пластичность битума в твердом состоянии и способность подвижки тампонажной смеси в трещинах породы при напоре воды более 0,3 МПа.

Силикатизация осуществляется путем инъекции в горную породу жидкого стекла, выделяющего кремнекислые, быстротвердеющие гели, которые устойчивы к агрессивным водам. Этот способ применяется для снижения водопроницаемости как трещиноватых прочных пород, так и песчаных пород с крупностью зерен 1-1,2 мм.

В качестве коагулянта используют хлористый кальций, алюминат натрия, углекислый газ и другие добавки.

Существуют два способа силикатизации пород:

1) двухрастворный – путем поочередного нагнетания жидкого стекла и раствора хлористого кальция в пески с коэффициентом фильтрации 2-80 м/сут;

2) однорастворный – путем нагнетания жидкого стекла плотностью 1,13 г/см³ в породы с коэффициентом фильтрации 0,5-5 м/сут.

Силикатизация также применяется в сочетании с цементацией и битумизацией.

Для создания противofильтрационных завес в песчано-гравелистых грунтах с коэффициентом фильтрации менее 50 м/сут применяются силикатно-глинистые растворы. Эти растворы образуют в порах пород эластичные, водостойкие гели в любой водной среде. Однако они имеют невысокие показатели механической прочности и относительно малые радиусы распространения.

Смолизация производится путем нагнетания в горные породы синтетических смол и других высокомолекулярных соединений с добавками отвердителей. Незначительная вязкость растворов смол в воде и широкие возможности увеличения ее с помощью отвердителей позволяют достигать больших радиусов распространения и регулировать сроки твердения смол в скальных и песчано-суглинистых породах с коэффициентом фильтрации 0,3-20 м/сут. Например, в мелкозернистые пески с коэффициентом фильтрации 10 м/сут растворы смол МФ и КМ проникают на расстояние до 4 м от иньектора. При этом коэффициент фильтрации снижается до 0,001-0,004 м/сут.

В целом, из всех разработанных к настоящему времени видов иньекционных завес наибольшее применение для защиты карьеров нашли цементация и глинизация как наиболее дешевые и не требующие дефицитных материалов.

Цементацию рекомендуется применять в крепких трещиноватых породах (в зонах дробления) с размером трещин более 0,1 мм, скоростью фильтрации от 10 до 600 м/сут и удельным водопоглощением $Q = 0,6-0,06 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Глинизацию целесообразно применять в трещиноватых породах с размером трещин более 1 мм и в скальных породах с удельным водопоглощением $Q > 0,6 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Для создания противofильтрационных завес волновым способом можно использовать особое тонкодисперсное вещество (ОТДВ), которое поступает на предприятия под названием «Микродур». Это вещество предназначено для усиления ленточных и столбчатых фундаментов на основаниях, сложенных из песчаных грунтов, создания искусственных флюидоупоров в котлованах, а также при строительстве тоннелей и микрополитенов. В последние 10 лет «Микродур» широко используется в глубоких нефтяных и газовых скважинах для проведения гидроизоляционных работ и создания флюидоупорных экранов при капитальном ремонте и ликвидации скважин.

«Микродур» – дорогостоящий материал, тем не менее, его технологическая эффективность достигает 20-100 % по сравнению с существующими технологиями реконструкции стен, фундаментов, ремонта бетонных и каменных конструкций и улучшения свойств грунтов. В целях снижения затрат приготовление суспензий «Микродур» осуществляется в высокоскоростных смесителях-диспергаторах с внесением тонкодисперсных минеральных добавок и суперпластификаторов. Применение последних в сочетании с высокоскоростными смесителями позволяет повысить текучесть концентрированных суспензий и резко снизить седиментацию смесей составов В:М (Вода: «Микродур», по весу) до 6:1. Таким образом, при проектировании суспензии «Микродур» с В:М от 1:1 до 6:1, в отличие от цементных суспензий того же состава, следует рассматривать как стабильные структурированные вязко-пластичные жидкости.

Благодаря малому размеру частиц и рациональному гранулометрическому составу «Микродур» имеет широкую область применения (от весьма трещиноватых и крупнообломочных с коэффициентами фильтрации 1×10^{-6} м/сут), обладает высокой проникающей способностью в трещины и поры размером до 18 мкм и менее, имеет высокую прочность тампонажного камня и сроки схватывания (3-4 часа), быстрый набор прочности (70 % марочной за 48 час) и существенное снижение коэффициента фильтрации (с 1×10^{-4} до 1×10^{-7} м/с).

По сравнению с бездисперсными материалами для двухрастворной и однорастворной силикатизации и полимерными композициями на основе эпоксидной, карбонидной, финолформальдегидной смол и др. суспензии «Микродур» характеризуются несомненными преимуществами: качество инъекции, долговечность, простая и удобная технология приготовления и инъектирования, экологическая чистота, однородность с цементами по составу, высокая адгезия.

Инъекционное закрепление грунта в виде вертикальных стен (противофильтрационных завес) в песчаных прослоях грунта позволяет уменьшить фильтрацию воды через грунт в сотни раз. Эффективность состоит в том, что инъекционный метод уплотняет только фильтрующие грунты и не расходует инъекционную суспензию на суглинистые прослои грунта, которые являются водоупорами.

Выводы

В статье рассмотрена технология производства работ и специальное оборудование для увеличения жидкостной проницаемости горных пород направленными ударными волнами при создании противофильтрационных завес инъекционным способом. Приведен краткий анализ существующих видов тампонирующего и тампонирующей смеси кольматантов в том числе и применения такого перспективного тонкодисперсного вещества как «Микродур».

Список использованных источников

1. Защита карьеров от воды / Абрамов С.К. [и др.]. – М.: Недра, 1970. – 215 с.
2. Лев, М.А. Устройство противофильтрационных завес и ограждений в водонесных породах / М.А. Лев // Шахтное строительство. – 1960. – № 3. – 95 с.

Voitenko V.S., Onika S.G, Khalyavkin F.G., Novikov S.S.

Formation of injection sealing curtains in rock mass using elastic energy

The article discusses manufacturing technology and equipment for increasing of porosity of rock mass using elastic energy produced by equipment. The analysis of existing kinds of plugging and plugging mixtures is given.

Поступила в редакцию 05.04.2012 г.