© Ю.В. Бурков, В.А. Хямяляйнен, Л.П. Понасенко, А.Н. Илюшкина, 2007

УДК 622. 257

Ю.В. Бурков, В.А. Хямяляйнен, Л.П. Понасенко, А.Н. Илюшкина

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УПРОЧНЕННОГО ПОРОДНОГО МАССИВА ВОКРУГ ГОРНЫХ ВЫРАБОТОК

Круглый стол

Эффект упрочнения цементационными растворами массива горных пород является фактором, определяющим целесообразность производства цементационных работ.

Детальное определение качественных показателей механических свойств окружающего выработку горного массива до и после упрочнения его цементацией является первоочередным и важнейшим условием натурных и лабораторных исследований, так как обеспечивает достоверность и сопоставимость эмпирических зависимостей повышения устойчивости от горно-геологических и горнотехнических условий проведения и поддержания горных выработок.

Высокая эффективность цементации горных пород может быть получена в основном за счет полного заполнения трещин и пустот цементационным материалом. Одним из основных факторов, влияющих на качество заполнения трещин в трещиновато-пористых горных породах, является отфильтровывание жидкой фазы из цементационных суспензий (седиментация) в поры горных пород. Седиментационная устойчивость характеризуется выходом цементного камня, определяемого отношением объема осевшей цементной массы к первоначальному объему раствора.

Величина выхода тампонажного камня зависит от концентрации раствора, вида и количества применяемых добавок в цементном растворе. Помимо отделения водной фазы вследствие седиментации, отделение воды происходит под действием перепада давления, что является водоотдачей цементного раствора. Величина водоотдачи и ее скорость зависят от концентрации раствора, добавок, перепада давления и проницаемости фильтрующей среды.

Институтом «Кузниишахтострой» были выполнены экспериментальные исследования упрочняющего эффекта цементации на образцах горных пород. Спецификой экспериментов являлось то, что образцы упрочненных горных пород изготовляли в специальной фильтрационной камере, позволяющей более полно воспроизвести естественные условия, а также отфильтровывание жидкой фазы (которая влияет на физико-механические свойства цементного камня) из цементационных растворов при нагнетании под давлением.

Эксперименты проводили на специальной установке, состоящей из: контрольно-измерительных приборов, соединительной арматуры, компрессора, баллонов для воды и сжатого воздуха, фильтрационной камеры (рис. 1).

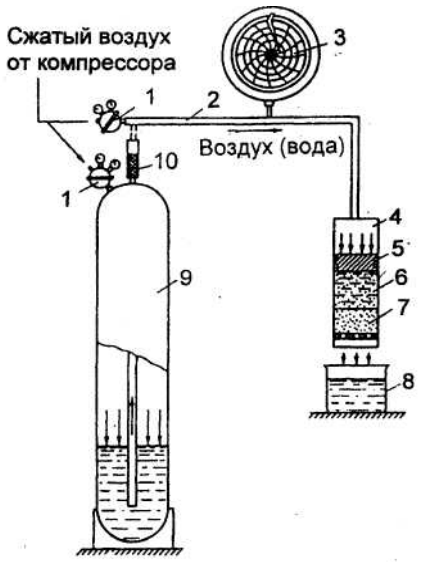

Рис. 1. Схема лабораторной установки для исследования водоотдачи цементных растворов: *1* – редуктор кислородный; *2* – шланг высоконапорный; *3* – манометр-самописец МСТМ-410; *4* – фильтрационная камера; *5* – поршень; *6* – раствор; *7* – образец проницаемой среды; *8* – мерная емкость; *9* – баллон; *10* – фильтр

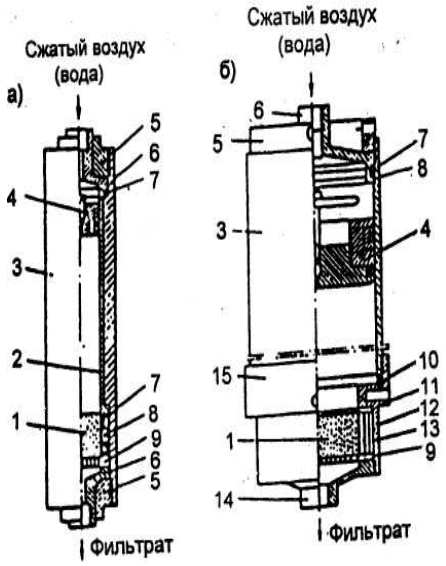

Рис. 2. Схемы фильтрационных камер объемом 0,2 (а) и 3 л (б): *1* – образец проницаемой среды; *2* – втулка; *3*– стакан; *4* – поршень; *5* – гайка; *6*– крышка-штуцер; *7, 10, 11* – кольца резиновые; *8* – кольцо распорное; *9* – решетка; *12* - менделеевская замазка; *13* – обойма; *14* – крышка нижняя; *15* – съемная часть стакана

Основным элементом установки является фильтрационная камера, в которую устанавливают образец проницаемой среды и заливают исследуемый тампонажный раствор.

В опытах использовали две камеры объемом 0,2 и 3 л (рис. 2). Камера объемом 0,2 л состоит из стакана *3*, в который вставляют втулку *2*. Образец проницаемой среды *1* опирается на решетку *9* и закрепляется в стакане с помощью резиновых колец *7*, крышек *6* и гаек *5*. Камера объемом 3 л отличается съемной конструкцией нижней части стакана *15*. В съемной части стакана закрепляется образец проницаемой среды вместе с обоймой *13*. Закрепление образца в обойме осуществляется с помощью менделеевской замазки *12*.

Схема работы установки следующая. После закрепления проницаемого образца определяется его коэффициент проницаемости. Для этого в камеру из баллона подают при заданном давлении воду. Давление в баллоне создается сжатым воздухом, поступающим от компрессора, регулируется редуктором и регистрируется манометром.

Для приготовления растворов использовался портландцемент М500 Топкинского завода и М400 Яшкинского завода Кемеровской области. Цементно-водное отношение растворов изменялось от 1: 0,5 до 1: 3.

В экспериментах исследовали цементные растворы без добавок, а также растворы с добавками хлористого кальция, жидкого стекла и бентонитового глинопорошка. Хлористый кальций, растворенный в воде, и жидкое стекло добавляли в воду перед засыпкой цемента и перемешиванием раствора. Бентонитовый глинопорошок добавляли в цемент перед пе-

ремешиванием с водой. Количество добавок принимали в соответствии с существующими рекомендациями: хлористый кальций – 3 % массы цемента в пересчете на сухое вещество; жидкое стекло – 4 % массы цемента; бентонитовый глинопорошок – 4 % массы цемента.

Опыты проводили при перепадах давления: 0,025; 0,05; 0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3; 0,35; 0,4; 0,45 и 0,5 МПа. За перепад давления принимали разницу между давлением сжатого воздуха в фильтрационной камере и давлением воздуха атмосферы без учета веса столба исследуемого раствора.

Согласно методике во время проведения экспериментов регистрировались следующие данные:

- концентрация, состав и свойства испытываемых растворов;
- концентрация отфильтрованных растворов;
- продолжительность и способ перемешивания растворов;
- давление и продолжительность водоотдачи;
- количество фильтрата и процесс изменения его во времени;
- прочность и время твердения образцов из отфильтрованного и неотфильтрованного растворов;
- геометрические параметры, прочность и проницаемость образцов проницаемой среды до и после отфильтровывания.

Результаты эксперимента в фильтрационных камерах позволили установить следующее:

- под действием перепада давления при наличии проницаемой среды водоотдача увеличивается;
- рост количества фильтрата при водоотдаче растворов без добавок происходит равномерно и наблюдается до давления 0,25 МПа;
- при возрастании давления от 0,25 до 0,5 МПа увеличение объема фильтрата незначительное;
- добавка хлористого кальция не оказывает влияния на изменение объема фильтрата;
- добавки бентонитового глинопорошка и жидкого стекла способствуют уменьшению объема фильтрата, причем добавка жидкого стекла более эффективна. Действие добавки жидкого стекла на изменение объема фильтрата резко уменьшается с увеличением давления до 0,1 МПа, а в интервале давлений от 0,1 до 0,5 МПа уменьшается незначительно.

Характер изменения остаточного В:Ц для различных перепадов давлений в период водоотдачи сохраняется. Для растворов концентрации 1:0,5 при давлении в период водоотдачи в 0,5 МПа остаточное В:Ц составляет:

0,21 - для растворов без добавок;

0,25 - для растворов с добавкой 4 % бентонитового порошка;

0,25 - для растворов с добавкой 4 % жидкого стекла.

Изменение водоотдачи связано с изменением выхода тампонажного камня растворов. С увеличением количества фильтрата, отдаваемого раствором под действием перепадов давления, выход тампонажного камня соответственно уменьшается. Из таблицы видно, что выход тампонажного камня из более жидких растворов уменьшается в большей степени. Тампонажный камень раствора, из которого отфильтрована под давлением жидкая фаза, более плотный, поэтому прочность его повышается. Для более жидких растворов увеличение прочности камня проявляется в большей степени, чем для густых. Данные о ходе процессов водоотдачи во времени позволяют сделать вывод о том, что фильтрация идет с непрерывно уменьшающейся интенсивностью.

После формирования контактного слоя проницаемой среды интенсивность водоотдачи стабилизируется. Моменту отфильтровывания основного количества жидкой фазы и началу уплотнения твердой фазы соответствует резкое уменьшение интенсивности отфильтровывания.

Фильтрация прекращается после того, как силы сопротивления движению жидкой фазы станут равными силам давления. При этом после пре-кращения фильтрации в малоконцентрированных растворах жидкой фазы остается больше, чем в высококонцентрированных. Однако различная остаточная концентрация наблюдается лишь в ограниченной области действующих перепадов давлений. Для растворов с добавкой 4 % жидкого стекла зависимость остаточной концентрации от первоначальной наблюдается при перепадах давления до 0,1 МПа, а во всех остальных исследованных растворах - до 0,25 МПа. При указанных перепадах давления количество жидкой фазы, остающейся в растворах после прекращения фильтрации, не зависит от первоначальной концентрации.

Увеличение перепада давления значительно ускоряет процесс полной водоотдачи за счет увеличения интенсивности отфильтровывания. Продолжительность водоотдачи под действием перепадов давления увеличивается с увеличением содержания воды в растворах.

Следует отметить, что рассмотренный процесс водоотдачи характеризует процесс водоотделения под действием перепада давления только в статическом состоянии растворов.

Анализ выполненных экспериментальных исследований показывает на необходимость учета факторов значительного уплотнения и упрочнения тампонажного камня под действием давления нагнетания уже на стадии проектирования создания противофильтрационных завес, а также оболочек и+з упрочненных завес. Для осуществления этой идеи, очевидно, потребуется пересмотреть традиционные методы определения основных параметров создания противофильтрационных завес, к которым в первую очередь необходимо отнести радиус распространения раствора и расход тампонажных материалов. Это позволит расширить область эффективного применения тампонажных работ в горном деле и создания противофильтрационных завес в гидротехническом строительстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Бурков Ю.В.* Комбинированные инъекционные крепи / Ю.В. Бурков, В.А. Хямяляйнен, Г.С. Франкевич / РАЕН.- Кемерово, 1999.- 298 с. ISBN 5-89070-158-4.

2. *Хямяляйнен В.А.* Формирование цементационных завес вокруг капитальных горных выработок / В.А. Хямяляйнен, Ю.В. Бурков, П.С. Сыркин.- М.: Недра, 1994.- 400 с. ISBN 5-247-03489-9.

3. *Бурков Ю.В.* Современный подход к определению расхода материалов на приготовление и нагнетание растворов при производстве цементационных работ / Ю.В. Бурков, Г.С. Франкевич, Л.П. Понасенко, В.А. Жеребцов, С.Л. Понасенко // Уголь.- 2001.- № 10.- С. 37-39.

Коротко об авторах

Бурков Ю.В. – доктор технических наук,
Хямяляйнен В.А. – доктор технических наук, профессор,
Понасенко Л.П. – кандидат технических наук,
Илюшкина А.Н. – инженер,
Кузбасский государственный технический университет.