

УДК 622.257.1

А.В. Угляница, А.В. Исаенко

ФИЛЬТРАЦИОННЫЕ СВОЙСТВА ГОРЕЛЫХ ПОРОД, АКТИВИЗИРОВАННЫХ ИЗВЕСТЬЮ

Закрытие шахты — очень сложный, комплексный процесс, при котором возникает множество геоэкологических проблем. К таким проблемам относятся: оседание земной поверхности, вследствие оставления выработанного пространства, подтопление территорий, возможность прорыва шахтных вод в соседние, действующие шахты, наличие гидравлической связи между водоносными горизонтами, выделение вредных газов и выход их на дневную поверхность, возможность возникновения эндогенных пожаров, терриконики из горелых пород, которые необходимо рекультивировать и др. Кроме этого, закрытие шахты сопряжено с социальными последствиями, такими как снос, реконструкция, замена социальной инфраструктуры и жилищного фонда, социальные выплаты и многими другими. Вследствие выше перечисленного, закрытие шахты в денежном отношении сопоставимо с ее строительством. При закрытии шахты необходимо при минимальных материальных затратах нанести наименьший урон экосистеме региона.

В Кузбассе при ликвидации вертикальных стволов шахт, в соответствии с требованиями инструкции [1], стволы засыпают пустыми породами из шахтных отвалов.

Выполненные в КузГТУ исследования фильтрационных свойств горелых пород позволили установить, что их песчаная фракция (<5 мм) обладает значительной проницаемостью и, следовательно, горелые породы шахтных отвалов без проведения специальных мероприятий по уменьшению их проницаемости не могут служить закладочным материалом для вертикальных вскрываю-

щих выработок [2, 3].

Как известно, горелые породы при активизации их вяжущим становятся достаточно прочным материалом [4]. В этой связи в КузГТУ были выполнены исследования по определению фильтрационных свойств горелых пород, консолидированных известью и цементом.

При этом определяли зависимость водонепроницаемости горелых пород, консолидированных вяжущим от степени заполнения пустот, сроков твердения и гранулометрического состава. Водонепроницаемость определяли по коэффициенту фильтрации в соответствии с ГОСТом — 12730.5 — 84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости» [5].

Для определения зависимости коэффициента фильтрации от гранулометрического состава были выполнены предварительные исследования по определению зависимости фильтрационных свойств горелых пород консолидированных вяжущим от гранулометрического состава. Для испытаний применяли отсев горелой породы (фракции <5 мм), более крупную фракцию не использовали, рассматривая ее как водонепроницаемый заполнитель. Было испытано 120 образцов с различным гранулометрическим составом. Испытания производили в течение 12 месяцев.

Шаг заполнения пустот принимали равным 25 %, модуля крупности — 1 и остатка на сите — 20 %. Было испытано 4 группы образцов с заполнением пустот без виброперемешивания на 100, 75, 50 и 25 %.

Для испытания применяли бетонные образцы-цилиндры с $D = 150$ мм, и высотой $H = 150$ мм. Отклонения для всех образцов не превышали $\pm 0,5$ мм.

Для изготовления образцов

использовали отсев горелой породы (фракции <5 мм), известье, цемент и воду. Образцы изготавливали следующим образом: горелую породу тщательно перемешивали с расчетным количеством извести и цемента, приготовленную смесь помещали в цилиндрические металлические разъемные формы и проливали расчетным количеством воды. Поверхность свежеприготовленных образцов выравнивали.

Предварительные исследования показали, что фильтрационные свойства горелых пород консолидированных вяжущими не зависят от гранулометрического состава, а зависят от степени заполнения пустот и сроков твердения.

Для определения влияния степени заполнения пустот и сроков твердения на коэффициент фильтрации горелых пород, консолидированных вяжущим, использовали отсев горелых пород с $M_k = 3$ и $A_{0,63} = 60\%$ (естественный состав отобранный на терриконике ш. Ягуновская).

Каждая группа образцов, с одинаковым гранулометрическим составом, с учетом возможной отбраковки, состояла из 10 образцов. Если на поверхности образцов имелись трещины шириной более 0,1 мм, раковины размером более 5 мм или другие дефекты, связанные с плохим уплотнением бетонной смеси, эти образцы испытаниям не подвергали. Если число образцов, признанных негодными, составляло более двух, браковали всю группу. Образцы хранили в камере нормального твердения при температуре (20 ± 2) °C и относительной влажности более 95 %. Перед испытанием образцы выдерживали в помещении лаборатории до момента, пока изменение массы образца

Результаты исследования фильтрационных свойств бетонов на основе горелых пород (фрагмент)

Возраст образцов	ΔP , МПа	K_ϕ , м/сут						K_ϕ^{cp} , м/сут
		Образец 1	Образец 2	Образец 3	Образец 4	Образец 5	Образец 6	
Пустоты заполнены на 100 %								
1 мес.	0,1	0,647	0,590	0,632	0,599	0,580	0,600	0,6028
		0,598	0,592	0,609	0,603	0,590	0,623	
		0,598	0,600	0,590	0,599	0,592	0,632	
		0,620	0,600	0,597	0,600	0,590	0,615	
		0,600	0,603	0,599	0,601	0,589	0,619	
		0,596	0,605	0,598	0,610	0,590	0,620	
8 мес.	1,35	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008	0,0008
		
9 мес.	1,35	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005	0,0005
		
10 мес.	1,35	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001
		
11 мес.	1,35	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00 (0,00)
		
12 мес.	1,35	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,0000	0,00
		
Пустоты заполнены на 75 %								
1 мес.	0,1	1,000	0,970	1,001	0,990	0,980	0,980	0,9924
		1,002	0,980	1,002	1,000	0,980	0,990	
		1,003	0,980	1,002	1,000	0,970	1,000	
		1,002	0,990	1,001	1,000	1,002	1,001	
		1,002	0,990	1,000	0,980	1,002	0,980	
		1,002	1,000	0,980	1,001	1,003	1,000	
12 мес.	0,6	0,024	0,022	0,023	0,021	0,025	0,024	0,02321
		0,024	0,023	0,023	0,021	0,024	0,025	
		0,024	0,024	0,22	0,020	0,024	0,024	
		0,023	0,025	0,024	0,020	0,024	0,025	
		0,023	0,024	0,023	0,019	0,024	0,024	
		0,022	0,023	0,022	0,021	0,024	0,024	
Пустоты заполнены на 50 %								
1 мес.	0,1	1,583	1,583	1,571	1,561	1,574	1,570	1,5732
		1,585	1,580	1,573	1,560	1,573	1,568	
		1,601	1,580	1,574	1,560	1,571	1,566	
		1,593	1,575	1,573	1,562	1,570	1,567	
		1,592	1,573	1,575	1,561	1,571	1,567	
		1,595	1,574	1,576	1,560	1,570	1,566	
12 мес.	0,2	0,093	0,097	0,100	0,103	0,102	0,101	0,0971
		0,094	0,096	0,099	0,102	0,0101	0,100	
		0,092	0,093	0,098	0,100	0,101	0,098	
		0,095	0,098	0,098	0,099	0,100	0,099	
		0,096	0,096	0,097	0,099	0,099	0,098	
		0,095	0,098	0,096	0,098	0,099	0,097	
Пустоты заполнены на 25 %								
1 мес.	0,1	5,365	5,352	5,356	5,361	5,339	5,360	5,3553
		5,360	5,351	5,357	5,362	5,342	5,359	
		5,359	5,359	5,355	5,359	5,344	5,360	
		5,358	5,362	5,357	5,358	5,340	5,359	
		5,359	5,360	5,359	5,357	5,339	5,358	
		5,360	5,359	5,355	5,357	5,341	5,358	
12 мес.	0,1	1,925	1,926	1,925	1,924	1,926	1,924	1,9244
		1,926	1,925	1,925	1,925	1,925	1,925	
		1,927	1,924	1,923	1,925	1,926	1,926	
		1,926	1,925	1,924	1,924	1,924	1,924	
		1,926	1,924	1,925	1,924	1,922	1,924	
		1,927	1,923	1,925	1,925	1,921	1,925	

за сутки составляло < 0,1 %. Зазор между приготовленными к испытаниям образцами и ме-

таллическими обоймами заливали расплавленным битумом.

Перед началом испытаний проверяли образцы на надежность герметизации и дефек-

тивность путем оценки характера фильтрации инертного газа, подаваемого при избыточном давлении 0,1 — 0,3 МПа к нижнему торцу образца, на верхний торец которого был налит слой воды. При неудовлетворительной герметизации боковой поверхности образцов в обойме и отсутствии в нем дефектов фильтрация газа наблюдалась в виде равномерно распределенных пузырьков, проходящих через слой воды. При неудовлетворительной герметизации боковой поверхности образцов в обойме или при наличии в образцах крупных дефектов фильтрация газа наблюдалась в виде обильного местного выделения в дефектных местах. Дефекты герметизации боковой поверхности устранили повторной герметизацией образцов. При наличии в образце отдельных крупных фильтрующих каналов образцы заменяли другими.

Образцы в обоймах крепили в поворотных гнездах экспериментальной установки и к их торцевой поверхности подавали воду. Установка позволяла собирать фильтрующуюся через образец воду, не допуская ее испарения. Вода по ГОСТ 23732 — 79, применяемая для испытаний, была предварительно дезэрирована кипячением более 1 часа и не содержала агрессивных и колматирующих частиц.

Давление воды увеличивали ступенями по 0,1 МПа с выдержкой на каждой ступени 1 ч. Подъем давления прекращали при появлении фильтрата, и определяли коэффициент фильтрации.

Для каждого образца измеряли количество профильтровавшейся воды 6 раз. Первое измерение проводили через 1 час после начала фильтрации, при этом прирост количества профильтровавшейся воды при трех последовательных измерениях с интервалом 30 мин не должен был превышать 20 %. Дальнейшие замеры производили каждые 30 мин.

Если при максимальном давлении 1,3 МПа не наблюдалась фильтрация в течение 96 ч, испытания прекращали.

Измерение количества фильтрата проводили объемным методом, собирая воду, прошедшую через образец.

Коэффициент фильтрации

$$K_{\phi} = \eta \frac{Q\delta}{S\tau\Delta P} k, \text{ см/с}$$

где δ — толщина образца, см ($\delta = 15$ см); S — площадь образца, см^2 ($S = 177 \text{ см}^2$); τ — время, в течение которого измеряется объем фильтрата, с; $\Delta P = P_1 - P_2$ — перепад давления на входе P_1 и выходе P_2 из образца (P_1 принимали равным избыточному давлению в системе установки, а $P_2 = 0$ при

условии свободного истечения фильтрата с поверхности образца); η — коэффициент, учитывающий вязкость воды при различной температуре (т. к. температура воды составляла 20°C принимали $\eta = 1,0$); k — коэффициент, учитывающий влияние диаметра образца (т. к. диаметр образцов составляет $D = 15$ см принимали $k = 1$).

Вычисленные значения K_{ϕ} для серии образцов выписывали в возрастающем порядке, после чего вычисляли среднее значение K_{ϕ} как среднеарифметическое результатов определения для третьего и четвертого образцов [6].

Как известно, коэффициент фильтрации в бетонных образцах значительно сокращается в течение времени (может уменьшиться в 500 раз в течение года). Нами проводились испытания на протяжении года с интервалом 1 месяц (таблица).

Как следует из таблицы, в возрасте 8 месяцев образцы с заполнением пустот на 100 % по коэффициенту фильтрации можно отнести к водоупорам [7]. Таким образом, в результате выполненных исследований установлено, что консолидированные вяжущим горелые породы вполне пригодны для заливки вертикальных вскрывающих выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция о порядке ведения работ по консервации опасных производственных объектов, связанных с использованием недрами. — М.: Госгортехнадзор РФ, 1999.
2. Исследование фильтрационных свойств горелых пород шахтных отвалов / Углиница А.В., Исаенко А.В.///Вестн.КузГТУ. 2001. № 4. С. 51 — 54.
3. Исследование компрессионных свойств горелых пород шахтных отвалов / Углиница А.В., Исаенко А.В.///Вестн.КузГТУ. 2002. № 1. С. 49 — 50.
4. Книгина Г.И. Строительные материалы из горелых пород. — М.: Стройиздат, 1966. — 205с.
5. ГОСТ — 12730.5 — 84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». — М.: Издательство стандартов, 1984. — 10 с.
6. Лецинский М.Ю. Испытание бетона: Справ. пособие. — М.: Стройиздат, 1980. — 360 с.
7. Справочное руководство гидрогеолога. 3-е изд., перераб. и доп. Т. 1 / В.М. Максимов, В.Д. Бабушкин, Н.Н. Веригин и др. Под ред. В.М. Максимова. — Л., Недра, 1979. — 512 с.

□ Авторы статьи:

Углиница

Андрей Владимирович
— докт.техн.наук, проф., зав. каф. «Технология строительного производства»

Исаенко

Алексей Владимирович
— ст.преп.каф.«Технология строительного производства»