

УДК 622.257.1

А. В. Углиница, Т. В. Хмеленко, К. Д. Солонин

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗАКЛАДОЧНЫХ АВТОКЛАВНЫХ МАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ ТОПЛИВНЫХ ШЛАКОВ ОТ ПАРАМЕТРОВ ЗАКЛАДОЧНОЙ СМЕСИ

В КузГТУ выполнены лабораторные исследования зависимости компрессионных свойств закладочных автоклавных материалов для вертикальных горных выработок на основе топливных шлаков от параметров закладочной смеси и её автоклавной обработки [1, 2, 3]. Однако требования нормативных документов обязывают производить закладку ликвидируемых вертикальных выработок не только безусадочным, но и водонепроницаемым материалом [4]. Поэтому при выборе автоклавного материала для закладки выработанного пространства шахтных стволов необходимо учитывать его фильтрационные свойства.

Настоящее исследование выполнялось с целью изучения фильтрационных свойств автоклавного материала, на основе дешёвого вяжущего из молотого шлака топливных предприятий Кузбасса и извести, и возможности получения водонепроницаемого автоклавного материала для закладки вертикальных горных выработок.

Известно, что на физико-механические свойства автоклавных материалов оказывают влияние параметры закладочной смеси: коэффициент основности $K_{осн}$ (соотношение, учитывающее содержание различных химических элементов, участвующих в образовании новых соединений); тип извести (гашеная известь, негашеная известь, сорт извести); водовяжущее отношение (ВВО); степень дисперсности составляющих смеси.

При выполнении данных экспериментальных исследований диапазоны изменения параметров закладочной смеси были приняты такими же как и при исследованиях по определению компрессионных свойств [1]. При этом коэффициент основности принимали в интервале $K_{осн} = 0,2 \div 0,9$; тип извести – кальциевая известь гашеная и негашеная 1 сорта; водовяжущее отношение в интервале $BB=0,4 \div 0,8$; степень дисперсности составляющих смеси: известь и молотый шлак фракций 0,08 или 0,16 мм.

Образцы автоклавного материала, на основе молотого шлака и извести изготавливали в лабораторном автоклаве АЛ. Параметры автоклавной обработки принимали следующими: выдержка образцов перед автоклавной обработкой – 4 часа; продолжительность подъёма давления водяного пара – 0,75 часа; выдержка образцов при максимальном давлении – 6 часов; продолжительность спуска давления до атмосферного – 5 часов. Максимальное давление водяного пара при автоклавной обработке принимали равным 0,9 МПа, поскольку при меньшем давлении автоклавный син-

тез практически не происходит, а создание более высокого давления в вертикальной горной выработке затруднительно. Указанные параметры автоклавной обработки являются рациональными и наиболее часто рекомендуемыми.

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.

Образцы изготавливали следующим образом: молотый шлак тщательно перемешивали с расчетным количеством извести и воды, приготовленную смесь помещали в цилиндрические металлические формы, после чего подвергали обработке в автоклаве.

Каждая серия, 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 смеси, эти образцы испытаниям не подвергали. Если число образцов, признанных негодными, составляло более двух, браковали всю серию.

Водонепроницаемость определяли по коэффициенту фильтрации в соответствии с ГОСТ 12730.5-84 «Бетоны. Методы определения водонепроницаемости». Для этого использовали специальную установку, в поворотных гнёздах которой крепились обоймы с образцами. Перед испытанием образцы выдерживали в помещении лаборатории до момента, пока изменение массы образца за сутки составляло менее 0,1 %. Зазор между приготовленными к испытаниям образцами и металлическими обоймами заливали расплавленным битумом. Перед началом испытаний проверяли образцы на надежность герметизации и дефективность путем оценки характера фильтрации воздуха.

К торцевой поверхности закреплённых обойм подавали воду по магистралям установки. Вода, применяемая для испытаний согласно ГОСТ 23732-79, была предварительно дезарирована путём кипячения более 1 ч и не содержала агрессивных и кольматирующих частиц.

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

Для каждого образца измеряли количество профильтровавшейся воды 6 раз. Первое измерение проводили через 1 ч после начала фильтрации,

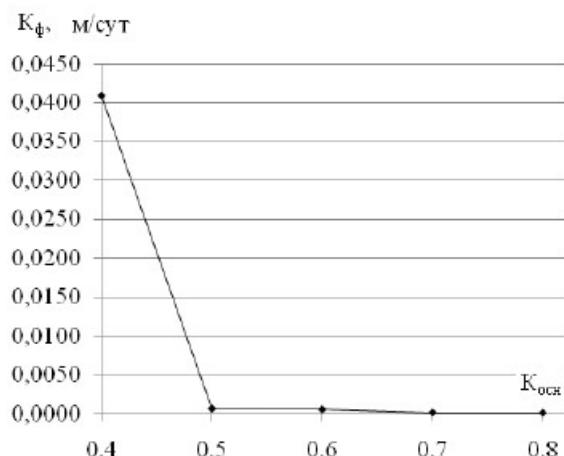


Рис. 1. Зависимость коэффициента фильтрации K_{ϕ} от коэффициента основности K_{osn} с применением негашеной извести

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.

Значение коэффициента фильтрации вычисляли по формуле

$$K_{\phi} = \eta \frac{Q\delta}{St\Delta P} k,$$

где K_{ϕ} – коэффициент фильтрации, см/с; δ – толщина образца, см ($\delta = 15$ см); S – площадь образца, см^2 ($S = 177 \text{ см}^2$); t – время, в течение которого измеряется объем фильтрата, с; $\Delta P = P_1 - P_2$ – разность давления на входе P_1 и выходе P_2 из образца (P_1 принимают 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° С, принимали $\eta = 1,0$); k – коэффициент, учитывающий влияние диаметра образца (т. к. диаметр образцов составляет $D = 15$ см, принимали $k = 1$).

Если коэффициент фильтрации полученных образцов не превышал $K_{\phi} \leq 1,2 \times 10^{-10}$ см/с ($0,001$ м/сут), т. е. материал был водоупорным, то изменяли исследуемый параметры смеси, так чтобы коэффициент фильтрации увеличивался. Испытания проводили до получения не водоупорного материала. Если коэффициент фильтрации полученных образцов превышал $K_{\phi} > 0,001$ м/сут, т. е. материал был не водоупорным, то изменяли исследуемый параметры смеси, так чтобы коэффициент фильтрации уменьшался. Испытания про-

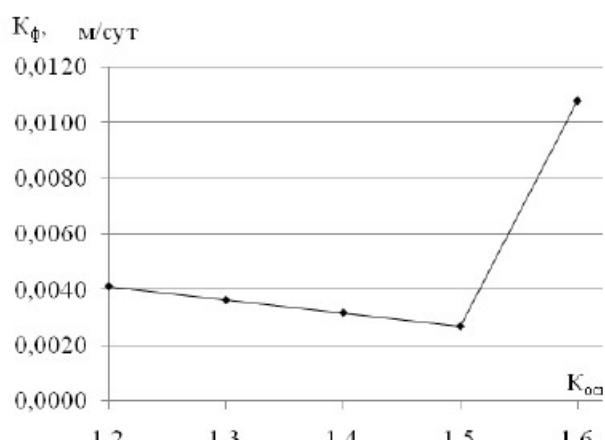


Рис. 2. Зависимость коэффициента фильтрации K_{ϕ} от коэффициента основности K_{osn} с применением гашеной извести

водили до получения водоупорного материала.

При исследовании влияния на фильтрационные свойства автоклавного материала типа извести первоначально были испытаны образцы, приготовленные из молотого шлака и негашеной извести с коэффициентом основности $K_{osn} = 0,8$. При этом коэффициенты фильтрации испытанных образцов составляли $K_{\phi} \leq 0,001$ м/сут, то есть материал образцов являлся водоупором. Затем уменьшали коэффициент основности автоклавного материала K_{osn} с шагом 0,1 до получения не водоупорного материала. Фрагмент результатов испытаний представлен в табл. 1. Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 1.

Таблица 1. Фрагмент результатов испытаний

K_{osn}	K_{ϕ} , м/сут	Примечание
0,8	0,00007	Водоупор
0,7	0,00014	Водоупор
0,6	0,00049	Водоупор
0,5	0,00063	Водоупор
0,4	0,04092	Не водоупор

При испытании образцов, изготовленных из молотого шлака и гашеной извести, коэффициент основности смеси изменяли в интервале $K_{osn} = 0,6 - 1,6$ с шагом 0,1. При этом все испытанные образцы не являлись водоупорами. Фрагмент результатов испытаний представлен в табл. 2. Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 2.

Таблица 2. Фрагмент результатов испытаний

K_{osn}	K_{ϕ} , м/сут	Примечание
1,2	0,00413	Не водоупор
1,3	0,00363	Не водоупор
1,4	0,00318	Не водоупор
1,5	0,00269	Не водоупор
1,6	0,01078	Не водоупор

В дальнейших экспериментах применяли

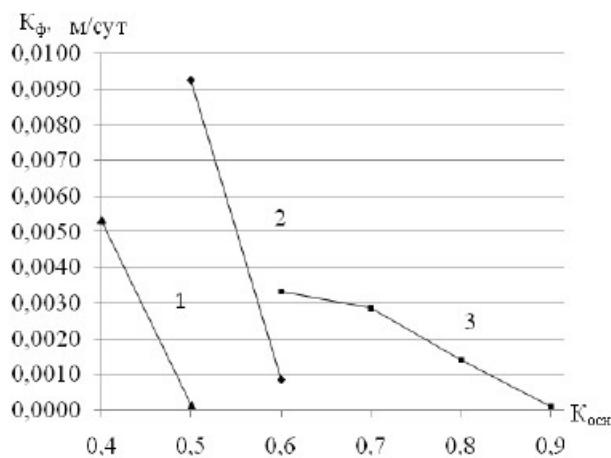


Рис. 3. Зависимость коэффициента фильтрации K_{ϕ} от коэффициента основности $K_{\text{осн}}$ и водовяжущего отношения BBO : 1 – водовяжущее отношение $BBO = 0,4$; 2 – водовяжущее отношение $BBO = 0,6$; 3 – водовяжущее отношение $BBO = 0,7$

только негашеную кальциевую известь первого сорта.

При исследовании влияния водовяжущего отношения смеси ВВО на фильтрационные свойства автоклавного материала принимали водовяжущее отношение смеси ВВО, равным 0,4–0,8 с шагом 0,1, поскольку при меньших значениях не получается связного пластичного теста, необходимо для равномерного заполнения закладываемого объема, а при больших значениях получается очень жидкая суспензия.

Первоначально изготавливали образцы с водовяжущим отношением ВВО равным 0,4 и минимальным коэффициентом основности $K_{\text{осн}} = 0,4$. При этом автоклавный материал получался водоупорным. Затем увеличивали водовяжущее отношение ВВО и коэффициент основности $K_{\text{осн}}$ с шагом 0,1 до изменения фильтрационных свойств автоклавного материала (табл. 3). Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 3.

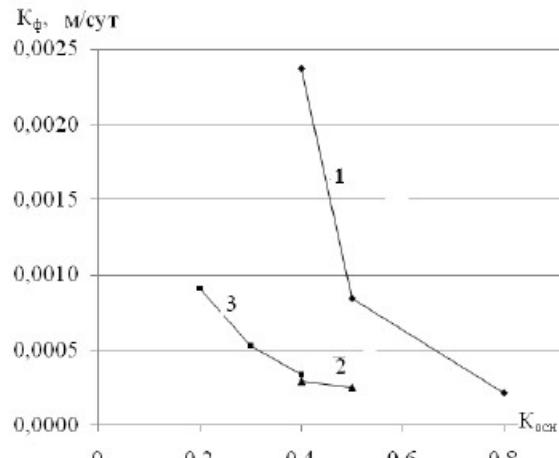


Рис. 4. Зависимость коэффициента фильтрации K_{ϕ} от коэффициента основности $K_{\text{осн}}$ и помола известки и шлака в смеси при $BBO = 0,5$: кривая 1 – $I : \text{Ш} = 0,16:0,16$; кривая 2 – $I : \text{Ш} = 0,08 : 0,16$; кривая 3 – $I : \text{Ш} = 0,08:0,08$

гом 0,1 до изменения фильтрационных свойств автоклавного материала (табл. 3). Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 3.

Таблица 3. Фрагмент результатов испытаний

BBO	$K_{\text{осн}}$	K_{ϕ} , $\text{м}/\text{сут}$	Примечание
0,4	0,4	0,00533	Не водоупор
0,4	0,5	0,00015	Водоупор
0,5	0,5	0,00063	Водоупор
0,6	0,5	0,00926	Не водоупор
0,6	0,6	0,00084	Водоупор
0,7	0,6	0,00332	Не водоупор
0,7	0,7	0,00285	Не водоупор
0,7	0,8	0,00140	Не водоупор
0,7	0,9	0,00011	Водоупор
0,8	0,9	0,00089	Водоупор

Таблица 4. Фрагмент результатов испытаний

Фракция извести	Фракция шлака	$K_{\text{осн}}$	Водовяжущее отношение	K_{ϕ} , $\text{м}/\text{сут}$	Примечание
0,16	0,16	0,9	0,8	0,00019	Водоупор
0,16	0,16	0,8	0,7	0,00243	Не водоупор
0,16	0,16	0,8	0,5	0,00021	Водоупор
0,16	0,16	0,6	0,6	0,00035	Водоупор
0,16	0,16	0,6	0,7	0,00227	Не водоупор
0,16	0,16	0,5	0,5	0,00084	Водоупор
0,16	0,16	0,5	0,6	0,00221	Не водоупор
0,16	0,16	0,4	0,5	0,00237	Не водоупор
0,08	0,16	0,5	0,5	0,00025	Водоупор
0,08	0,16	0,4	0,5	0,00029	Водоупор
0,08	0,08	0,4	0,5	0,00034	Водоупор
0,08	0,08	0,4	0,8	0,00232	Не водоупор
0,08	0,08	0,3	0,5	0,00053	Водоупор
0,08	0,08	0,3	0,6	0,00246	Не водоупор
0,08	0,08	0,2	0,5	0,00089	Водоупор
0,08	0,08	0,2	0,6	0,00278	Не водоупор

Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 3.

При исследованиях зависимости фильтрационных свойств автоклавного материала от степени помола негашеной извести и шлака в автоклавной смеси изготавливали образцы с соотношениями помола извести и шлака И : Ш = 0,16:0,16; 0,08:0,16 и 0,08:0,08, при этом водовяжущее отношение ВВО изменяли в интервале ВВО=0,5–0,8 (при таком ВВО тесто легко изготавливается и избыточная вода не оказывает влияния на механические свойства материала), а коэффициент основности в интервале $K_{осн} = 0,8\text{--}0,2$. При получении не водоупорного материала изменяли параметры смеси до получения водоупора и наоборот. Фрагмент результатов испытаний представлен в табл. 4. Графическая иллюстрация фрагмента результатов исследования представлена на рис. 4.

Выполненные исследования зависимости фильтрационных свойств закладочных автоклавных материалов на основе топливных шлаков от параметров закладочной смеси позволили сделать следующие выводы:

1. Применение гашеной извести в закладочной смеси вместо негашеной не позволяет получать водоупорный автоклавный материал.

2. При увеличении водовяжущего отношения закладочной смеси для получения водоупорного материала необходимо увеличивать коэффициент основности автоклавного вяжущего.

3. Снижение тонкости помола извести и шлака в смеси от 0,16 до 0,08 мм позволяет снижать ко-

эффициент основности смеси $K_{осн}$ от 0,5 до 0,3 при сохранении водоупорности автоклавного материала.

В табл. 5 приведены параметры шлакоизвестковых смесей, при которых образцы являлись водоупорами.

Таблица 5. Параметры шлако-известковых смесей, при которых образцы являлись водоупорами

$K_{осн}$	Фракция извести	Фракция шлака	Водовяжущее отношение
0,8	0,16	0,16	0,5
0,7	0,16	0,16	0,5
0,6	0,16	0,16	0,5
0,5	0,16	0,16	0,5
0,5	0,16	0,16	0,4
0,6	0,16	0,16	0,6
0,9	0,16	0,16	0,7
0,9	0,16	0,16	0,8
0,5	0,08	0,16	0,5
0,4	0,08	0,16	0,5
0,4	0,08	0,08	0,5
0,3	0,08	0,08	0,5
0,2	0,08	0,08	0,5

Выполненные исследования позволили определить рациональные параметры закладочных автоклавных смесей на основе молотого шлака и извести для получения водонепроницаемого закладочного материала вертикальных горных выработок.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Исследование зависимости компрессионных свойств автоклавных закладочных материалов на основе топливных шлаков от параметров закладочной смеси/ Исаенко А. В., Углиница А. В. // Вестник КузГТУ. 2011. № 1. С. 34 – 37.
2. Исследование зависимости компрессионных свойств автоклавных закладочных материалов на основе топливных шлаков от параметров их автоклавной обработки/ Исаенко А. В., Углиница А. В. // Вестник КузГТУ. 2011. № 2. С. 15 – 19.
3. Исследование компрессионных свойств закладочных автоклавных массивов/ Исаенко А. В., Углиница А. В. // Вестн. Тамбовского Университета. Сер. Естественные и технические науки. Тамбов Т.16. Вып.3. С. 981 – 986.
4. Инструкция о порядке ведения работ по ликвидации и консервации опасных производственных объектов, связанных с пользованием недрами. РД 07-291-99 / Федеральный горный и промышленный надзор России. – М.: ГУП НТЦ "Промышленная безопасность", 2002. – 17 с.

□ Авторы статьи

Углиница

Андрей Владимирович,
докт. техн. наук., профессор, декан
факультета надземного и подземного
строительства КузГТУ,
тел. 8-960-908-3225

Хмеленко

Татьяна Владимировна,
канд. техн. наук., доцент каф. строи-
тельного производства и экспертизы
недвижимости КузГТУ,
тел. 8-913-404-5052

Солонин

Кирилл Дмитриевич,
студент КузГТУ (гр. ЭН -071),
тел. 8-933-535-6655.