

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 АВТОКЛАВНОЙ ОБРАБОТКИ

В КузГТУ выполнены лабораторные исследования зависимости фильтрационных свойств закладочных автоклавных материалов для вертикальных горных выработок на основе топливных шлаков от параметров закладочной смеси [1].

Однако известно, что на физико-механические свойства автоклавных материалов оказывают влияние параметры автоклавной обработки: продолжительность предавтоклавной выдержки, продолжительность подъёма давления водяного пара, продолжительность выдержки при максимальном давлении и продолжительность спуска давления водяного пара.

Для исследования зависимости фильтрационных свойств закладочных материалов от параметров автоклавной обработки были произведены испытания образцов, изготовленные в лабораторном автоклаве АЛ, предназначенному для проведения физико-химических обработок различных веществ и материалов при повышенных значениях температуры и давления.

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.

На основании выполненных ранее исследований [1] были приняты следующие параметры закладочной смеси: тип извести (негашеная кальциевая известь первого сорта); степень дисперсности составляющих вяжущего (фракция «-0,16»); водовяжущее отношение ( $BBO=0,5$ ). Один из важных параметров смеси – коэффициент основности, изменяли для получения водоупорного материала в интервале  $K_{osk} = 0,4 - 1,1$  [1].

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

Обработку вели по заданному температурному графику. Подъем и спуск температуры регулировали с помощью реостата. Давление контролировали с помощью манометра, установленного на 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, 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.

Первоначальную продолжительность каждого этапа автоклавной обработки образцов принимали следующими: предавтоклавная выдержка – 2 часа; подъема давления водяного пара – 0,75 часа; выдержка образцов при максимальном давлении водяного пара – 8 часов; спуска давления водяного пара до атмосферного – 5 часов.

Для выявления степени влияния каждого параметра автоклавной обработки на фильтрацион-

ные свойства закладочных материалов изменяли значения параметра по указанным ниже алгоритмам.

Если коэффициент фильтрации полученных образцов не превышал  $K_{\phi} = 0,001 \text{ м/сут}$ , т. е. материал был водоупорным при определённом параметре автоклавной обработки, то изменяли коэффициент основности с шагом 0,1 так, чтобы коэффициент фильтрации увеличивался. Испытания проводили до получения не водоупорного материала. Затем изменяли параметр автоклавной обработки на заданный шаг. Если коэффициент фильтрации полученных образцов не превышал  $K_{\phi} > 0,001 \text{ м/сут}$ , т. е. материал был не водоупорным при определённом параметре автоклавной обработки, то изменяли коэффициент основности с шагом 0,1 так, чтобы коэффициент фильтрации уменьшался. Испытания проводили до получения водоупорного материала. Затем изменяли параметр автоклавной обработки на заданный шаг.

Первоначально определяли степень влияния предавтоклавной выдержки на фильтрационные свойства, для этого изготавливали образцы с продолжительностью предавтоклавной выдержки 2 часа и с шагом 2 часа увеличивали до 10 часов. Это связано с технологическими особенностями послойного создания искусственного массива в вертикальной горной выработке, когда к созданию последующего слоя приступают только после завершения твердения предыдущего [2]. В этом случае любое увеличение каждого технологического этапа приведет к значительному увеличению продолжительности закладки вертикальной горной выработки и в свою очередь к увеличению её стоимости.

Фрагмент результатов испытаний представлен

в табл.1. Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 1.

Для определения степени влияния продолжительности подъема давления водяного пара на фильтрационные свойства автоклавного материала изготавливали образцы с продолжительностью подъема водяного пара – 0,75 часа, затем увеличивали этот параметр до 1,5 часов и далее с шагом 1,5 часа до 4,5 часов.

Таблица 1. Фрагмент результатов испытаний

$t^*$ , час	$K_{\text{осн}}$	$K_{\phi}, \text{ м/сут}$	Примечание
2	0,5	0,00208	Не водоупор
2	0,6	0,00068	Водоупор
4	0,5	0,00063	Водоупор
4	0,4	0,04092	Не водоупор
6	0,5	0,00043	Водоупор
6	0,4	0,02104	Не водоупор
8	0,5	0,00021	Водоупор
8	0,4	0,01413	Не водоупор
10	0,5	0,00030	Водоупор
10	0,4	0,01821	Не водоупор

$t^*$  -продолжительность предавтоклавной выдержки

Это связано с тем, что пропаривание закладочного материала будет производится через инъекторы, расположенные внутри этого материала. Увеличение расстояния между инъекторами, сократит их количество и, следовательно стоимость закладки, но одновременно, приведет к увеличению продолжительности подъема давления водяного пара. Минимальная продолжительность подъема давления 0,75 часа связана с необходимостью разогрева массива паром с ограниченной температурой (так как давление пара не должно превышать 0,9 МПа).

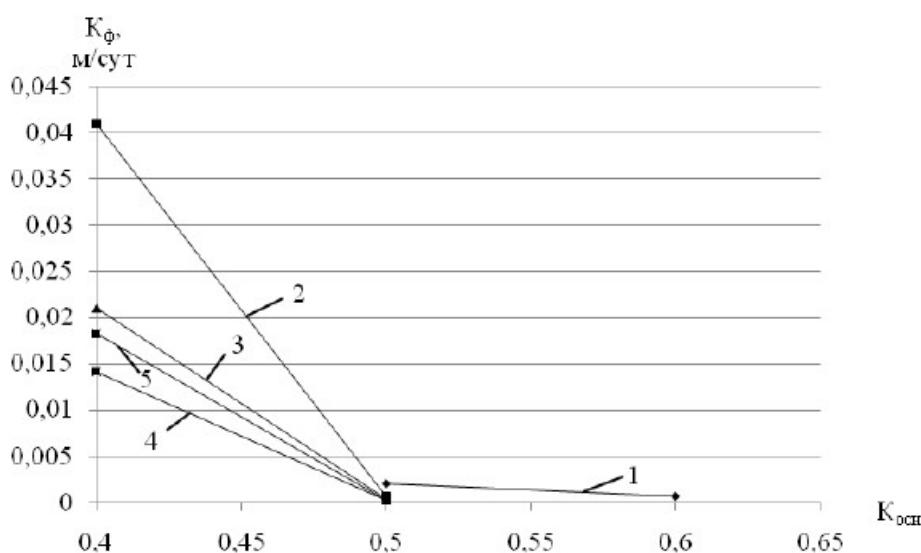


Рис. 1. Зависимость коэффициента фильтрации  $K_{\phi}$  от коэффициента основности  $K_{\text{осн}}$  и продолжительности предавтоклавной выдержки: кривая 1 – продолжительность предавтоклавной выдержки 2 часа; кривая 2 – продолжительность предавтоклавной выдержки 4 часа; кривая 3 – продолжительность предавтоклавной выдержки 6 часов; кривая 4 – продолжительность предавтоклавной выдержки 8 часов; кривая 5 – продолжительность предавтоклавной выдержки 10 часов

Таблица 2. Фрагмент результатов испытаний

$t^*$ , час	$K_{осн}$	$K_\phi$ , м/сут	Примечание
0,75	0,5	0,00063	Водоупор
0,75	0,4	0,04092	Не водоупор
1,50	0,5	0,00041	Водоупор
1,50	0,4	0,03104	Не водоупор
3,00	0,5	0,00088	Водоупор
3,00	0,4	0,04534	Не водоупор
4,50	0,5	0,00150	Не водоупор
4,50	0,6	0,00085	Водоупор

 $t^*$  продолжительность подъема давления

Максимальная продолжительность 4,5 часа связана с ограничением времени на закладку. На практике продолжительность подъема давления водяного пара будет задаваться принятым расстоянием между инъекторами.

Фрагмент результатов испытаний представлен в табл.2. Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 2.

Степень влияния продолжительности выдержки смеси в автоклаве при максимальном давлении на фильтрационные свойства автоклавного материала первоначально определяли на образцах, вы-

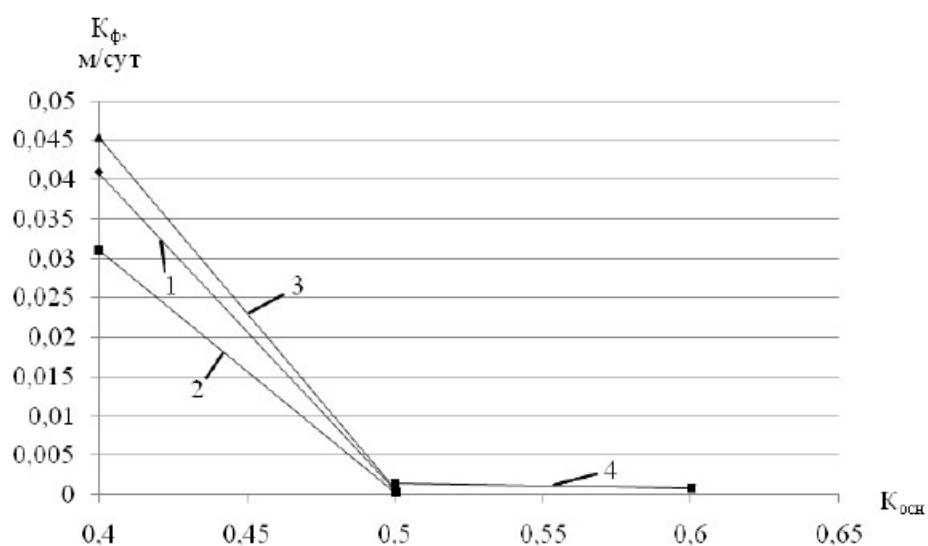


Рис. 2. Зависимость коэффициента фильтрации  $K_\phi$  от коэффициента основности  $K_{осн}$  и продолжительности подъема давления: кривая 1 – продолжительность подъема давления 0,75 часа; кривая 2 – продолжительность подъема давления 1,50 часа; кривая 3 – продолжительность подъема давления 3,00 часа; кривая 4 – продолжительность подъема давления 4,50 часа

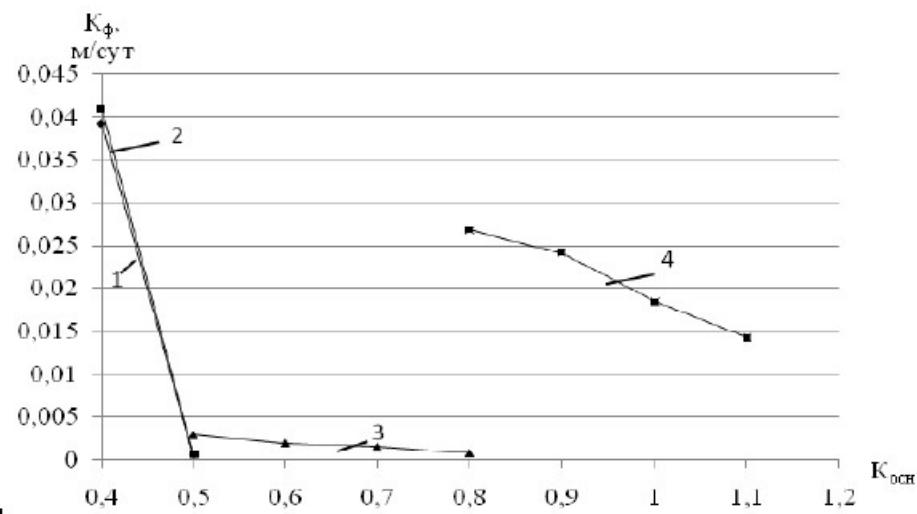


Рис. 3. Зависимость коэффициента фильтрации  $K_\phi$  от коэффициента основности  $K_{осн}$  и продолжительности выдержки при максимальном давлении: кривая 1 – продолжительность выдержки при максимальном давлении 2 часа; кривая 2 – продолжительность выдержки при максимальном давлении 4 часа; кривая 3 – продолжительность выдержки при максимальном давлении 6 часов; кривая 4 – продолжительность выдержки при максимальном давлении 8 часов

держанных при максимальном давлении водяного пара течение 8 часов. После этого уменьшали продолжительность автоклавной обработки при максимальном давлении водяного пара до 2 часов с шагом 2 часа.

Продолжительность выдержки определяется требованиями, предъявляемыми к качеству изделия в зависимости от величины давления водяного пара. Продолжительность этого этапа должна быть тем короче, чем выше давление, при этом в ряде случаев пиковый режим может отсутствовать [3].

Фрагмент результатов испытаний представлен в табл.3. Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 3.

Таблица 3. Фрагмент результатов испытаний

$t^*$ , час	$K_{осн}$	$K_\phi$ , м/сут	Примечание
8	0,5	0,00050	Водоупор
8	0,4	0,03930	Не водоупор
6	0,5	0,00063	Водоупор
6	0,4	0,04092	Не водоупор
4	0,5	0,00297	Не водоупор
4	0,6	0,00197	Не водоупор
4	0,7	0,00151	Не водоупор
4	0,8	0,00081	Водоупор
2	0,8	0,02680	Не водоупор
2	0,9	0,02413	Не водоупор
2	1,0	0,01850	Не водоупор
2	1,1	0,01430	Не водоупор

$t^*$  - продолжительность выдержки при максимальном давлении

Продолжительность снижения давления водяного пара при исследовании степени влияния продолжительности снижения давления водяного па-

ра на фильтрационные свойства автоклавного материала принимали 5 часов, затем значение указанного параметра снижали с шагом 1 час до 2 часов. Так как при резком падении давления водяного пара условия для протекания химических реакций менее благоприятны, чем при медленном снижении, к тому же, на этом этапе изделие имеет более высокую температуру, чем окружающая среда, поэтому в порах, заполненных конденсатом, происходит бурное парообразование, что может привести к значительному снижению фильтрационных свойств.

Фрагмент результатов испытаний представлен в табл.4. Графическая иллюстрация результатов исследования представлена на рис. 4.

Таблица 4. Фрагмент результатов испытаний

$t^*$ , час	$K_{осн}$	$K_\phi$ , м/сут	Примечание
5	0,5	0,00063	Водоупор
5	0,4	0,04092	Не водоупор
4	0,5	0,01032	Не водоупор
4	0,6	0,00444	Не водоупор
4	0,7	0,00083	Водоупор
3	0,7	0,00596	Не водоупор
3	0,8	0,00307	Не водоупор
3	0,9	0,00082	Водоупор
2	0,9	0,02482	Не водоупор
2	1,0	0,01939	Не водоупор
2	1,1	0,01830	Не водоупор

$t^*$  - продолжительность снижения давления

Выполненные исследования зависимости фильтрационных свойств закладочных автоклавных материалов на основе топливных шлаков от параметров автоклавной обработки позволили

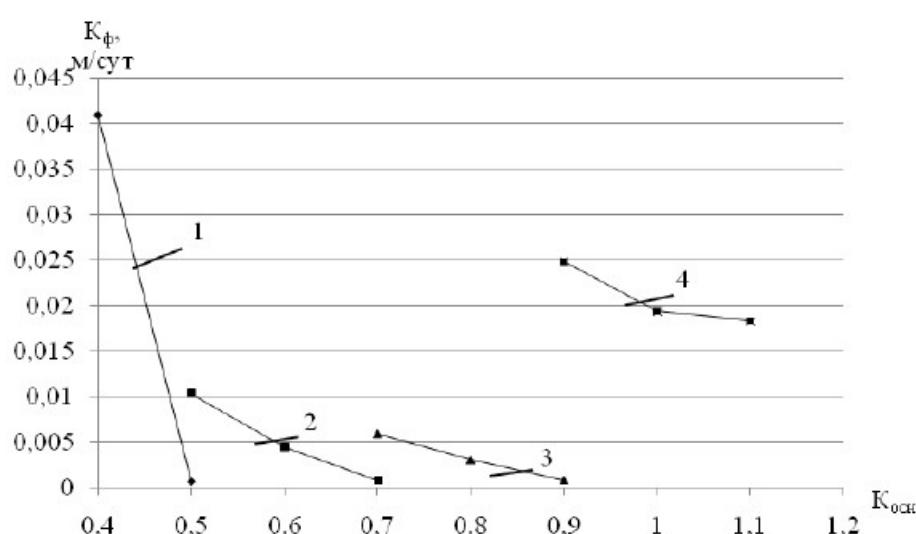


Рис. 4. Зависимость коэффициента фильтрации  $K_\phi$  от коэффициента основности  $K_{осн}$  и продолжительности спуска давления: кривая 1 – продолжительность спуска давления 2 часа; кривая 2 – продолжительность спуска давления 3 часа; кривая 3 – продолжительность спуска давления 4 часа; кривая 4 – продолжительность спуска давления 5 часов

сделать следующие выводы.

1. Продолжительность предавтоклавной выдержки в интервале 4–10 часов не оказывает значимого воздействия на коэффициент фильтрации автоклавного материала, при меньшей продолжительности необходимо увеличивать коэффициента основности.

2. Продолжительность подъема давления водяного пара в интервале от 0,75 до 3 часов не оказывает значимого воздействия на коэффициент фильтрации автоклавного материала, при увеличении продолжительности подъема давления необходимо увеличивать коэффициент основности.

3. Продолжительность автоклавной обработки при максимальном давлении водяного пара в интервале 6–8 часов не оказывает значимого влияния на коэффициент фильтрации материала.

4. Снижение продолжительности автоклавной обработки до 4 часов увеличивает расход извести для получения водоупорного автоклавного материала.

5. При продолжительности автоклавной обработки менее 4 часов, коэффициенте основности до 1,1 и крупности частиц вяжущего до 0,16 мм невозможно получить водоупорный материал.

6. Снижение продолжительности спуска давления водяного пара с 5 до 3 часов, обуславливает увеличение коэффициента основности на 0,4 для получения водоупорного материала.

7. При снижении продолжительности спуска давления водяного пара менее 4 часов при коэффициенте основности до 1,1 и крупности частиц

Таблица 5. Параметры автоклавной обработки, при которых образцы являлись водоупорами

$K_{осн}$	Продолжительность предавтоклавной выдержки, час	Продолжительность подъема давления, час	Продолжительность автоклавной обработки, час	Продолжительность спуска давления, час
0,8	4	0,75	6	5
0,7	4	0,75	6	5
0,6	4	0,75	6	5
0,5	4	0,75	6	5
0,5	4	0,75	6	5
0,6	4	0,75	6	5
0,5	4	0,75	6	5
0,9	4	0,75	6	5
0,9	4	0,75	6	5
0,5	4	0,75	6	5
0,4	4	0,75	6	5
0,4	4	0,75	6	5
0,3	4	0,75	6	5
0,2	4	0,75	6	5
0,6	2	0,75	6	5
0,5	6	0,75	6	5
0,5	8	0,75	6	5
0,5	10	0,75	6	5
0,5	6	1,50	6	5
0,5	6	3,00	6	5
0,6	6	4,50	6	5
0,5	6	0,75	8	5
0,8	6	0,75	4	5
0,7	6	0,75	4	4
0,9	6	0,75	4	3

вяжущего до 0,16 мм невозможно получить водоупорный материал.

В табл. 5 приведены параметры автоклавной обработки, при которых образцы являлись водоупорами.

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

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Исследование зависимости фильтрационных свойств закладочных автоклавных материалов на основе топливных шлаков от параметров закладочной смеси / Угляница А. В., Хмеленко Т.В., Солонин К.Д. // Вестник КузГТУ. 2012. № 3. С. 59-62
- Исследование зависимости компрессионных свойств автоклавных закладочных материалов на основе топливных шлаков от параметров их автоклавной обработки/ Исаенок А. В., Угляница А. В. // Вестник КузГТУ. 2011. № 2. С. 15 – 19.
- Боженов П. И. Технология автоклавных материалов. – Л. : Стройиздат, Ленингр. отд-ние, 1978. – 368 с.

### □ Авторы статьи

Угляница

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. 8-923-535-6655.