

## ИССЛЕДОВАНИЯ ФИЛЬТРАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ЗОЛОБЕТОНА

**Балацкая Н.В., Бутачина О.Г.**  
**Научный руководитель – профессор Кузнецов Г.И.**

*Сибирский федеральный университет*

Канско-ачинские бурые угли (КАУ) являются относительно экологически чистым топливом, сжигаемым в пылевидном состоянии на станциях ТЭС и в крупных котельных. Их малая сернистость, низкое содержание азота и значительная влажность, снижающая температуру в топке, обеспечивают слабое образование оксидов серы и азота. Низкая зольность угля и высокое содержание в золе кальция и магния позволяют использовать шлак и золу в производстве цемента, а также в других целях.

К настоящему времени наметилось несколько путей утилизации золы: использование в бетоне для замены части цемента; использование в качестве сырья при производстве цемента; при строительстве дорог; как заполнителя для асфальта; для создания противofiltrационных элементов и др.

Исследованиями, выполненными ранее, установлена возможность приобретения густыми водозоловыми смесями (ВЗС), приготовленными из высоко-кальциевой золы в соотношении с водой в диапазоне от 1:0,4 до 1:1,5 (по весу), весьма низких значений коэффициента фильтрации (до  $A \cdot 10^{-5}$  м/сут) и высокой механической прочности (до 2,7 МПа). Такая прочность золового камня объясняется образованием в его структуре соединений гидросиликатного состава.

Удачным примером использования твердеющей золы является устройство экрана на золоотвале №2 Абаканской ТЭЦ. После годичного испытания по внешнему виду и в разрезе экран состоял из плотного и прочного материала, характеризующегося ничтожно малой водопроницаемостью ( $K_{\phi}=1 \times 10^{-4}-1 \times 10^{-5}$  м/сут), определенной непосредственно на опытной карте. Прочность золобетона при статическом сжатии кубиков была равна 1,8-4,3 МПа.

Для уточнения фильтрационных характеристик и других свойств золобетона авторами проведены исследования проницаемости золобетона в зависимости от гранулометрического состава золошлакового материала, соотношения по весу золы и воды, времени твердения золобетона до постановки под напор, а также качественной оценки прочности и монолитности образцов.

В течение 8 месяцев было проведено 3 серии опытов с образцами золы, полученной при сжигании углей ирша-бородинского месторождения на котельной Студгородка СФУ. Зола по гранулометрическому составу соответствовала пылеватому песку с включениями крупнозернистых фракций; также встречались небольшие включения шлака. Гранулометрический состав (Табл.1) определен для 3 образцов золы, взятых для проведения эксперимента в различные отопительные периоды.

Таблица 1

Гранулометрический состав золы

Фракция, мм	0,1	0,25	0,5	более 0,5	более 2
Содержание в % (1 образец -осень)	10,7	26,9	46	13,12	3,28
Содержание в % (2 образец -зима)	2,5	32,8	48,3	15,3	1,1
Содержание в % (3 образец -весна)	3	48,2	33	14,4	1,4

При сжигании ирша-бородинского угля в топках с твердым шлакоудалением содержание диоксида кремния в золе изменяется от 32 до 55%, содержание диоксида кальция от 40 до 21%. Содержание алюминия и железа изменяется закономерно, диоксида серы – не более 1,5%, щелочных металлов – не менее – 1%, оксида магния – 3-7%.

С изменением зольности топлива от 4,5 до 13% содержание  $\text{SiO}_2$  увеличивается от 10 до 65 %, а содержание оксида кальция при этом уменьшается от 55 до 15%.

Элементный состав канско-ачинских бурых углей довольно постоянен. Состав золы и температура их плавления для основных месторождений, угли которых сжигает котельная СФУ представлены в Таблице 2.

Таблица 2

Состав золы углей

Месторождение	Зольность, $A^d$ , %	Состав золы, %							Температура плавления, °С		
		$\text{SiO}_2$	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	$\text{Al}_2\text{O}_3$	$\text{CaO}$	$\text{MgO}$	$\text{K}_2\text{O} + \text{Na}_2\text{O}$	$\text{SO}_3$	$t_A$	$t_B$	$t_C$
Бородинское	8,8	52	6	6	25	5	1	5	1180	1210	1230
Березовское	5,8	15	7	12	49	6	1-6	10	1300	1380	1420

Коэффициент фильтрации образцов золобетона определялся по методике Г.Н. Каменского. Труба диаметром  $d=0,3$  м и высотой 0,45 м, устанавливается на песчано-гравийную подушку и заполняется на высоту 0,03 м золошлаковым материалом, затворенным водой при различных соотношениях Т:Ж (Рис.1). Образец снизу подтоплен водой для того, чтобы в нем не осталось заземленного воздуха. После твердения золобетона (от 24 ч до 10 суток), в трубу заливается вода до отметки 0,15 м. Пористое дно обеспечивает свободное высачивание воды и уровень в трубе постепенно снижается.

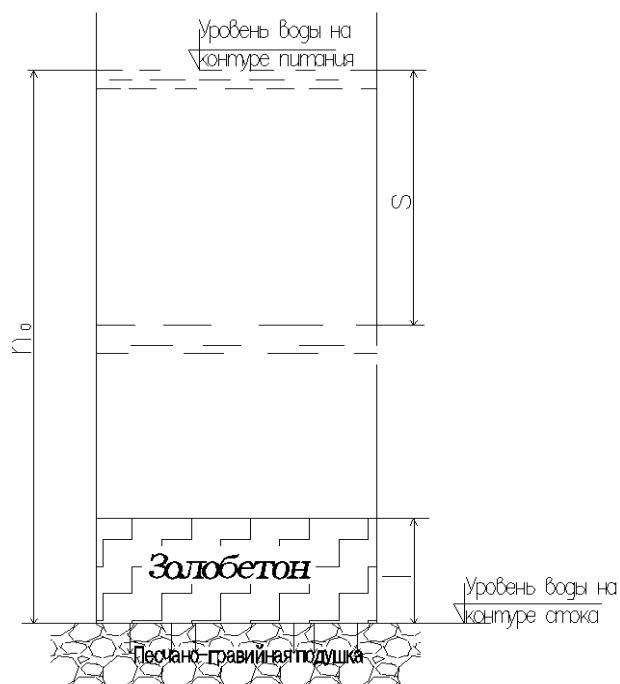


Рисунок 1 – Общий вид установки

Измеряя динамику снижения уровня воды, определяем коэффициент фильтрации. В соответствии с законом Дарси, градиент фильтрационного потока  $i$  определяется разностью напоров, отнесенной к длине пути фильтрации. Величину  $K_f$  в соответствии с методикой определяем по зависимости:

$$K_f = \frac{2,3 \frac{l}{t} \lg h_0}{h_0 - s} \quad (1.1)$$

По данным замеров положения уровня воды в приборе на различные моменты времени строится график зависимости  $s = f(t)$  в координатах  $\frac{\lg h_0}{h_0 - s}$  и  $t$ . График должен иметь вид прямой линии с угловым коэффициентом  $\frac{2,3 * l}{r}$ .

Первая серия опытов проведена с использованием образца № 1. Зола затворялась водой в соотношении В/З 1:0,5 и 1:0,6. При соотношении В/З=0,5 смесь получалась относительно густая, не рассыпалась и не расплывалась; при В/З=0,6 смесь имела более жидкую консистенцию. Минимальное время твердения ВЗС с соотношением 1:0,6 составило 1 сутки, для ВЗС с 1:0,5 - около трех суток. Полученный в наших опытах средний коэффициент фильтрации для ВЗС с соотношением 1:0,5 равен 0,02 м/сут; для ВЗС с 1:0,6 равен 0,012 м/сут.

Во второй серии опытов испытывали образец золы №2. Материал с соотношением В/З=0,5 частично окомковывался, представлял не расплывающуюся густую массу; при В/З=0,6 смесь расплывалась. Образцы ВЗС с отношением 1:0,5 ставили под напор воды после 24 ч твердения; через сутки вся вода профильтровывалась через образец. В Дальнейшем время твердения образцов было увеличено. Образец с В/З соотношением 1:0,6 ставили под напор после 4 суток твердения. Полученный в этой серии опытов средний коэффициент фильтрации равен 0,0061 м/сут.

В третьей серии опытов (образец золы №3) материал с соотношением В/З=0,7 и 0,8 частично окомковывался, представлял не расплывающуюся густую массу темно-коричневого цвета. Образцы ВЗС с отношением 1:0,7 ставились под напор воды после 5 суток твердения. Образец с В/З соотношением 1:0,8 ставился под напор после 10 суток твердения. Полученный в этой серии опытов средний коэффициент фильтрации равен 0,00682 м/сут для ВЗС с соотношением 0,7; для ВЗС с 1:0,8 равен 0,00679 м/сут.

На Рис.2 представлены значения коэффициента фильтрации в зависимости от водозолового соотношения.

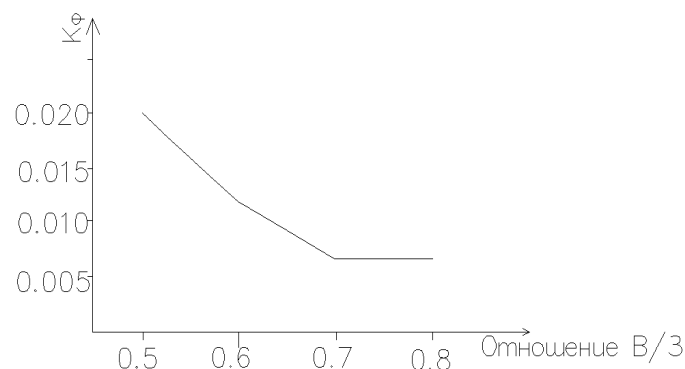


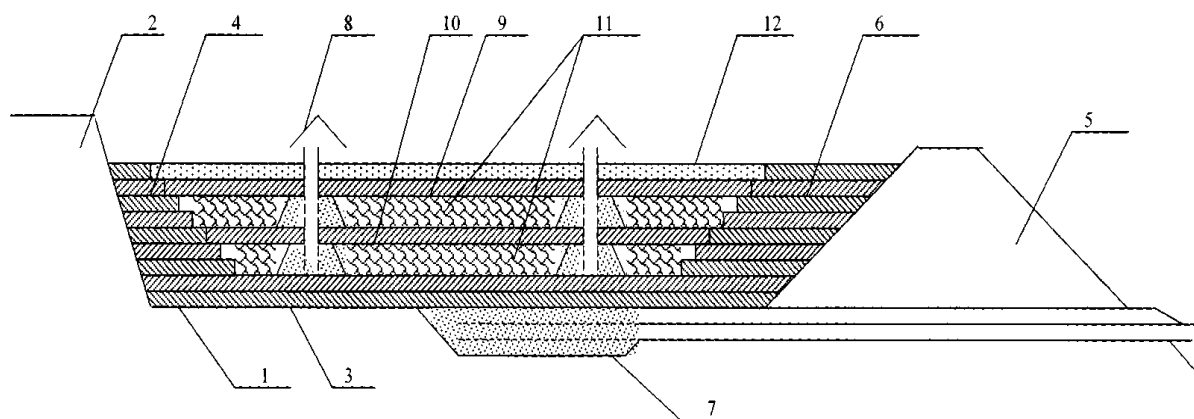
Рисунок 2 - Значения коэффициента фильтрации в зависимости от водозолового соотношения

Из графика видно, что наименьший  $K_f$  имеют образцы золобетона с соотношением воды к золе в диапазоне от 0,7-0,8.

Эксперименты показали, что с увеличением времени твердения образца до постановки его под напор воды коэффициент фильтрации уменьшается. Затвердевшие образцы были монолитными и не имели трещин.

Основываясь на положительном результате испытаний водопроницаемости образцов золобетона считаем, что этот материал может использоваться для создания экологически приемлемых экранов золоотвалов ТЭС и других накопителей отходов.

На основе использования золобетона разработана природоохранная технология совместного складирования золошлаковых и коммунальных отходов. Экологическая безопасность такого комплексного накопителя (Рис.3) достигается путем изоляции коммунальных отходов в достаточно герметичных картах. Ограждающие и экранирующие элементы карт выполняются из золобетона, получаемого из высококальцевой золы. Промежуточные экраны, разделяющие слои коммунальных отходов, выполняются из менее прочного золобетона или из золошлаков, извлекаемых из ранее заполненной секции обычного гидрозолоотвала.



1–основание, 2,5–ограждающая дамба, 3–двухслойный золобетонный экран, 4,6–золобетонный экран на откосе дамбы, 7–горизонтальный пьезометр, 8 –газоотводящие дренажи, 9 –поверхностный золобетонный экран, 10–промежуточный экран из золы, 11 –слои коммунальных отходов, 12–рекультивационный слой.

Рисунок 3 –Схема комплексного накопителя

Атмосферные осадки, поступающие на поверхность насыпи в процессе её возведения, накапливаются в пустотах насыпи и консервируются в ней. После возведения насыпи на полную высоту поступление осадков в нее предотвращается поверхностным экраном.

При использовании золы для устройства экрана необходимо следить за режимом сжигания угля, обеспечивая максимальное его сгорание. Содержание в золе несгоревшего угля должно быть не более 5%. Устройство золобетонного экрана при температуре воздуха ниже минус 5 °С возможно при введении в водозоловые смеси противоморозной комплексной добавки ( $\text{NaCl}+\text{CaCl}_2$ ). Для улучшения процесса структурообразования и получения золобетона более высокого качества рекомендуется

вводить добавку хлорида кальция ( $\text{CaCl}_2$ ) не только в зимних условиях, но также и летом, в количестве 2 % от массы золы.