

В [3] показано, что можно сделать теплые двухслойные стены толщиной менее 400 мм с применением стеновых ТЭ ГАТов или ТЭ гидророботизированных ПЦИ в «компаниях» с изделиями «Перизол». Производство ТИ и ТЭ ПЦИ с регулируемой W_c начато в Украине в 1999 г.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Опекунов В. В.** Конструкційно-теплоізоляційні бу-

дівельні матеріали на основі активованих сировинних компонентів. – Киев: Академперіодика, 2001. – 216 с.

2. **Опекунов В. В.** Конструкційно-теплоізоляційні бетони. – Киев: Академперіодика, 2002. – 270 с.

3. **Опекунов В. В.** Цементные перлитобетоны и их применение. – Киев: Академперіодика, 2004. – 45 с.

4. **Галузо Г. С.** Технология изготовления и физико-технические свойства энергосберегающих теплоизоляционных стеновых отделочных материалов // Эффективные материалы, конструкции и технологии: Сб. науч. тр. конф. / БелНИИС. – Мн., 2000. – С. 76–82.

УДК 502.5

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ТЕХНОГЕННЫХ ГРУНТОВ КАЛИЙНОГО ПРОИЗВОДСТВА

*Докт. техн. наук, проф. БОГАТОВ Б. А.,
канд. техн. наук ШЕМЕТ С. Ф.*

*Белорусский национальный технический университет,
ОАО «Белгорхимпром»*

Функционирование крупнейшего горнодобывающего предприятия РУП ПО «Беларуськалий», играющего важнейшую роль в экономике Беларуси, вызывает вместе с тем существенные изменения природной среды на земной поверхности и в ее недрах. Негативные последствия подземной разработки калийных месторождений проявляются прежде всего в деформации (опускании) земной поверхности над отработанными подземными выработками и отчуждении значительных площадей пахотных земель для хранения отходов калийного производства. В процессе добычи и обогащения калийной руды образуются два вида отходов: твердые галитовые, которые складировать в солеотвалах, и жидкие глинисто-солевые шламовые отходы, размещаемые в специально сооружаемых на поверхности земли емкостях – шламохранилищах. За сорок лет эксплуатации Старобинского месторождения калийных руд в Беларуси накопилось более 550 млн т твердых галитовых отходов в солеотвалах на площади около 500 га и 65 млн т жидких глинисто-солевых шламов в шламохранилищах на площади порядка 900 га.

В эксплуатируемых шламохранилищах со временем в результате процессов уплотнения и литификации глинисто-солевые шламовые отходы превратились в техногенные шламовые грунты, имеющие ряд особенностей, важней-

шим из которых является наличие в поровом пространстве насыщенных (по NaCl и KCl) рассолов с минерализацией более 300 г/л. При высыхании такого грунта в поровом пространстве из насыщенных рассолов образуются кристаллы вторичной соли, существенно изменяющие основные показатели физико-механических свойств техногенного грунта. Количество шламовых отходов постоянно растет, обостряются проблемы, связанные с сооружением новых и реконструкцией старых шламохранилищ. В этих условиях становится актуальным поиск путей утилизации техногенных шламовых грунтов, в том числе и для использования в качестве строительного материала при сооружении и реконструкции ограждающих дамб хранилищ. В рамках выполнения НИР по ГНТП «Минеральные удобрения» кафедрой горных работ БНТУ совместно с ОАО «Белгорхимпром» некоторые предложения по использованию техногенных грунтов были реализованы, но остается неизученным ряд вопросов, связанных с изменением во времени физико-механических свойств этого материала в теле ограждающей дамбы. В 2003 г. были экспериментально изучены изменения во времени t влажности W , сцепления C , угла внутреннего трения φ и коэффициента фильтрации K_ϕ шламовых грунтов. Графики зависимостей $W(t)$, $C(t)$, $\varphi(t)$, $K_\phi(t)$ представлены на рис. 1.

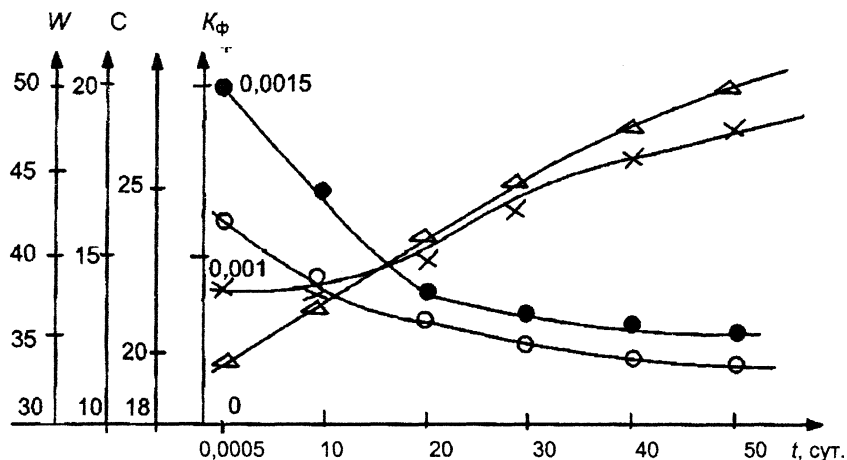


Рис. 1. -o-- W; -x-- C; -Δ-- φ; -•-- K_φ

В результате сравнительного анализа различных графиков для описания зависимости $W(t)$ была выбрана формула [1]

$$W = \frac{1}{at + b}, \quad (1)$$

где a, b – эмпирические коэффициенты, для нахождения которых методом наименьших квадратов формула (1) была приведена к линейному виду:

$$y = \frac{1}{W} = at + b. \quad (2)$$

Таким образом была найдена зависимость $W(t)$ в виде

$$W = \frac{1}{0,00017t + 0,024}. \quad (3)$$

Сравнение расчетных по (3) значений W с экспериментальными величинами показало, что ошибка расхождения не превышает 2,3 %.

Практический интерес представляет определение математической зависимости сцепления частиц шламового грунта от времени его нахождения в теле дамбы.

Обращаем внимание на то, что график $C(t)$ имеет S-образный характер.

Это может указывать на пропорциональность скорости изменения сцепления в любой момент времени произведению текущего значения сцепления на оставшийся ресурс увеличения этой характеристики грунта.

Для разработки в перспективе метода расчета напряженно-деформированного состояния

тела ограждающей дамбы, построенной с использованием техногенных шламовых грунтов, были определены математические зависимости $C(t), \varphi(t), K_{\phi}(t)$. С учетом характера экспериментальной зависимости $C(t)$ для ее описания была взята формула Перла

$$C = \frac{C_{\infty}}{1 + At^{-kt}}, \quad (4)$$

где C_{∞} – предельное значение C при $t \rightarrow \infty$; A, k – эмпирические коэффициенты.

После приведения формулы (4) к линейному виду методом наименьших квадратов были найдены $A = 0,36; k = -0,056$ при $C_{\infty} = 18$;

$$C = \frac{18}{1 + 0,36 \exp(-0,056t)}. \quad (5)$$

Сравнение расчетных значений C по (5) с экспериментом показало, что относительная ошибка не превышает 6 %. Привлекательность использования формулы Перла для описания $C(t)$ заключается в том, что она правильно, на наш взгляд, отражает физический смысл процессов, происходящих в шламовом грунте. С уменьшением влажности грунта растет сцепление его частиц, но до определенного предела. Установлено, что уже через 2 месяца (60 суток) сцепление отличается от предельного значения всего на 1,1 %, что формула и подтверждает.

Обработка экспериментальных данных $\varphi(t)$ показала, что в исследованных пределах вполне подходит линейная зависимость

$$\varphi = at + b. \quad (6)$$

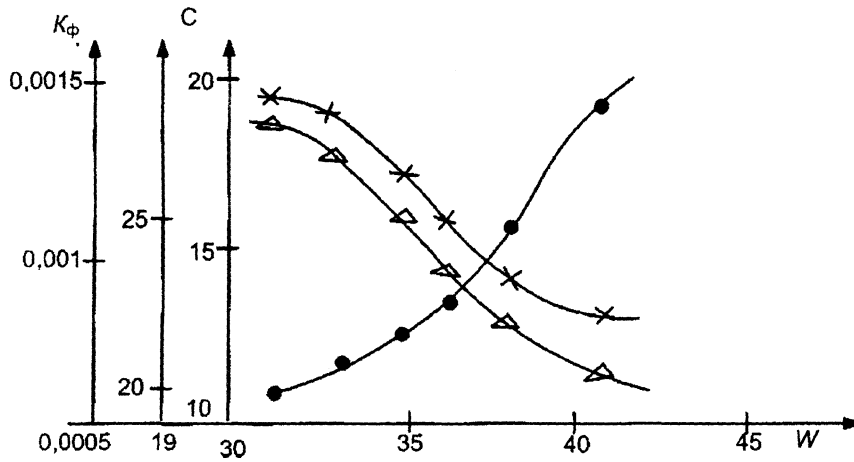


Рис. 2. Зависимости $K_{\phi}(W)$, $\phi(W)$, $C(W)$: -x- - C; -Δ- - φ; -•- - K_{ϕ}

Коэффициенты a , b найдены методом наименьших квадратов

$$\phi = 0,16t + 20,1. \quad (7)$$

Рассчитанные значения ϕ по (7) незначительно отличаются от эксперимента (ошибка не превышает 1,3 %).

И, наконец, в качестве математической модели изменения коэффициента фильтрации во времени (для условий эксперимента) взято уравнение

$$K_{\phi} = \frac{1}{at + b}. \quad (8)$$

Как уже отмечалось выше, с изменением влажности по истечении некоторого времени техногенный грунт частично сжимается и к тому же освобождается от испарившейся воды поры заполняются кристаллами вторичной соли. В результате наблюдается снижение коэффициента фильтрации техногенного шламового грунта, расположенного в теле ограждающей дамбы (но обязательно изолированного от влияния атмосферных осадков полиэтиленовой пленкой).

После приведения зависимости (8) к линейному виду

$$\frac{1}{K_{\phi}} = at + b$$

методом наименьших квадратов были найдены параметры формулы ($a = 18,58$ и $b = 674,48$). Расчетные значения K_{ϕ} , определенные по формуле

$$K_{\phi} = \frac{1}{18,58t + 674,48},$$

отличаются от эксперимента не более чем на 4 %.

Таким образом, в результате математической обработки результатов наблюдений полу-

чены зависимости $C(t)$, $\phi(t)$ и $K_{\phi}(t)$. Различие вида формул может быть объяснено отличием процессов, лежащих в основе формирования указанных выше характеристик шламового грунта. Изучение физических процессов в шламовом грунте позволит оптимизировать параметры сооружаемых дамб и более полно использовать отходы данного вида.

Важнейшим свойством шламового грунта является его влажность. И поэтому, рассматривая техногенный глинисто-солевой шламовый грунт в качестве строительного материала ограждающих дамб, необходимо проанализировать связь сцепления, угла внутреннего трения и коэффициента фильтрации с влажностью (рис. 2).

В двух случаях ($C(W)$ и $\phi(W)$) – это приближенно обратные зависимости. Следовательно, для анализа корреляционных связей нужно рассмотреть линеаризованные зависимости $\frac{1}{C}(W)$; $\frac{1}{\phi}(W)$.

Зависимость $K_{\phi}(W)$ близка к линейной. Расчеты показали, что $r_{\frac{1}{C}} = 0,868$; $r_{\frac{1}{\phi}} = 0,969$; $r_{K_{\phi}W} = 0,938$. Таким образом, во всех случаях существует очень тесная корреляционная связь (практически функциональная) влажности техногенного шламового грунта и его сцепления, угла внутреннего трения и коэффициента фильтрации.

Это значит, что пригодность шламов для использования их в качестве материала при сооружении ограждающих дамб шламохранилищ можно определять лишь по его влажности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Богатов Б. А. Математические методы и модели в горном деле. – Мн.: Технопринт, 2003. – 278 с.