

**В.Г. НАУМЕНКО**, асс.,

(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

## **МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ СВОЙСТВ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ОСАДКОВ УГЛЕОБОГАЩЕНИЯ ПРИ ИХ МЕХАНИЧЕСКОМ ОБЕЗВОЖИВАНИИ**

На современном этапе развития обогащение углей имеет ряд технологических особенностей. К таким основным особенностям в работе [1] отнесено поступление на обогатительные предприятия рядового угля, в котором практически отсутствует класс крупностью более 13 мм или его количество невелико. Такая ситуация является причиной повышения количества шлама в шихте и как следствие ухудшение работы водно-шламовой схемы предприятия, особенно процессов обезвоживания (механического и термического) [2, 3]. Это в свою очередь приводит к ухудшению качества товарных продуктов по такому показателю как влажность, т.к. именно продукты шламовой крупности обладают наиболее высокой влажностью и повышают общую влажность отгружаемого концентрата. Кроме того, из-за общей тенденции снижения крупности флотационных концентратов на многих фабриках ухудшаются показатели работы вакуум-фильтров. Уменьшение влажности флотоконцентрата и тонкого шлама может быть достигнуто при создании новых типов обезвоживающего оборудования и технологий, а также при совершенствовании имеющихся процессов механического обезвоживания [4].

Как установлено многими исследователями [5, 6], структура осадков, особенно такая ее характеристика как проницаемость, оказывает значительное влияние на процессы удаления влаги. При формировании осадка на рабочем органе обезвоживающего аппарата происходит ряд физических процессов, основными среди которых являются гидродинамические, механические и фильтрационные. К механическим относится деформирование твердой фазы осадка на фоне фильтрации жидкости, которое включает компрессию, консолидацию, сдвиг скелета твердой фазы под действием касательных напряжений [7].

Эти важные составляющие механической фазы формирования осадка характеризуются рядом параметров. Например, компрессионные характеристики осадка описываются коэффициентами компрессии, модулями деформации твердой фазы. При сдвиге твердой фазы касательными нагрузками необходимо знать предел прочности осадка на сдвиг, модуль сдвига, коэффициент разуплотнения, сопровождающие сдвиг и другие важные характеристики, которые не применялись в обогащении минерального сырья.

Эти характеристики дают возможность оценить сжимаемость, прочность осадков, скорость фильтрации жидкости, а также энергоемкость механических процессов обезвоживания. Такие механические параметры широко применяются в механике грунтов [9, 10].

Целью настоящей работы является выбор методики исследования свойств

тонкодисперсных осадков углеобогащения при их деформировании на фоне фильтрационных процессов.

В механике горных пород и грунтов различают такие понятия как плотность минеральной части и плотность скелета осадка, пористость и коэффициент пористости осадка, объем пор и объем минеральной части в единице объема осадка, предел пластичности, предел текучести и число пластичности для глинистых осадков, коэффициент уплотненности для зернистых и глинистых осадков.

Осадки, содержащие в большинстве своем угольные или песчаные частицы, относятся к зернистым несжимаемым осадкам, а тонкие глинистые осадки - к связанным. Отличительной особенностью глинистых осадков является то, что частицы в них и отдельные агрегаты связаны между собой. Эти связи могут быть пластичными (водно-коллоидными) и частично жесткими (цементационно-кристаллизационными) [9]. При этом от связанности частиц в осадке зависит его сопротивление сдвигу, определяемое силами сцепления.

Параметры сопротивления сдвигу зависят от приложенного давления и условий в точках контакта частиц. Граничное сопротивление сдвигу при прямом плоском сдвиге определяется путем испытаний осадков на срезывательных устройствах, имеющих прообразом прибор Г. Тиме [9, 11].

В приборе, действующем по такому принципу, сдвиговое касательное нагружение прикладывают в плоскости среза осадка до тех пор, пока не произойдет сдвиг и скольжение одной части осадка относительно другой. Одновременно с приложением нагрузки производятся измерения вертикальных перемещений осадка в результате его разуплотнения с помощью датчиков часового типа.

Испытания на сдвиг производят после предварительного уплотнения (консолидации) образца. Кроме того, сам режим консолидации осадка представляет интерес с практической точки зрения, поскольку такие режимы повсеместно встречаются почти во всех обогащательных аппаратах. Компрессионные испытания позволяют оценить сжимаемость осадков, зависимость их пористости и водопроницаемости от давления, и другие важные показатели, которые дают возможность оценить и правильно регулировать процесс обезвоживания.

В ходе компрессионно-консолидационных испытаний осадков проявляется ряд основных закономерностей [10].

1. Существует некоторая величина нагрузки  $\sigma$ , которая называется структурной прочностью осадка при компрессии  $\sigma_{стр}$ . По достижении этого значения деформация осадка может иметь упругий или упруго-вязкий характер и быть малой. При упруго-вязком характере деформации скорость относительной деформации низкая и не зависит от условий дренирования жидкости и высоты осадка. Указанное состояние реализуется при обезвоживании осадков на ленточных фильтрах, на начальных стадиях обезвоживания в пресс-фильтрах, в верхнем слое осаждающих медленно действующих аппаратов и т.д.

2. При превышении нагрузки выше структурной прочности осадка при компрессии процесс деформации интенсифицируется и может продолжаться

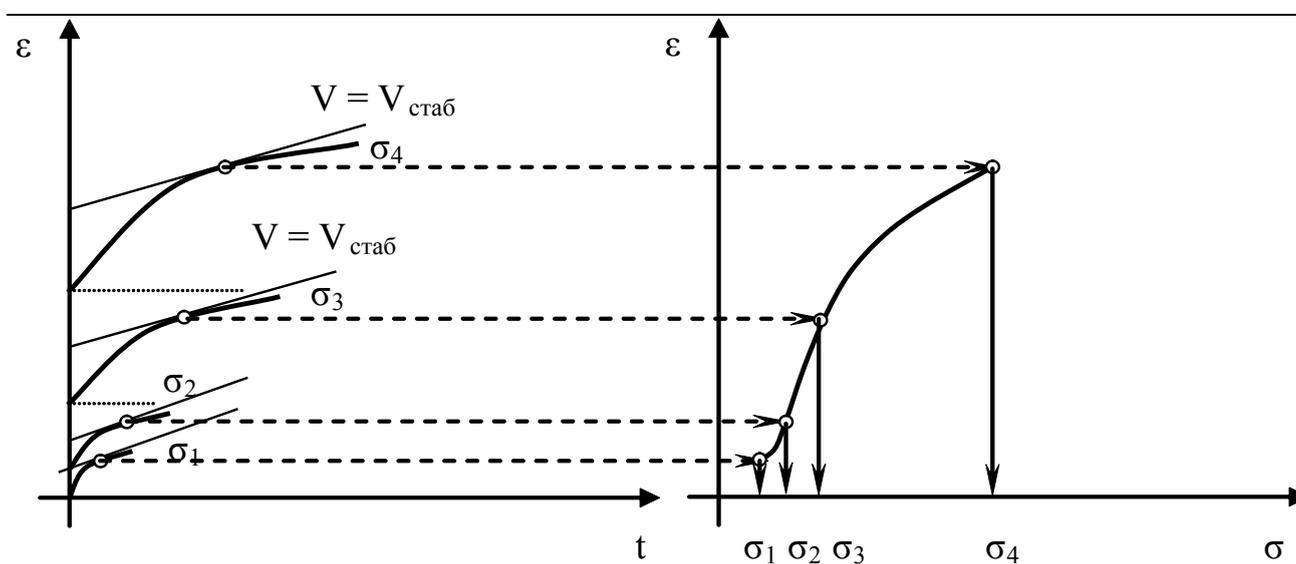
довольно долго во времени, поэтому абсолютного завершения деформации можно не зафиксировать в ходе эксперимента. Такие режимы реализуются на средней и конечной стадии обезвоживания осадка в пресс-фильтрах, осадительных центрифугах.

3. Время достижения осадком заданной относительной деформации определяется по соотношению:

$$t_{\varepsilon\sigma} = a_{\varepsilon\sigma} + b_{\varepsilon\sigma} h_f^2, \quad (1)$$

где  $t_{\varepsilon\sigma}$  – время достижения осадком заданной относительной деформации  $\varepsilon$  при достижении нагрузки  $\sigma$ ,  $a_{\varepsilon\sigma}$  и  $b_{\varepsilon\sigma}$  – консолидационные параметры, зависящие от значений  $\varepsilon$  и  $\sigma$ ,  $h_f$  – расчетный путь фильтрации воды из осадка.

В ходе компрессионных испытаний получают стандартную компрессионную кривую, общий вид которой показан на рис. 1.



На этой кривой для данного осадка определяют значения структурной прочности осадка при компрессионном сжатии  $\sigma_{сmp}$ . Компрессионная кривая показывает зависимость относительной деформации образцов  $\varepsilon$  или его пористости  $m$  от величины прилагаемой в условиях компрессионного сжатия нагрузки  $\sigma$ .

В ходе измерений обеспечивается нагружение с последовательным увеличением, ступенями. За конечную деформацию осадка под данной ступенью нагрузок принимается деформация, которая достигается к моменту времени, когда интенсивность осадки станет равной 0,02 мм/сут или когда интенсивность относительной деформации составит  $0,001 \text{ сут}^{-1}$ .

Интенсивность усадки вычисляют по соотношению:

$$v_{стаб} = 0,002 h, \text{ мм/сут.} \quad (2)$$

Обработка результатов компрессионных испытаний выполняется в два

этапа. Первый этап заключается в построении кривых зависимости относительных деформаций осадка от времени под каждой нагрузкой (рис. 1, а). Для вычисления относительной деформации осадка определяют общие деформации по показаниям индикаторов для каждой ступени нагрузки.

Из полученной общей деформации осадка вычитают собственные деформации прибора (одеметра), которые определяют по тарировочной кривой. Полученные таким образом действительные деформации осадка делят на его первоначальную высоту и определяют относительные деформации по формуле:

$$\varepsilon = \Delta h / h_0 . \quad (3)$$

По значениям относительной деформации строят график зависимости ее от времени для каждой ступени нагрузки вида, показанного на рис. 1, б. По данным этих зависимостей определяют значение  $\varepsilon$ , соответствующее интенсивности усадки осадка, принятой за условную стабилизацию, и по этим значениям строят стандартную компрессионную кривую вида, представленного на рис. 1, б. По стандартной компрессионной кривой определяют структурную прочность при компрессионном сжатии  $\sigma_{cmp}$ , стандартный коэффициент уплотнения  $a_c$ , стандартный модуль усадки  $e_\sigma^c$ , модуль стандартной компрессии  $E_c$ .

Коэффициент уплотнения определяется как тангенс угла наклона спрямленной в данном диапазоне нагрузок компрессионной кривой по соотношению:

$$a_c = \Delta e / \Delta \sigma , \quad (4)$$

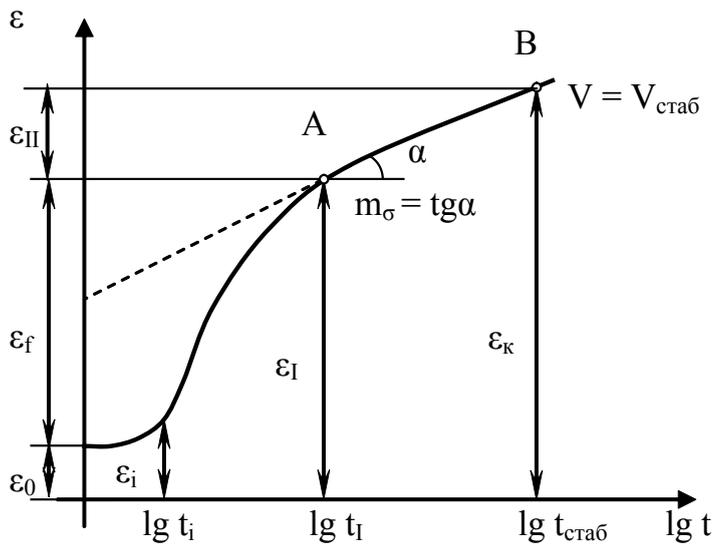
где  $\Delta e$  – изменение пористости в диапазоне изменения нагрузки.

Модуль деформации вычисляется по формуле:

$$M_0 = \Delta \sigma / \Delta \varepsilon , \quad (5)$$

где  $\Delta \sigma$  – диапазон напряжений, в котором компрессионная кривая заменяется прямой линией,  $\Delta \varepsilon$  – приращение относительной деформации в этом диапазоне.

При консолидационных испытаниях получают консолидационные кривые, из которых определяют параметры и степень консолидации осадка. Их проводят на тех же приборах - одометрах. По результатам измерений строят график зависимости пористости от времени, откладывая время по оси абсцисс в виде  $lg t$ . Консолидационная кривая показывает ход деформации образца  $\varepsilon$  во времени  $t$  под заданной нагрузкой при компрессионном сжатии. Общий вид консолидационной кривой показан на рис. 2.



Процесс консолидации осадка характеризуется уравнением, основанным на теории фильтрационной консолидации, где параметр  $K_{\varepsilon\sigma}$  определяется из выражения:

$$K_{\varepsilon\sigma} = K_U / C_K, \quad (6)$$

где  $K_U$  – теоретический коэффициент, значение которого определяется степенью консолидации,  $C_K$  – коэффициент консолидации, зависящий от свойств осадка.

Степень консолидации осадка определяется как отношение усадки в данный момент времени к конечной усадке.

На участке вторичной усадки, когда  $t > t_I$  (участок АВ на рис. 2), зависимость относительной усадки от времени имеет линейный характер в логарифмических координатах и описывается уравнением:

$$\varepsilon_{II} = \varepsilon_I + m_\sigma \lg (t/t_I). \quad (7)$$

Здесь  $\varepsilon_{II}$  относительная усадка,  $\varepsilon_I$  – первичная относительная усадка,  $m_\sigma$  – консолидационный параметр, зависящий от вида и состояния осадка, а также от значения прикладываемой нагрузки,  $t_I$  – консолидационный параметр, соответствующий времени завершения первичной усадки и зависящий от вида осадка и его исходного состояния, пути фильтрации воды из осадка и величины нагрузки на осадок.

В ходе обработки результатов находят на полученной кривой конечную относительную деформацию  $\varepsilon_k$ , первичную усадку осадка  $\varepsilon_I$  и соответствующее ей время  $t_I$ . По полученным значениям определяют консолидационный параметр  $m_\sigma$  как тангенс угла наклона прямолинейного участка АВ кривой к оси абсцисс:

$$m_\sigma = (\varepsilon_k - \varepsilon_I) / (\lg t_k - \lg t_I) \quad (8)$$

Здесь  $\varepsilon_i$  – текущее значение относительной усадки осадка в момент времени  $t_i$ .

По данным измерений и определений строят зависимости в координатах  $\varepsilon_I / \varepsilon_k - \sigma$ ,  $t_I - \sigma$ ,  $\varepsilon_I - \sigma$ ,  $m_\sigma - \sigma$ ,  $\varepsilon_i / \varepsilon_I - (\lg t_i - \lg t_I)$ . Полученные графики позволяют определить значения консолидационных параметров: относительную усадку  $\varepsilon_I$  и момент времени  $t_I$ , соответствующий ей, консолидационный параметр  $m_\sigma$  при различных значениях нагружения.

Таким образом, описанные выше методики позволяют определить изменение механических свойств тонкодисперсных осадков углеобогащения при различных воздействиях, имеющих важное значение при их обезвоживании в таких аппаратах, как ленточные фильтры и пресс-фильтры, осадительные центрифуги.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на экспериментальное определение ряда механических свойств осадков углеобогащения при их фильтровании.

### Список литературы

1. **Полулях А.Д.** Особенности современных технологий углеобогащения // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2003. – вип. 17(58). С. 3-6.
2. **Полулях А.Д., Ищенко О.В.** Состояние подготовки и обогащение машинных классов рядового угля в Украине // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2005. – вип. 23 (64) - С. 21-26.
3. Технично-економічний аналіз роботи углеобогатительних фабрик України за 2003 год. – Луганск: УкрНИИУглеобогащение, 2004. – 95 с.
4. **Уваров И.И.** Анализ техники и технологии обезвоживания тонкодисперсных угольных шламов // Збагачення корисних копалин. Дніпропетровськ. – 2003. – Вип. 17 (58). – С. 101-103.
5. **М.И. Бейлин.** Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
6. **Пейчев И.Д.** Исследование теоретических закономерностей течения жидкости через пористую среду // Обогащение полезных ископаемых. Днепропетровск. – 2004. – Вып. 20 (61). – С. 99-104.
7. **Гарковенко Є.Є., Назимко О.І.** Інтенсифікація процесу фільтрування в полі деформацій зсуву. // Труды Міжнар. конф. «Міжнародний та вітчизняний досвід переробки відходів». 2002. – С. 17-19.
8. **Н.А. Цытович.** Механика грунтов. М.: Выща школа. – 1979. – 272 с.
9. **В.Д. Ломтадзе.** Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. М.: Недра. – 1990. – 328 с.
10. **Гарковенко Е.Е.** Особенности обезвоживания тонких труднофильтруемых осадков // Сб. Трудов НГУ. – 2003. - № 17. – т.1. – С. 88-93.

*Поступила в редколлегию 18.04.2007 г.*

*Рекомендована к публикации д.т.н. А.Д. Полуляхом*