

настоящей работы.

Список литературы

1. **Вовк Н.Е.** Обратное водоснабжение и подготовка хвостов к складированию. – М.: Недра, 1977. – 150 с.
2. **Robinsky E.I.** Thickened Tailings in the Mining Industry. – Toronto: Canada, 1999. – 210 p.

© Кирнарский А.С., Красуля А.С., Пилов П.И., Швец Н.А., 2006

Надійшла до редколегії 28.04.2006 р.

Рекомендовано до публікації

УДК 622.794

Е.Е. ГАРКОВЕНКО, канд. техн. наук
(Украина, Донецк, Донецкий национальный технический университет)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОВЕДЕНИЯ ОСАДКОВ ПРИ НАЛОЖЕНИИ СДВИГОВЫХ ПОЛЕЙ

В различных отраслях промышленности, в том числе и в горнодобывающей, используется обезвоживание осадков разного состава и крупности механическими методами.

В процессе обезвоживания и формирования осадка возможны несколько основных режимов их деформирования. Первый – режим компрессионного сжатия, когда в осадке развиваются (увеличиваются) только нормальные деформации сжатия, в результате чего жидкая фаза выдавливается из пор и ловушек в режиме фильтрации. Второй режим чистого сдвига, когда возможны три проявления объемной деформации: сжатия в случае сдвига в недоконсолидированном осадке, разуплотнения в случае переконсолидированного осадка и сдвиг без изменения объема в пограничном случае. Третий режим смешанный, когда возможен сдвиг со сжатием.

Любые режимы или подрежимы со сдвигом полезны, поскольку они разрушают тупиковые поры и активно перестраивают кластерную структуру осадка, что в любом случае повышает проницаемость и увеличивает скорость фильтрации жидкой фазы. Однако подрежим сдвига с разуплотнением (то есть сдвига в переконсолидированном осадке) увеличивает проницаемость больше всего [1].

Из механики грунтов известно, что испытания на сдвиг производят часто после предварительного уплотнения (консолидации) образца [2, 3]. Кроме того,

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

сам режим консолидації осади представляє інтерес з практичної точки зору, оскільки такі режими повсюдно зустрічаються в багатьох апаратах, застосовуваних в технології збагачення та обезводнення [4]. В зв'язі з цим необхідно випробувати осади збагачення в режимі консолидації, компресії та накладення зсувних полів.

Метою даної роботи є дослідження поведінки осадків при накладенні зсувних полів.

При дослідженні осадків застосовувалися методики проведення консолидаційних, компресійних та зсувних випробувань, докладно викладені в роботах [2, 3, 5, 6].

На рис. 1 показані типові результати випробування осади на прикладі відходів флотації ЦОФ "Чумаковська"¹. Зразок, позначений як ПКО, представляв собою перекомплікований осадок, а зразок НКО – неконсолідований. Зразок ПКО формувался при нормальному тиску 1 МПа ступенями по 0,1 МПа.

Кожна ступінь витримувалася до рівня консолидації, що становить 85% від повної консолидації. Зразок НКО формувался під тиском 0,3 МПа аналогічними ступенями по 0,1 МПа. Випробування обох зразків на зсув проводилися при нормальному тиску 0,3 МПа та швидкості зсуву 0,05 с⁻¹.

¹ В проведенні експериментів брала участь інж. Науменко В.Г.

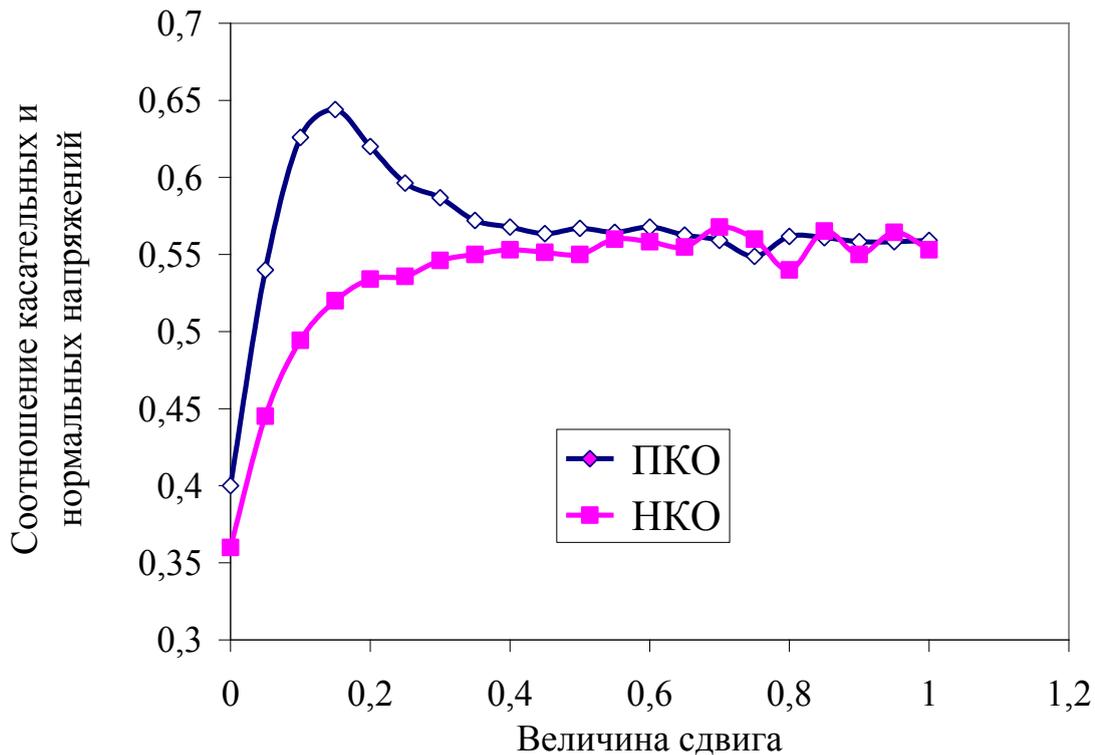


Рис. 1. Залежність відношення касательних і нормальних напружень від величини сдвига

Криві сдвига показують, що недоконсолідований осадок оказує монотонно зростаюче опір сдвигу. Оскільки нормальна навантаження підтримувалася постійною, ординату можна вважати пропорційною величині касательних напружень. Видно, що приведені касательні напруження досягають максимального значення 0,56 по мірі збільшення сдвига до значення 0,4. Далі збільшення сдвигових деформацій не змінює величину приведенного касательного напруження.

Навпаки, переконсолідований осадок показує іншу форму кривої сдвига. Впочатку опір сдвигу по мірі збільшення деформації сдвига різко зростає і при сдвігу 0,15 досягає максимуму, рівного 0,65. Потім по мірі збільшення сдвигової деформації опір сдвигу падає і в момент сдвига на величину 0,4 монотонно зменшується до рівня 0,56, практично рівного рівню максимального опору недоконсолідованого зразка. Аналогічні результати отримані і авторами для зразків інших матеріалів [7, 8].

Таким чином, прямі випробування осаду на сдвиг показують, що переконсолідований зразок проявляє пікове опір сдвигу, тоді як недоконсолідований підвищує опір сдвигу монотонно. При цьому величина залишкового опору сдвига в обох випадках

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

становиться одинаковой и постоянной. Это говорит о том, что осадок из одного и того же материала при одинаковой нормальной нагрузке приобретает одинаковую структуру, которая обеспечивает одинаковое сопротивление сдвигу независимо от начального состояния осадка. На рис. 2 приведены сопряженные данные испытаний осадков на срез. На графиках изображены кривые изменения деформации осадков по мере прогрессирувания сдвига.

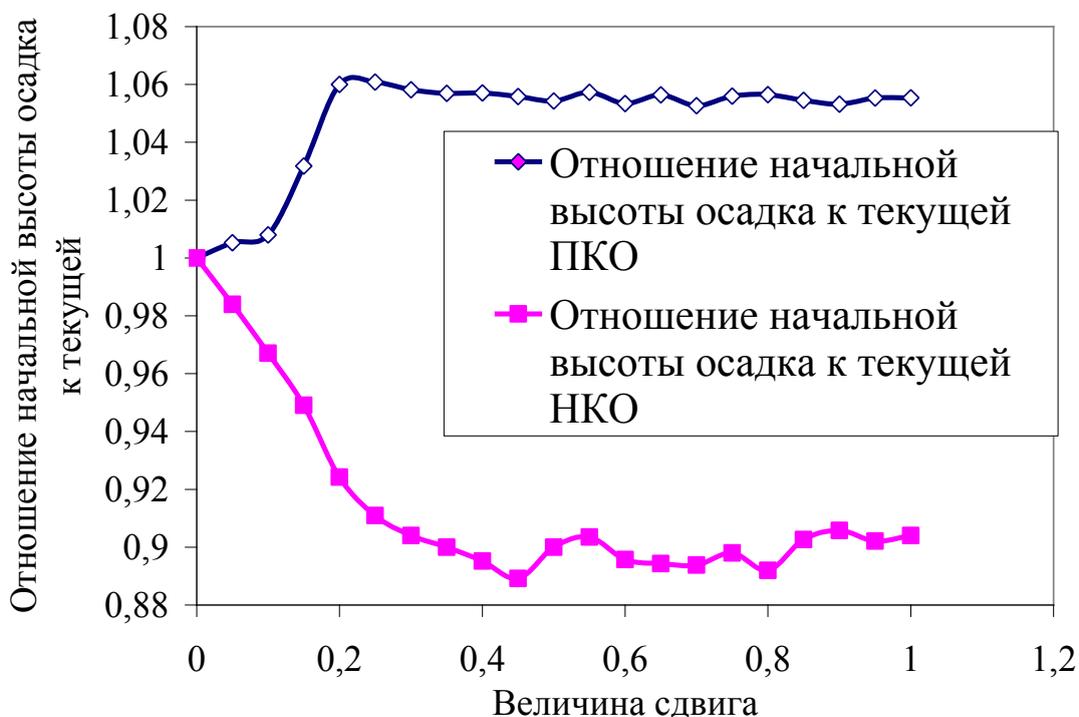


Рис. 2. Характер изменения объема осадка при сдвиге

Из данных рис. 2 следует, что переконсолидированный осадок разуплотняется на 6%, поскольку его высота (а значит и объем) увеличивается в процессе развития сдвига. Следует отметить, что увеличение высоты образца начинается примерно в точке достижения пика касательных напряжений, а максимум разуплотнения наступает после пика касательных напряжений.

Сдвиг недоконсолидированного осадка сопровождается его уплотнением, что является следствием недоконсолидации. Объем образца в данном случае уменьшился на 10%. Отметим, что степень уплотнения недоконсолидированных осадков уменьшается по мере увеличения нормального давления, при котором осадок формируется. Так при давлении 0,8 МПа сдвиг недоконсолидированного осадка практически не изменяет его объем.

Отсюда следует важный практически вывод. Переконсолидированное

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

состояние осадка легко создается путем кратковременного уменьшения нормального давления во время сдвига. Другими словами любой осадок можно привести в переконсолидированное состояние и добиться его разуплотнения путем приложения сдвиговой деформации с кратковременным снижением нормального давления, переводя напряжение сдвига в запиковую величину.

На рис. 3 показана типичная серия кривых сдвиговых испытаний осадка при разном уровне нормального давления на осадок.

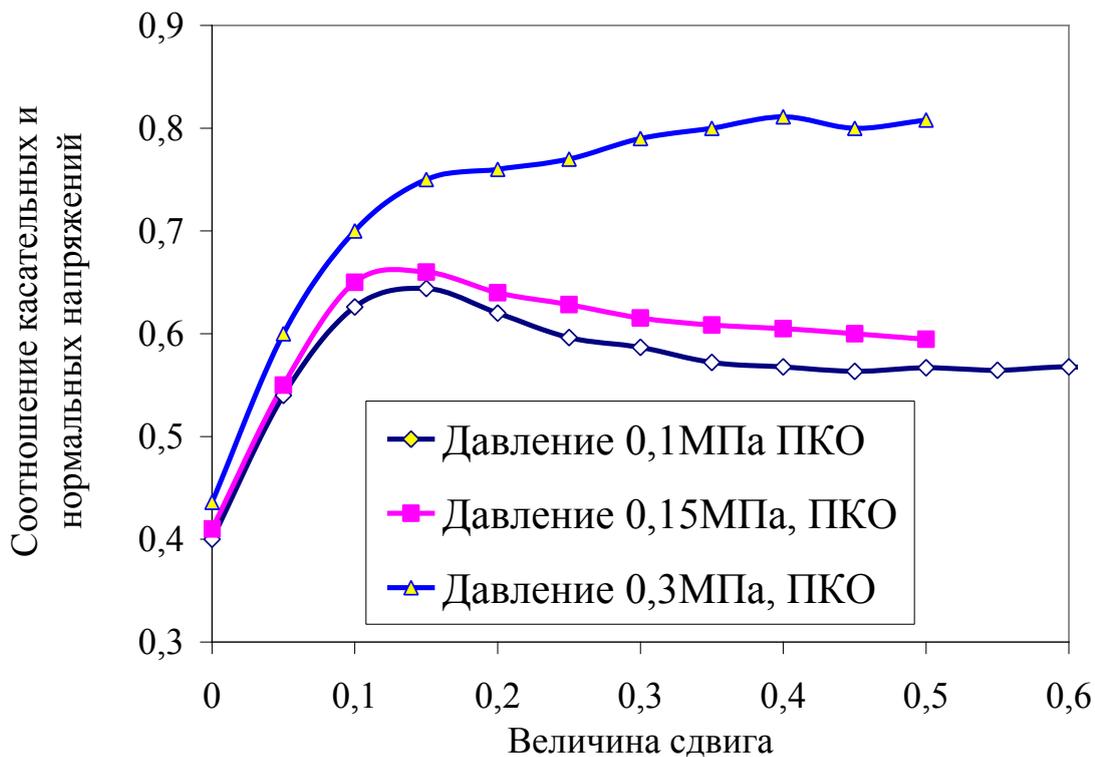


Рис. 3. Характер изменения касательных напряжений при разном уровне нормального давления

При этом осадок формировался при уровне нормального давления, равного 0,2 МПа. Видно, что при уровне нормального давления 0,1 МПа и 0,15 МПа формируется пик сопротивления сдвигу. При этом осадок разуплотняется на величину 7 и 4% соответственно. Однако при сдвиге осадка на фоне нормального давления 0,3 МПа, которое превышает давление формирования осадка, пика касательных напряжений не наблюдается. Наоборот, по мере сдвига осадка наблюдается монотонное затухающее возрастание сопротивления сдвигу. При этом зафиксировано монотонное уменьшение объема осадка, то есть его уплотнение.

Эти испытания свидетельствуют о сложном характере эволюции

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

напряженно-деформированного состояния осадка в поле сдвиговых деформаций.

В связи с этим была проведена серия испытаний осадков на сдвиг с учетом разных факторов, оказывающих влияние на характер деформирования осадка. На рис. 4 приведены типичные кривые испытаний осадка на сдвиг при разной исходной плотности осадка. Оба осадка формировались при нормальном давлении 0,5 МПа. Поскольку испытания осадков на сдвиг производились при нормальном давлении 0,15 МПа, состояние осадков характеризовалось как переконсолидированное. Однако первый образец консолидировался под нагрузкой 0,5 МПа в течение 3 минут, тогда как второй в течение трех суток. В результате конечная плотность образцов была разна и равнялась соответственно 1600 и 1980 кг/м³. Скорость деформаций сдвига принималась равной 0,05 с⁻¹.

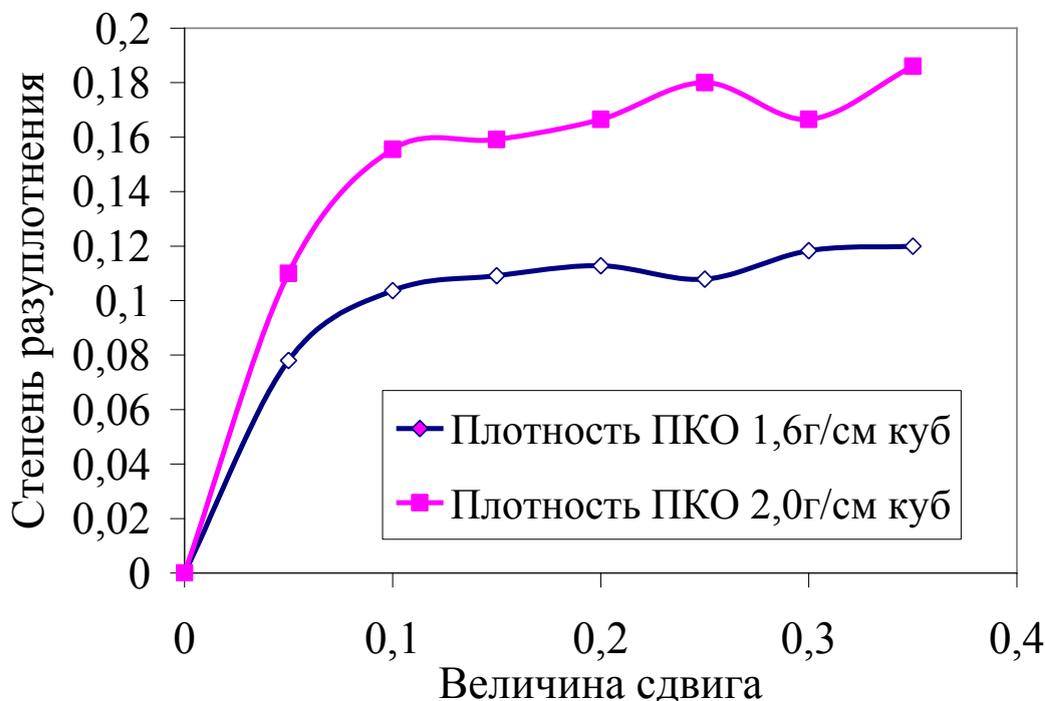


Рис. 4. Характер изменения касательных напряжений при разном уровне нормального давления

Как следует из данных испытаний (рис. 4), первый образец, имеющий общую плотность 1600 кг/м³, разуплотнился в процессе сдвига всего на 12%. В то же время более плотный осадок показал величину разуплотнения более 18%. Таким образом, исходная общая плотность осадка, связанная с его пористостью, также оказывает существенное влияние на величину разуплотнения осадка в

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

поле сдвиговых деформаций даже в том случае, если осадок формировался при одинаковом нормальном давлении.

Существенное влияние на степень разуплотнения оказывает и скорость приложения сдвиговых деформаций. Сводная зависимость величины разуплотнения осадка от скорости приложения сдвиговой деформации имеет вид

($R^2 = 0,963$):

$$U = 0,19 + 0,036 \ln v ,$$

где U – степень разуплотнения осадка, v – скорость сдвига.

Подготовка всех образцов для испытания производилась под нормальным давлением равным 0,5 МПа и одинаковое время. То есть период консолидации всех образцов осадка был одинаков. Соответственно плотность образцов также была примерно одинаковой. В процессе проведения данной серии экспериментов изменялась лишь скорость приложения сдвиговых деформаций. Интерполяционная кривая показывает, что с высокой степенью надежности зависимость величины разуплотнения осадка от скорости деформирования описывается логарифмической кривой. Это означает, что повышение скорости сдвига оказывает затухающий эффект на увеличение степени разуплотнения осадка.

Проведенные экспериментальные исследования позволяют заключить, что для повышения скорости удаления влаги из пор осадков возможно наложение сдвиговых полей [9], о чем уже говорилось ранее. Однако, момент приложения сдвиговых полей должен быть выбран правильно. Необходимо, чтобы осадок находился в определенном – переконсолидированном – состоянии.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на изучение влияния различных параметров консолидации и сдвига на состояние поровой среды осадка и скорость удаления влаги из него.

Список литературы

1. **Е.Е. Гарковенко.** Интенсификация обезвоживания тонких труднофильтруемых осадков // Мат. міжнар. конф. „Форум гірників-2005”. Дніпропетровськ. – 2005. – Т.1. – С. 185–191.
2. **Бирюков Н.С. и др.** Методическое пособие по определению физико-механических свойств грунтов. М.: Недра, 1975. – 178с.
3. **Ломтадзе В.Д.** Физико-механические свойства горных пород. Методы лабораторных исследований. – М.: Недра, 1990. – 328 с.
4. **Каминский В.С.** Центробежное обогащение углей и сланцев. – М.: Недра, 1967. – 276 с.
5. **Безрук В.М., Кострико М.Т.** Геология и грунтоведение. – М.: Недра, 1969. – 264 с.

Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство

6. Гальперин А.М., Зайцев В.С., Норватов Ю.А. Гидрогеология и инженерная геология. – М.: Недра, 1989. – 384 с.
7. Ruse B.C., Sofra F., Boger D.V. Sustainability, environmental rheology and full cost accounting of tailings disposal // Proceeding XXII mineral processing congress.-Cape Town. – 2003. – Vol. 3(1732).
8. Wood K.R., McDonald G.W. Design and operation of thickened tailings disposal system at Les Mines Selbaie. – CIM Bulletin, 1985, #79(895). Pp.47–51.
9. Гарковенко Є.Є., Назимко О.І. Інтенсифікація процесу фільтрування в полі деформацій зсуву // Труди міжнар. науково-пр. конф. „Вітчизняний та міжнародний досвід переробки відходів” Київ. – 2002. – С. 17–19.

© Гарковенко Е.Е., 2006

*Надійшла до редколегії 20.03.2006 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*

УДК 541.183:622.33 + 622.693

А.И. ЕГУРНОВ, канд. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, ЗАО "АНА-ТЕМС"),
С.Д. БОРУК, канд. хим. наук,
А.С. МАКАРОВ, д-р техн. наук,
О.М. СОЧИКАН

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКОНЦЕНТРИРОВАННЫХ ШЛАМОУГОЛЬНЫХ СУСПЕНЗИЙ НА ИХ РЕОЛОГИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ, ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКИЙ СОСТАВ И ЭЛЕКТРОКИНЕТИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЧАСТИЦ ДИСПЕРСНОЙ ФАЗЫ

Сокращение запасов нефти, повышение себестоимости ее добычи приводит к необходимости поиска новых энергоресурсов, запасы которых на Украине имеются в достаточном количестве. Наиболее перспективной альтернативой нефти является уголь. Вместе с тем известно, что уголь является сложным видом сырья с точки зрения переработки, и наиболее экологически вредным видом топлива. Сегодня в значительной степени выработаны мощные и богатые угольные пласты, расположенные на небольших глубинах. Это приводит к необходимости разрабатывать более бедные, с высоким