

**Е.И. НАЗИМКО**, д-р техн. наук,

**В.Г. НАУМЕНКО, Н.А. КУРИЛЕНКО**

(Україна, Донецьк, Донецький національний технічний університет)

## **ИСПЫТАНИЯ И ТАРИРОВАНИЕ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ШЛАМОВ**

*Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.* Из всех процессов технологии углеобогащения наиболее трудоемкими и затратными являются процессы обезвоживания тонких осадков. Обычно удаление влаги осуществляется в две стадии для концентратов – механическими и термическими методами, для отходов применяются только механические методы, к которым относится пресс-фильтрация. По данным работы [1] количество мелких и тонких частиц в рядовом угле постоянно увеличивается. В частности, содержание класса 0-1 мм увеличилось с 20 до 28% за последние годы при одновременном повышении его зольности.

Сушка является одним из дорогостоящих и экологически небезопасных процессов в технологии обогащения. Снижение влажности питания сушки на 1-2% позволит экономить топливо, затрачиваемое на термическое обезвоживание. Работы многих исследователей посвящены изучению и совершенствованию процессов фильтрации. Установлено [3-8], что структура осадков, особенно такая ее характеристика как проницаемость, оказывает значительное влияние на скорость обезвоживания. При исследовании поведения осадков и их пористой среды в различных условиях необходимо найти подходы к определению физико-механических свойств осадков, т.к. их формирование происходит на фоне многих физических процессов [5], основными из которых являются механические, гидродинамические и фильтрационные. При формировании осадков на рабочем органе фильтрующего оборудования важную роль играют именно механические процессы деформирования твердой фазы на фоне фильтрации жидкости. Эти процессы включают сжатие осадка нормальными усилиями, усадку твердой фазы под действием постоянной нагрузки, сдвиг скелета твердой фазы под действием касательных напряжений.

Определены зависимости скорости фильтрации от свойств поровой структуры осадка, которые являются основой современной теории фильтрации [3-6]. Однако, существует целый ряд проблем, связанных со свойствами этой сложной структуры, от которых зависят конечные результаты и скорость обезвоживания.

Отсюда вытекает актуальность исследований, направленных на поиск эффективных методов воздействия на осадок для повышения скорости удаления влаги.

*Анализ исследований и публикаций.* 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

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

фаза выдавлюється із пор і ловушок в режимі фільтрації. Другою – режим чистого сдвигу, коли можливі три проявлення об'ємної деформації: стиснення в разі сдвигу в недоконсолідованій осадці, розуплотнення в разі переконсолідованого осадку і сдвиг без зміни об'єму в пограничному разі. Третій режим змішаний, коли можливий сдвиг зі стисненням. Перераховані режими характерні не тільки для ленточних прес- і вакуум-фільтрів, але і для осадительних центрифуг.

Любіє режими або подрежими зі сдвигом позитивно впливають на процес фільтрації, оскільки вони руйнують тупикові пори і активно перестраюють структуру осадку, сприяючи збільшенню швидкості видалення рідкої фази. [10].

Із механіки ґрунтів відомо, що випробування на сдвиг проводяться після попереднього ущільнення (консолідації) зразка [11]. Крім того, сам режим консолидації осадку представляє інтерес з практичної точки зору, оскільки такі режими повсюдно зустрічаються в багатьох апаратах, застосовуваних в технології збагачення і обезводження. В зв'язі з цим необхідно випробувати осадки збагачення в цих режимах.

*Постановка задачі.* Метою даної статті є тарифування установки для дослідження параметрів фільтрації рідини через порове простір напружено-деформованого осадку, що дозволить виявити напрямки удосконалення процесу.

*Изложение материала и результаты.* Для проведення досліджень механічних властивостей зразків осадків і зміни їх порового простору на кафедрі "Збагачення корисних копалин" ДонНТУ розроблена експериментальна установка, основою якої є випробувальна клітинка (рис. 1). Установка представляє собою повністю металеву конструкцію, що складається з основи, рами і кришки. На верхній кришці розташований конусоподібний підвід для рідини, на нижній закріплений відвід аналогічної форми. По торцях кожної з сторін вкручені болти. Установка опирається на чотири ножки (рис. 1, а). Випробувальна клітинка в розрізі представлена на рисунку 1, б. На основі 1 розташована збиральна рама 3, яка складається з шести окремих елементів. В рамі укладені поршни 5 прямокутної форми в сеченні. З'єднання поршня №2 з поршнем №1 (номери поршней вказані на їх поверхні курсивом на рис. 1, б) виконано в формі ласточкиного хвоста. Торцеві стінки поршней утворюють прямокутне простір, в яке поміщається досліджуваний зразок осадку 4. В кришці 2 і основі установки на площі 50×50 мм зроблені невеликі отвори. В цих місцях з метою рівномірної подачі і відводу води до кришки і основи прикручені труби 7 і 8. Кожен з поршней торкається до фіксуючого болта 6.

В клітинці використовують попередньо підготовлений зразок шламу, поміщений в мішечок з фільтрувальної тканини, після чого, надійно забезпечив герметичність, подають воду. По часі протікання певної кількості рідини через порове простір осадку визначається швидкість фільтрації.

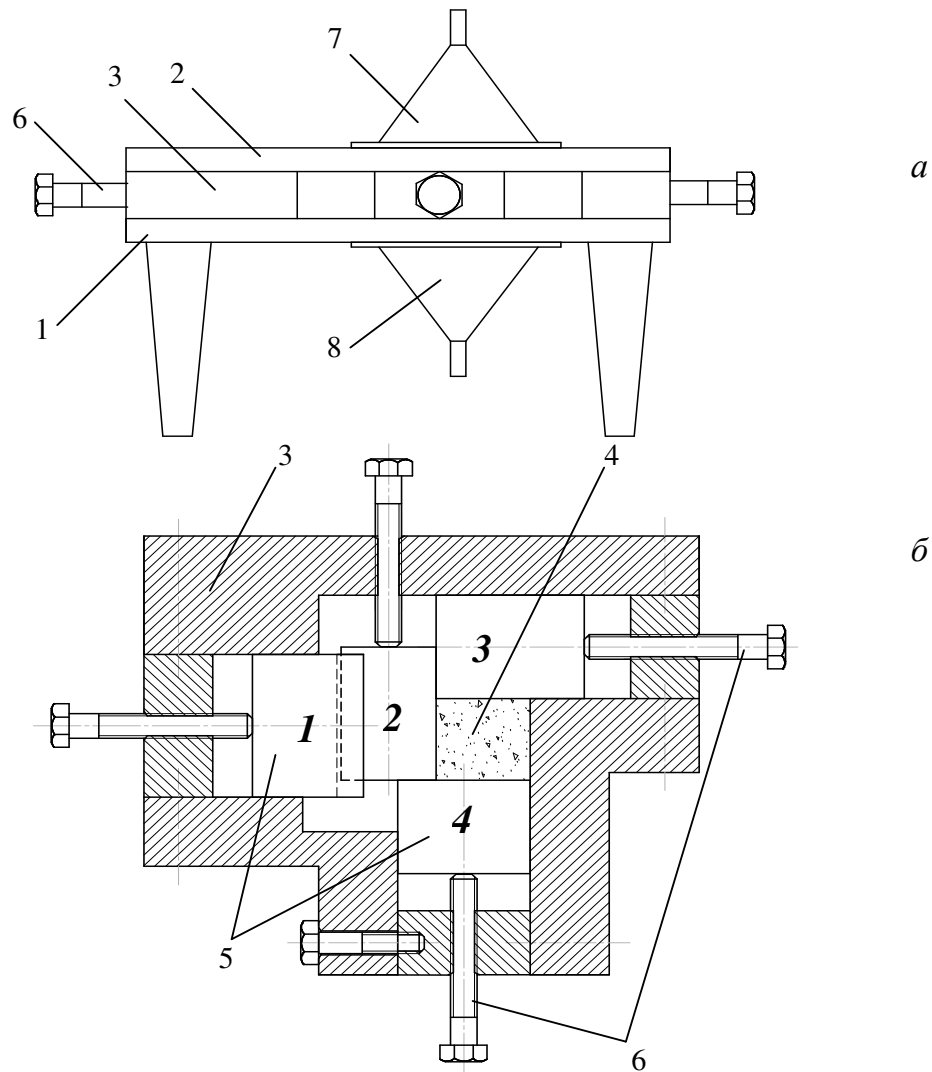


Рис. 1. Испытательная установка:  
*а* – общий вид; *б* – вид ячейки сверху в разрезе

Передача внешней нагрузки к образцу осуществляется путем закручивания прижимных болтов соответствующих поршней. Данные болты закручиваются при помощи динамометрического ключа с фиксированным значением момента затяжки. Момент затяжки на протяжении опыта изменяется с небольшим шагом и варьируется в пределах от 0,05 кг·м до 0,8 кг·м.

В ячейке использован принцип испытания прочности материала на двухосное сжатие – образец подвергается воздействию нормальных деформаций в двух плоскостях, перпендикулярно направленных друг относительно друга. За величину нормальной нагрузки по оси абсцисс отвечает прижимной болт поршня 1, по оси ординат – прижимной болт поршня 4. Величина давления, оказываемого поршнями на образец, рассчитывается через момент затяжки соответствующего прижимного болта.

Полный момент затяжки равен сумме момента, затрачиваемого на создание силы сжимающей (растягивающей) болт  $M$ , момента на преодоление тре-

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

ния между поршнем и торцом болта  $M'$ , момента на преодоление трения в резьбе  $M''$  и может быть определен как [12]:

$$M_{зам} = M + M' + M'', \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (1)$$

Момент, затрачиваемый на создание силы, сжимающей болт, равен:

$$M = 0,5 F s / \pi, \quad (2)$$

где  $F$  – сила, направленная на сжатие болта, Н;  $s$  – шаг резьбы болта, мм.

Поскольку динамометрический ключ не фиксирует усилия при свободном раскручивании и закручивании болта и в какой-то степени компенсирует все моменты на преодоление сил трения, то можно считать, что:

$$M_{зам} = M = 0,5 F s / \pi. \quad (3)$$

Откуда

$$F = 2 M_{зам} \pi / s, \text{ Н}. \quad (4)$$

Давление стенки поршня площадью  $S$  на осадок, будет равно:

$$P = F / S, \text{ Н/м}^2, \quad (5)$$

где  $S$  – площадь поршня, м<sup>2</sup>.

При расчете площади необходимо учесть, что по мере закручивания прижимных болтов соседние поршни перемещаются и площадь их контакта с образцом материала уменьшается примерно от 803 до 750 мм<sup>2</sup>. Таким образом, по результатам полученных давлений можно оценивать величину максимальных или критических деформаций, определять степень консолидированности или переконсолидированности осадка.

Тарирование установки выполнено с помощью динамометрического ключа, которым закручивались прижимные болты 1 и 4. При этом момент затяжки болта не должен превышать 0,1 кгс·м. В ходе эксперимента фиксируется время, за которое протекает и вытекает из пор осадка определенный объем воды, а также расстояния от головки прижимного болта до корпуса установки  $l_1$  и  $l_4$  (рис. 2).

По результатам изменения длин болтов поршней №1 и №4, выступающих за пределы корпуса, определено давление на образец. После подстановки выражения (4) в соотношение (5) и с учетом того, что 1 кгс·м = 9,81 Н·м, получено:

$$P = 2 M_{зам} \pi / s S, \text{ Н/м}^2 \text{ (Па)}.$$

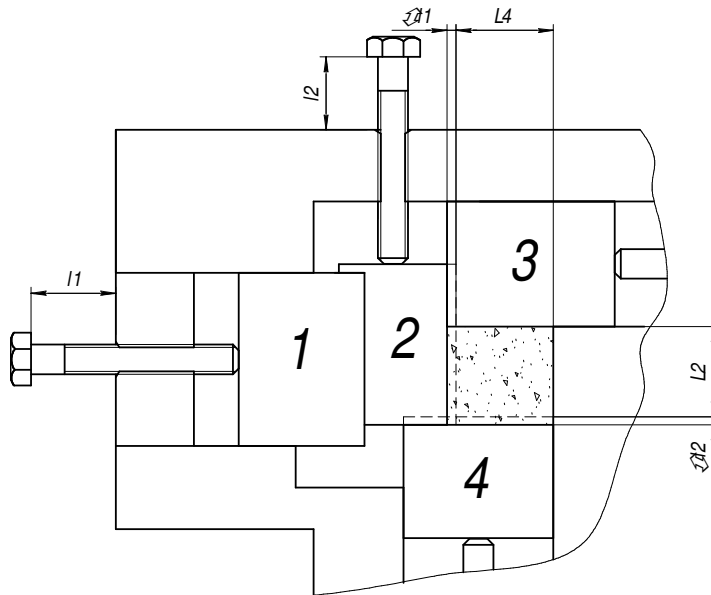


Рис. 2. Схема для пояснення измерений положения болтов

Скорость фильтрации определялась непосредственно по результатам измерений времени, за которое отфильтрован через слой осадка постоянный объем воды. Результаты расчетов показаны на рис. 3.

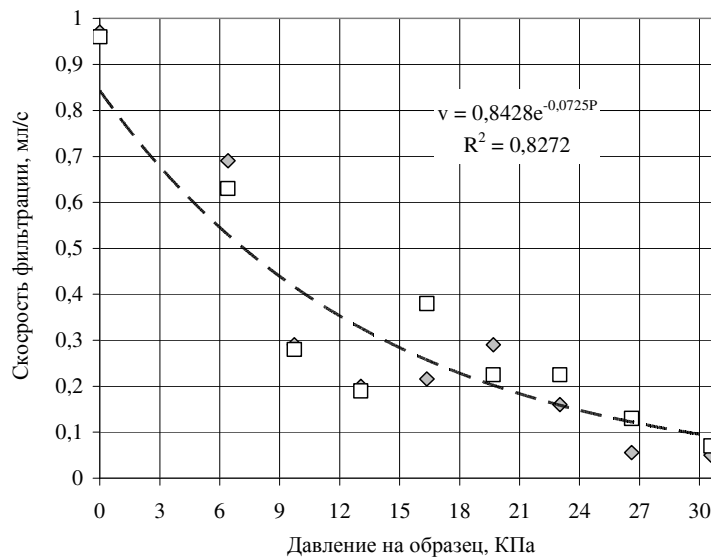


Рис. 3. Зависимость скорости фильтрации жидкости от давления, приложенного к осадку

Анализ данных позволили установить экспоненциальную зависимость скорости фильтрации от давления, приложенного к образцу осадка (при достоверности аппроксимации  $R^2 = 0,83$ ):

$$v = 0,84 e^{-0,0725P}.$$

## **Зневоднення та сушіння. Водно-шламове господарство**

*Выводы и направления дальнейших исследований.* Таким образом, проведенные испытания и тарирование установки для исследования параметров фильтрации жидкости через поровое пространство напряженно-деформированного осадка позволили определить экспоненциальную зависимость скорости фильтрации от приложенного давления.

Направление дальнейших исследований может быть связано с определением влияния гранулометрического и вещественного состава осадка на скорость удаления жидкости.

### **Список литературы**

1. **Полулях А.Д.** Особенности современных технологий углеобогащения // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2003. – Вып. 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: Наук.-техн. зб.– 2005. – Вып. 23(64) – С. 21-26.
3. **Бейлин М.И.** Теоретические основы процессов обезвоживания углей. – М.: Недра, 1969. – 240 с.
4. **Майдуков Г.Л.** Технология фильтрования продуктов обогащения углей. – М.: Недра, 1975. – 142 с.
5. **Пейчев И.Д.** Исследование теоретических закономерностей течения жидкости через пористую среду // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2004. – Вып. 20 (61). – С. 99-104.
6. **Назимко Е.И., Гарковенко Е.Е.** Микроструктура кека флотоконцентрата и ее роль в процессах обезвоживания // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2000. – Вып. 9 (50). – С. 93-98.
7. **Гарковенко Е.Е.** Моделирование процесса вакуумного фильтрования угольных шламов // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 2004. – №1. – С. 317-319.
8. **Гарковенко Е.Е.** Исследование поведения осадков при наложении сдвиговых полей // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2006. – вып. 25(66)-26(67). – С. 160-166.
9. **Науменко В.Г.** Методика исследования и экспериментальная установка для определения параметров тонкодисперсных осадков // Наукові праці Донецького національного технічного університету: Серія гірничо-електромеханічна. –2008. – Вып. 15(131). – С. 127-133.
10. **Nazimko L.I., Corchevsky A.N., Druts I.N.** Kinetics of Phases Interaction during Mineral Processing Simulation // Proceedings of XV International Congress of Coal Preparation. China. – 2006. – P. 775-781.
11. **Цытович Н.А.** Механика грунтов. – М.: Высшая школа, 1979. – 272 с.
12. **Орлов П.И.** Основы конструирования: Спр-метод. пособие в 2-х кн / Под ред. **П.Н. Учаева.** – М: Машиностроение, 1988. – Кн. 2. – 544 с.

© Назимко Е.И., Науменко В.Г., Куриленко Н.А., 2010

*Надійшла до редколегії 30.03.2010 р.  
Рекомендовано до публікації д.т.н. О.Д. Полуляхом*