

УДК 622.794

ИССЛЕДОВАНИЯ СЖИМАЕМОСТИ УГЛЕСОДЕРЖАЩИХ  
ПРОДУКТОВ ОБОГАЩЕНИЯ ПРИ МЕХАНИЧЕСКОМ  
ВОЗДЕЙСТВИИ

В.А. Кузнецов, В.Г. Науменко, В.Г. Самойлик  
ГОУ ВПО «ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ  
УНИВЕРСИТЕТ», г. Донецк

**Аннотация:** Работа посвящена исследованию влиянию на изменение поровой структуры осадков различных режимов компрессионного сжатия. Установлена связь коэффициента сжимаемости осадка от приложенного давления, вещественного состава и крупности продуктов углеобогащения.

**Annotation:** The work is devoted to the study of the effect on the change in the pore structure of sediments of various modes of compression compression. A relationship has been established between the sediment compressibility coefficient and applied pressure, material composition, and coarse products of coal concentration.

**Ключевые слова:** пористость, осадок, компрессионное сжатие, относительная деформация, структурная прочность, консолидационная кривая, продукты углеобогащения

**Keywords:** porosity, sediment, compression compression, relative deformation, structural strength, consolidation curve, coal preparation products.

**Проблема и её связь с научными и практическими задачами.** Влажность продуктов обогащения является одним из основных параметров, определяющих их качественные и технологические характеристики. Повышение влажности угольного концентрата снижает его стоимость, ухудшает условия транспортирования, особенно в зимнее время. Большое содержание влаги в обезвоженных отходах флотации или зольном шламе обогатительных фабрик отрицательно сказывается на гидротехнических параметрах породных отвалов.

Проблеме снижения влажности продуктов обогащения уделяют большое внимание в разных странах мира. Разработаны различные теории процессов обезвоживания, определены параметры определяющие эффективность этого процесса [1, 2]. Однако, различный подход к вопросу интенсификации процесса обезвоживания и множество факторов, влияющих на этот процесс,

затрудняют поиск наиболее оптимальных решений по снижению влажности пористых осадков.

Процесс истечения влаги из поровой среды осадка можно условно разделить на несколько более простых подпроцессов, которые будут отличаться между собой по физическим принципам, лежащим в их основе. Главными из этих подпроцессов являются механические, гидродинамические и фильтрационные. В фазе, в которой происходит формирование осадка и его поровой структуры, важную роль играют механические деформации твёрдой фазы на фоне прохождения жидкости через пористое пространство. Эти механические процессы включают сжатие осадка механическими усилиями, перпендикулярными к поверхности осадка (нормальными), называемое в механике грунтов компрессией. Следующей фазой является усадка твёрдого скелета осадка под действием постоянно приложенной к нему нагрузки – консолидация. После этого может происходить сдвиг скелета твёрдой фазы осадка под действием приложенных касательных напряжений. Результатом этих процессов является перестройка порового пространства осадка, что влечёт за собой изменение скорости удаления влаги в сторону увеличения или снижения. Отсюда вытекает актуальность исследований, направленных на поиск эффективных и относительно недорогих методов воздействия на осадок для повышения скорости фильтрации влаги из него.

**Постановка задачи.** При формировании осадка и удаления влаги из него возможны несколько основных режимов его деформирования. Первым является режим компрессионного сжатия. При этом в осадке обычно увеличиваются только нормальные деформации сжатия. В результате прохождения такого процесса жидкая фаза выдавливается из пор и замкнутых (тупиковых) ловушек в режиме фильтрации. Второй режим – режим чистого сдвига, при котором возможно несколько проявлений объёмной деформации в осадке. В смешанном состоянии осадка сдвиг может происходить без изменения объёма. Кроме перечисленных вариантов режимов возникают состояния осадка, при которых проявляется смешанный режим (третий), когда возможен сдвиг со сжатием. Все перечисленные выше режимы характерны для осадительных центрифуг, а также ленточных или камерных фильтр-прессов, вакуум-фильтров.

Рядом исследований было установлено, что любые подрежимы или режимы обезвоживания со сдвигом положительно влияют на процесс удаления влаги при фильтрации, т.к. при этом происходит переформирование поровой структуры осадка, разрушение тупиковых

пор, что способствует повышению скорости удаления жидкой фазы. [1–3].

В связи с этим, **целью** настоящей работы является определение влияния на изменение поровой структуры осадков различных режимов компрессионного сжатия.

**Объект исследования** – консолидированные осадки продуктов углеобогащения.

**Предмет исследования** – закономерности изменения физико-механических свойств осадков под действием приложенного давления.

**Задачи исследования:**

- построение кривых консолидации для осадков различной структуры;
- исследование характера деформаций исследуемых осадков при заданном нагружении с течением времени;
- определение физико-механических свойств осадков при различных значениях нагружения.

**Методика исследования.** Для определения изменения пористости под действием приложенного давления проведены компрессионные испытания осадков. При выполнении измерений нагружение осадка производилось не сразу, а ступенчато. В каждой ступени обеспечивалось увеличение нагрузки примерно в два раза по сравнению с предыдущим нагружением. В каждой ступени осадок выдерживался под нагрузкой до момента стабилизации деформаций. После этого степень усадки осадка определялась как отношение усадки на данной ступени испытаний к конечной усадке.

Относительные деформации  $e$  вычислялась по формуле:

$$e = \frac{\Delta h}{h_0}, \quad (1)$$

где  $\Delta h$  – изменение высоты осадка под действием пригружения;  
 $h_0$  – первоначальная высота осадка.

По результатам исследований строились кривые компрессионных испытаний и определялись физико-механические свойства осадков. В общем виде кривые компрессионных испытаний имеют вид, приведённый на рис. 1 [3].

**Изложение материала и результаты.** По результатам исследований установлено, что для осадков углеобогащения (отходы флотации) имеется определённое значение нагрузки  $q$ , при котором деформация осадка имеет небольшое значение. В механике грунтов считается, что в таком случае деформации могут быть упруго-вязкими

или упругими, т.е. исчезать при снятии нагружения. В случае, когда деформации относятся к упруго-вязким, скорость изменения относительной деформации незначительная и практически не зависит от высоты осадка и условий протекания жидкости. Аналогичные процессы происходят в осадках при обезвоживании на ленточных фильтрах, при формировании осадков в фильтр-прессах в начальной стадии процесса и др. Указанная выше нагрузка  $q$  носит название структурной прочности осадка и обозначается как  $q_{стр}$ .

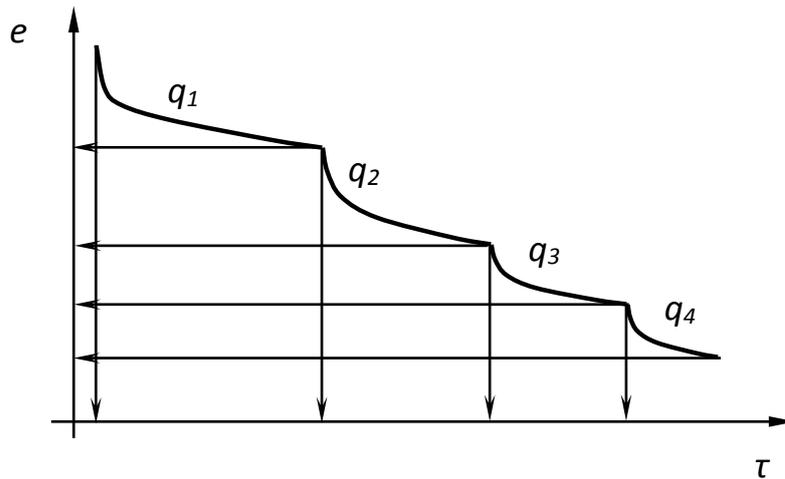


Рис. 1. Кривые компрессионных испытаний для осадков углеобогащения

В случаях, когда приложенная к осадку нагрузка имеет значение, превосходящее величину  $q_{стр}$ , деформации в осадке происходят более интенсивно. Но, тем не менее, процесс переформирования осадка может быть длительным. Часто его завершение не удаётся определить при выполнении одного эксперимента. На практике такие режимы имеют место в осадительных центрифугах и на конечной стадии обезвоживания в фильтр-прессах.

Время достижения осадком определённой заданной относительной деформации находят по известным из механики грунтов соотношениям [3]. На базе этих определений были получены значения структурной прочности осадка, для чего были использованы стандартные компрессионные кривые.

В каждой ступени нагружения определялась конечная деформация осадка. Конечной считалась деформация, на превышающая 0,02 мм/сут. Обработка результатов компрессионных испытаний выполнялась в два этапа. На первом этапе снимали показания часовых индикаторов деформаций, определяли общую деформацию образца, затем относительную и строили кривые

зависимости относительных деформаций на каждом этапе нагружения от времени опыта (рис. 2).

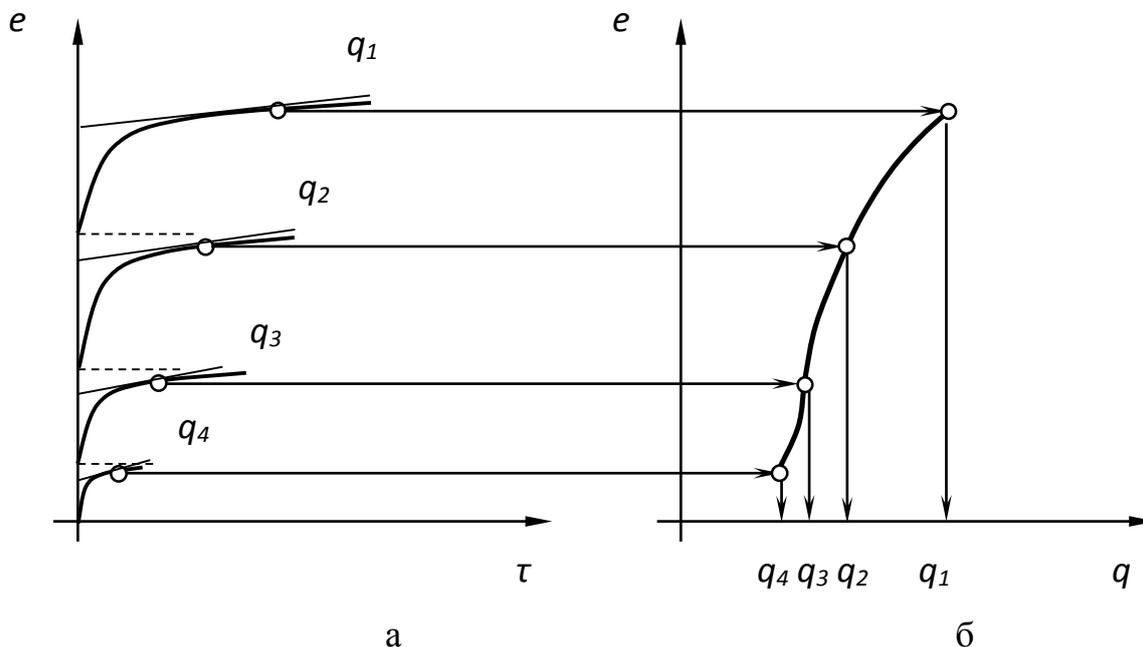


Рис. 2. Порядок построения консолидационной кривой:  
 а – начальные данные, б – консолидационная кривая

В связи с тем, что такие испытания требуют значительного времени, по оси абсцисс была использована логарифмическая шкала, и построенная консолидационная кривая имела вид, представленный на рис. 3.

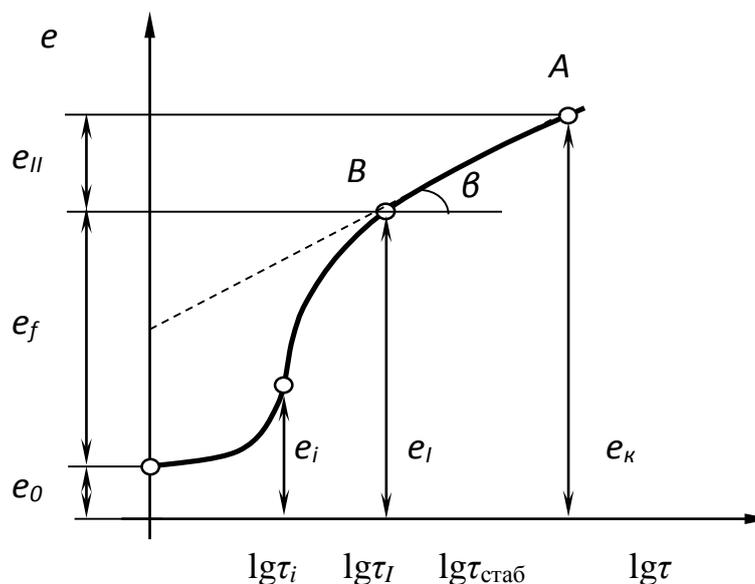


Рис. 3. Консолидационная кривая с логарифмической шкалой по оси абсцисс

На рис. 3 введены следующие обозначения:

$\tau_i$  – текущее значение времени, которому соответствует относительная деформация образца  $e_i$ ;

$\tau_I$  – консолидационный параметр, соответствующий времени завершения первичной усадки образца и достижению первичной относительной усадка  $e_I$ ;

$e_{II}$  – вторичная относительная усадка образца;

$e_k$  – конечная относительная деформация образца, которой соответствует время стабилизации  $\tau_{\text{стаб}}$ ;

$AB$  – участок кривой, близкий по форме к прямолинейному, соответствующий вторичной усадке образца;

точка  $B$  – точка, соответствующая окончанию прямолинейного участка консолидационной кривой, в которой проводят касательную;

$\beta$  – угол наклона касательной в точке  $B$ , тангенс которого равен значению консолидационного параметра  $m_q$ , зависящего от величины прикладываемой к образцу нагрузки.

Значение времени  $\tau_I$  зависит от вида осадка, его начального состояния, нагрузки на осадок, пути дренирования воды в порах осадка и др.

Кривая консолидации показывает, как происходят деформации  $e$  исследуемого образца при заданном пригрузении с течением времени. Консолидационные кривые дают информацию для определения физико-механических и гидравлических характеристик исследуемых образцов осадков.

По данным консолидационных испытаний была построена серия графиков в координатах « $e_I/e_k - q$ », « $\tau_I - q$ », « $e_I - q$ », « $m_q - q$ », « $e_i/e_I - (\lg \tau_i - \lg \tau_I)$ ». Из этих графиков были определены консолидационные параметры: относительная усадка образцов  $e_I$  и соответствующий ей момент времени  $\tau_I$ ; параметр  $m_q$  и соответствующие ему значения величин пригружения осадков.

Выполненные таким образом исследования физико-механических свойств осадков позволили определить такие параметры как структурная прочность осадка при компрессионном сжатии  $q_{\text{стр}}$ , коэффициент уплотнения осадка  $a$ , стандартный модуль усадки  $e_q^c$  и модуль стандартной компрессии  $E_c$ , модуль усадки и другие параметры.

*Выводы и направление дальнейших исследований.*

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

1. Коэффициент сжимаемости осадков в существенной степени зависит от приложенного давления. В зависимости от вещественного состава и крупности продуктов этот параметр изменяется в несколько раз.

2. Время консолидации так же значительно изменяется в зависимости от того, какая стадия нагружения выполняется. При этом период консолидации образцов разного вещественного состава существенно различается. Для глинистых осадков, представленных отходами флотации, время консолидации имеет максимальные значения. Зернистые осадки (сгущённые продукты гидроциклонов) консолидируются быстрее на порядок. Концентраты флотации, содержащие низкозольные угольные частицы с гидрофобной поверхностью, имеют минимальное время консолидации

3. Большая длительность консолидации глинистых осадков свидетельствует о том, что многие сгустители, применяемые для обработки этого продукта, работают в режиме неполной консолидации осадка.

### **Перечень ссылок**

1. Науменко В.Г. Методика исследования и экспериментальная установка для определения параметров тонкодисперсных осадков // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Вип. 15(131), серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 127-133.

2. Обезвоживание продуктов обогащения полезных ископаемых : учеб. пособие для обучающихся образоват. учреждений высш. проф. образования / В. Г. Науменко, В. Г. Самойлик, Н. А. Звягинцева, Е. И. Назимко ; ГОУВПО «ДОННТУ». – Донецк : ДОННТУ, 2019. – 183 с.

<http://ed.donntu.org/books/19/cd9008.pdf>

3. Математическое моделирование процессов обезвоживания обогащенного минерального сырья : монография / В. Н. Павлыш [и др.]. - Донецк : ВИК, 2014. - 286с <http://ed.donntu.org/books/cd1933.pdf>