

Л.И. Серафимова, В.Г. Науменко

# ОСОБЕННОСТИ ОБЕЗВОЖИВАНИЯ ТОНКОДИСПЕРСНЫХ ФЛОТАЦИОННЫХ УГОЛЬНЫХ КОНЦЕНТРАТОВ

Современное состояние техники добычи углей привело к тому, что в рядовом угле, поступающем на обогащение, содержится около трети частиц шламовой крупности, как правило, с зольностью 25—30% [37]. Следовательно, предприятия сталкиваются с необходимостью использовать несколько стадий обезвоживания для доведения шламовых продуктов до необходимой влажности. Наиболее дешевым и широко применяемым методом является механическое обезвоживание. Для этих целей используется большое разнообразие оборудования с различными принципами действия, среди которых преобладает фильтрование.

Ключевые слова: зольность, флотация, тонкодисперсные, концентраты, шлам, число Рейнольдса, кек, флокуляция, порозность, фюзен, фильтруемость, флотоконцентрат.

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-131-141

Анализ исследований последних лет, приведенный показал, что тонкодисперсные осадки активно взаимодействуют с водой, удерживают значительные ее количества благодаря высокоразвитой поверхности частиц и действующим капиллярным и электростатическим силам. В связи с тем, что крупность частиц небольшая, осадки имеют высокое сопротивление протеканию воды в поровом пространстве.

В процессе фильтрования в поровом пространстве осадка происходит взаимодействие всех трех фаз [44]. В результате многочисленных зарубежных и отечественных исследований установлены фундаментальные закономерности этих сложных взаимодействий [41]. Все усилия направлены на повышение скорости выведения влаги из пористой среды осадка, чему часто препятствуют микропузырьки воздуха, адсорбированные на

поверхности частиц, что приводит к закупорке тонких пор.

В разветвленной сети пор в осадке протекают довольно сложные процессы, что вызывает необходимость исследования свойств осадков на микроуровне. Это позволит определить пути повышения эффективности процесса фильтрования.

С увеличением содержания тонких и глинистых фракций в добываемом угле определяющее значение приобретает обогащение и обезвоживание мелких и тонких классов угля. Одним из наиболее широко распространенных и применяемых процессов для обезвоживания шламов и флотационных концентратов является вакуумное фильтрование. Совершенствование технологии обезвоживания, снижающее влажность кеков вакуум — фильтров на 1,5—2%, позволит экономить топливо, расходуемое на су-

### Гранулометрический состав флотационных концентратов и шлама

Классы крупности, мм	Выход, %		
	Киевская ЦОФ	Свято-Варваринская ЦОФ	Моспинское УПП
0,50–1,0	5,4	3,7	47,4
0,25–0,50	23,7	18,5	10,3
0,125–0,25	21,4	22,6	14,7
0,063–0,125	18,9	20,8	12,4
0–0,063	30,6	34,4	15,2
Итого	100,0	100,0	100,0

шильных установках. Скорость удаления влаги зависит от приложенного перепада давлений и сопротивления осадка и определяется не только капиллярными явлениями, но и микроструктурой порового пространства.

По данным работ [43, 44, 45] можно сделать вывод о том, что распределение частиц по крупности во многих угольных шламах Донбасса не имеет значительных отличий, особенно для углей одой и той же марки. Как правило, количество материала с крупностью более 0,5 мм незначительно. Примерно половина зерен представлена частицами с размером менее 0,2 мм, из которых около 40% имеют крупность менее 200 мкм. Для исследования фильтрационной способности флотационных угольных шламов были приняты концентраты ЦОФ Киевская и Свято-Варваринская, которые обогащают угли для коксования, а также шлам марки Г ООО «Моспинское УПП» (сгущенный продукт ГЦ-1000). В таблице показан гранулометрический состав этих продуктов.

Зольность флотационных концентратов находится в пределах 10–14%, зольность шлама составляет 40–44%.

Значительная часть вопросов теории и практики исследована и получила дальнейшее развитие в работах отечественных и зарубежных авторов. Этими исследованиями установлены основные закономерности процессов, протекающих

при прохождении фильтра и личных условиях, на их основе разработаны многочисленные оригинальные конструкции фильтров и технологические параметры фильтрования. Кроме того, они позволили заложить теоретические основы и новые перспективные направления в обезвоживании угольных шламов.

Однако увеличение содержания тонких классов в шламовых водах углеобогащательных фабриках и в питании флотации ставит перед исследователями новые теоретические и практические вопросы. Такие шламы отличаются неравномерностью гранулометрического состава, требует применения при фильтровании специальных приемов, другого соотношения между циклами фильтрования и просушки, рационального формирования осадка.

В работах [1–3] рассматриваются основные гидродинамические и физико-химические подходы к проблемам, возникающим при механическом обезвоживании угольной мелочи, подробно описаны виды влаги, присутствующей в угольных флотационных концентратах, и их влияние на показатели обезвоживания. Много внимания уделяется исследователями гидродинамическим основам процесса фильтрования, приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований по проверке линейного закона фильтрации на угольных пористых средах. В этом слу-

чае линейный закон фильтрации имеет вид [1]:

$$w = d^2 m^3 \cdot P / 144 \mu (1 - m)^2 h \quad (1)$$

Здесь  $w$  — скорость фильтрации;  $d$  — размер частиц;  $m$  — пористость;  $\Delta P$  — перепад давления;  $\mu$  — вязкость жидкости;  $h$  — высота пористого слоя.

Фильтрование с отклонением от линейного закона фильтрации, которое происходит при режиме со значениями числа Рейнольдса более критического, особенно заметно при фильтрации только в крупнозернистых пористых средах, например при крупности угольных зерен более 1 мм. Из опытного исследования сопротивлений пористой угольной среды следует, что в диапазоне значений числа Рейнольдса  $Re = 0,016$ — $5,7$  полностью сохраняется линейный закон фильтрации. Капиллярные явления в пористых средах придают особые свойства воде, находящейся в условиях равновесия в четочных капиллярах, а также капиллярно-стыковой воде при неполном смачивании частиц пористой среды [4].

При фильтровании тонкодисперсных материалов важное значение имеют структурные характеристики пористых угольных сред [1, 5]. При рассмотрении данного вопроса авторы уделяют значительное внимание таким характеристикам среды как пористость, удельная поверхность, гидравлический радиус, эффективный диаметр. Таким образом, исследование ведется на макроуровне. Эти параметры довольно полно характеризуют макроскопические свойства угольных пористых сред, однако этого недостаточно для полного анализа процессов, происходящих при фильтровании и просушке флотационных концентратов, особенно при высоком содержании в них тонких классов. Практически не уделяется внимания перемещению границы раздела фаз «жидкость-газ» в сложной развитой системе капилляров

в микротрещин в пористой угольной среде. Не рассматривается вопрос изменения проницаемости осадков угольных флотоконцентратов при формировании их на пористых перегородках фильтров. Несмотря на значительный объем экспериментальных и теоретических исследований указанные работы не содержат сведений о влиянии микроструктуры кека на результаты фильтрования. Следует отметить, что при значительном содержании тонких классов в углях именно микроструктура кека оказывает определяющее влияние на результаты обезвоживания, т.к. при уменьшении радиусов капилляров значительно возрастают капиллярные силы, удерживающие капиллярно-стыковую влагу в каналах.

Структура порового пространства осадка, которая и определяет его проницаемость, в первую очередь зависит от физических параметров осадка (форма и размер частиц, пористость и удельная поверхность осадка). Ко второй группе параметров, приобретающих особое значение при высоком содержании тонких классов или при использовании поверхностно-активных веществ [6–8] и флокулянтов, следует отнести такие физико-химические параметры как флокуляция суспензии [9], поверхностные явления на границе раздела твердой и жидкой фаз [10–12] и др.

Процесс фильтрования шламов, который можно рассматривать как течение воды через поровое пространство, складывается из целого ряда явлений, многие из которых исследованы в работах [13]. Факторы, влияющие на скорость фильтрования, могут быть разделены на две подгруппы. К одной из них относятся физические свойства осадка, ко второй — приложенный градиент давления и вязкость протекающей воды [14–16]. Однако, наибольшее влияние на влажность флотационного концентрата после фильтрования оказывает структура

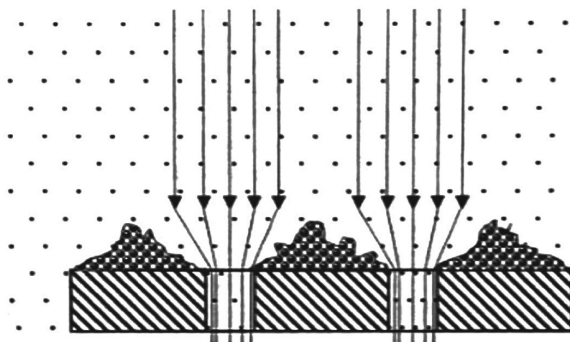


Схема образования осадка на фильтрующей поверхности

осадка, образовавшегося при этом. Физические свойства осадка выражаются через его проницаемость [17]. Это еще раз свидетельствует о влажности дальнейшего изучения структуры на микроуровне.

Исследователи [18] ввели понятия удельного сопротивления осадка, которые обратно пропорционально проницаемости и является определяющей величиной, полностью характеризующей свойства поровой среды.

При исследовании фильтрования [1, 19] допускается, что течение жидкости происходит через пустоты внутри осадка, образующиеся при контакте частиц друг с другом. Но это возможно только в том случае, когда хотя бы часть каналов (пор) сообщается друг с другом и образует в осадке систему капилляров. Для установления и прогнозирования показателей процесса фильтрования необходимо определить характеристики этих капилляров. На практике это не представляется возможным, т.к. поровое пространство внутри осадков имеет довольно сложные очертания и строение и зависит от многих случайных факторов.

Для условий фильтрования угольных суспензий установлены закономерности формирования осадка [20–21]. В начальный момент пульпа проходит через сетку. Непосредственно у поверхности фильтрующей сетки на участках между

порами образуются застойные зоны. Здесь создаются условия, благоприятные для оседания твердых частиц на поверхности сетки. Частицы, накопившиеся в этих зонах, перемещаются ко входам поры фильтрующей сетки под действием струй жидкости (рисунок) [18].

Это способствует возникновению сводов над порами. При этом частично происходит классификация частиц по крупности за счет того, что крупные частицы образуют своды. Такой процесс вызывает в свою очередь образования начального задерживающего слоя, имеющего невысокое удельное сопротивление. После образования этого слоя фильтрование происходит с образованием осадка, удельное сопротивление которого резко возрастает.

Преобладающую роль играют процессы, связанные с влиянием гранулометрического состава частиц — перегруппировки частиц по крупности, заполнение пор осадка более мелкими частицами и др. Именно эти процессы определяют в конечном итоге структуру осадка. В работе [29] рассматривается процесс фильтрования угольных шламов различного гранулометрического состава. При исследовании структурных характеристик кека использован прибор оригинальной конструкции с наложением вибраций.

Автором предлагается использовать для характеристики пористой среды гра-

нулометрический параметр  $P$  и определять зависимость порозности зернистой среды угольного флотационного концентрата от его гранулометрического состава расчетным путем. Кроме того, предлагается определять гранулометрический параметр как соотношения средневзвешенных диаметров частиц скелета смеси (более крупных) и частиц заполнителя. При этом предполагается, что плотность укладки частиц обратно пропорциональна гранулометрическому параметру  $P$  и все смеси угольных шламов, имеющие одинаковые значения  $P$ , имеют одинаковую порозность и подобны по плотности укладки частиц независимо от их средней крупности. Кроме гранулометрического параметра структурная характеристика порового пространства зернистых сред определяются также средней крупностью частиц.

В цитируемой работе установлена зависимость проницаемости среды от гранулометрического состава, которая описывается с достаточной степенью точности выражением:

$$K = 4 \cdot 10^{-4} d_{cp}^2 / P^n. \quad (2)$$

В результате анализа полученной зависимости проницаемости от гранулометрического состава сделаны выводы о том, что проницаемость угольных шламов прямо пропорциональна квадрату среднего гидравлического диаметра пор, который равен обратной величине эффективной удельной поверхности. В свою очередь эффективная удельная поверхность зависит от среднего диаметра частиц и гранулометрического параметра.

Однако следует отметить, что смеси, с которыми работал автор работы [22], были далеки по гранулометрическому и вещественному составу от имеющихся в настоящее время на углеобогатительных фабриках. Кроме того, способ определения порозности с применением вибраций не учитывает перепада давления

в осадке при его формировании. Несмотря на значительный объем исследований, выполненных и проанализированных в работах различных авторов, не уделяно должного внимания именно микроструктуре порового пространства и соотношению в нем количества крупных и тонких каналов и их роли процессе удаления влаги из флотационных концентратов. Форма порового пространства в кеке сложная, особенно при высоком содержании тонких классов, топология структуры нерегулярная. Это должно существенно влиять на показатели фильтрации, что необходимо учитывать при дальнейшем изучении процесса.

Проведенные исследования процесса фильтрации [23] позволили сделать вывод о том, что фильтрация угольных флотационных концентратов протекает в соответствии с законами течения жидкости через несжимаемый осадок на недеформируемой перегородке, сопротивлением фильтровальной ткани с размером ячеек 0,26 мм можно пренебречь. Такой важный параметр как проницаемость осадка зависит от крупности и смачиваемости материала и может характеризоваться количеством и зольностью частиц крупностью менее 0,074 мм.

Авторами работ [23, 24] установлено, что смачиваемость микрокомпонентов угля имеет максимум в области марки  $K$  и изменяется однотипно. Однако, смачиваемость фюзена не зависит от марки угля, а изменяются при длительном контакте шлама с водой. Автор отмечает, что угольный флотационный концентрат имеет гидрофобную поверхность. Поэтому выделение пузырьков затруднено и силы сцепления их с поверхностью твердой фазы значительны. Наличие тонких частиц в пенном продукте флотации способствует образованию прочно закрепленных на твердой поверхности и устойчивых пузырьков. Такие пузырьки в извилистых и узких ка-

налах осадка флотационного концентрата могут вызывать более устойчивое закупоривание пор, чем проникновение в поры тонких частиц.

Больших успехов в области изучения процесса фильтрования флотационных концентратов Донецких углей добились ученые институтов УкрНИИУглеобогащение, которые исследовали работу фильтровальных отделений многих фабрик [24–26]. Были исследованы гранулометрический состав осадка по высоте и на различном расстоянии от центра диска, влияние присадки крупнозернистого шлама в суспензию, влияние флокулянтов на процесс фильтрования, применение пара для интенсификации процесса фильтрования [27–28], получена имитационная модель процесса [18] и т.д. Применение реагентов для интенсификации процесса не получило широкого распространения в Украине из-за дороговизны реагентов и по ряду технических и технологических причин.

Большое количество работ посвящено изучению остаточного насыщения твердой фазы жидкостью, определены количественные соотношения между проницаемостью и капиллярной высотой подъема жидкости, найдены зависимости указанных параметров от геометрии порового пространства, установлено влияние пористости, поверхностного натяжения и смачиваемости на показатели обезвоживания [29]. Исследовалось влияние вязкости фильтрата на влажность осадка [30]. Один из существенно важных вопросов, касающихся геометрии порового пространства в микроструктуре кека затронут весьма поверхностно, хотя представляется довольно актуальным.

В работе [31] разработаны методы определения структурных характеристик осадков из флотационного концентрата, а именно по пористости и эквивалентного диаметра. Кроме того, автор указывает на необходимость сгущения пуль-

пы перед фильтрованием, т.к. из густых пульп получают осадки с более равномерным распределением частиц по крупности, чем из разжиженных суспензий, флотируемых в настоящее время на углеобогажительных фабриках. В этом случае мелкие частицы при подходе к фильтровальной поверхности опережают крупные, что способствует увеличению проницаемости осадка. К аналогичным выводам пришли и авторы работы [32].

В публикации [33] отмечается, что современном этапе развития углеобогащения в Украине мало реализуется идея кондиционирования питания вакуум-фильтров по гранулометрическому составу, концентрации суспензии и другим параметрам, а также такие методы интенсификации процесса как обработки исходного флотоконцентрата флокулянтами или различными поверхностно-активными веществами. Все эти мероприятия могут способствовать улучшению структуры порового пространства кека.

Авторами работы [34] рассматривается проблема снижения расходов топлива на сушку за счет интенсификации процессов механического обезвоживания. В работе выполнен анализ соотношения выпуска флотоконцентрата и мелкого концентрата на 59 фабриках с флотацией, который показал, что на 34 ОФ термическая сушка флотоконцентрата может быть исключена за счет его глубокого обезвоживания до влажности 15–18% и подсушки до влажности 5% только мелкого концентрата с последующим смешением указанных продуктов. Авторы отмечают, что оптимальным и технологическим наиболее надежным способом глубокого обезвоживания флотоконцентрата является его фильтрование под давлением на фильтр-прессах с просушкой осадка сжатым воздухом [35]. По сравнению с вакуум-фильтрами влажность обезвоженного флотоконцентрата снижается на 12–15%. Отказ от сушки

этого продукта позволит резко сократить выбросы в атмосферу, уменьшить потери угля и улучшить экологическую обстановку, повысить уровень взрывобезопасности сушильных отделений. Кроме того, полное задержание твердой фазы на фильтр-прессе позволит снизить нагрузку на флотацию и воздушно-шламовую схему фабрики в целом [36].

В перечисленных выше работах рассмотрены различные аспекты фильтрации угольных суспензий, изложены теоретические основы процесса, приведены характеристики угольных суспензий, исследовано основное уравнение фильтрации Карма и закономерности просушки угольных осадков, а также описаны результаты работы промышленных фильтров разных конструкций и данные по фильтруемости различных флотационных угольных концентратов.

Несмотря на значительный объем исследований и несомненную научную и практическую ценность перечисленных работ, отсутствуют сведения по изучению положения границы раздела фаз жидкость-газ в фазе просушки осадка в капиллярной пористой среде, что является немаловажным в процессе более детального рассмотрения обезвоживания кека.

Применение таких методов обезвоживания, которые требуют дополнительных затрат тепла, использование термической сушки, которые невыгодны с экономических и экологических позиций явля-

ется крайним средством. Разработки в этом направлении можно объяснить тем, что исследователи исчерпали возможности физических и физико-химических методов. Это связано с тем, что при работе в этом направлении не проводилось изучение микроструктуры кека. Параметры среды оценили через интегральные или средневзвешенные характеристики частиц. Но если изучать микроструктуру кека, то следует ожидать, что можно вскрыть резервы в таких относительно недорогих процессах интенсификации процесса физическими методами.

Анализ фундаментальных теоретических работ в области исследования процессов, происходящих в поровой среде флотационного угольного концентрата при его обезвоживании, а также прикладных работ и содержащих результаты промышленной практики показал, что единой точки зрения на эффективность участия капиллярных каналов различной формы, их извилистости, изменяющегося сечения при течении через них жидкости и газа нет. В рассмотренных работах нет также количественной оценки эффективности участия в гидродинамическом течении жидкости пустот между частицами и широких пор. Следовательно дальнейшие исследования будут направлены на выполнение аналитического анализа перемещения границы раздела фаз вода-воздух в пористой среде осадка и к расчету их основных закономерностей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бейлин М. И. Теоретические основы процессов обезвоживания углей. — М.: Недра, 1969. — 240 с.
2. Langeloh T., Kern K., Meck F. Neueste Entwicklungstrends im Bereich der Slammmentwasserung // F & S Filtrieren und Separieren, 6 (1992), No 5, pp. 271–276.
3. Buckley A. N. and Nicol S. K. The Moisture Retention Characteristics of Coal with Particular Reference to Surface Effects. CSIRO Division of Coal and Energy Tehnology Investigation Report IR273, pp. 66(1994).
4. Абрамов Н. П., Байдаков Л. А., Страхов Л. П. Исследование состояния воды в некоторых дисперсных системах методом ЯМР // Коллоидный журнал. — 1974. — № 1. — С. 22–26.

5. *Anlauf H., Muller H. R.* Effect of the Weave Structure and Pore Size of Monofil Fiter Cloths on the Process Result of Continuous Liquid Filtration with Cake Formation. *Aufbereitungs Techmk* 31(6), 293–303 (1990).

6. *Attalla M., Johnston B. K. and Veal C. J.* Improved Handing and Transport Of Coal Fines Through Integration of Dewatering and Size Enlargement. Australia Coal Association research Program Report PN 93095 (1996).

7. *Stanmore B. R., O`Brien G., He Y., Firth B. A., O`Brien M., White E. T.* Porosity and water Retention in Coarse Coking Coal. *Fuel* 34, 1996, pp. 321–334.

8. *Лейчикс И. М.* Фильтрование с применением вспомогательных веществ. — Л.: Техника, 1975. — 192 с.

9. *Соколова М. С., Сафронова К. И., Байченко А. А. и др.* Промышленные испытания полиоксиэтилена при обезвоживании шлама на вакуум-фильтрах ЦОФ «Березовская» // Обогащение и брикетирование угля. — 1975. — № 5. — С. 5–7.

10. *Wen W. W.* The Use of Asphalt as a Dewatering Aid for Ultrafine Coal. Proceedings of the Advances in filtration and Separation Tehnology, the American Filtration Society Annual Meeting, Vo 2, Arlington, Virginia, 1990, pp. 512–515.

11. *Сорокин А. Ф., Мазунина И. П., Суслов В. И. и др.* Использование флокулянтов ВПК-402 при фильтровании флотационного концентрата // Кокс и химия. — 1989. — № 6. — С. 7–9.

12. *Kaiser M.* Untersuchung zur Opimierung der Flockung in der Steinkohlenaufbereitung // Gluckauf. — 1993. — P. 245–257.

13. *Kaiser M., Latsch H.* Enhancement of the Efficiency of Polymeric Flocculants in Dewatering and Clarification / 12 International Coal Preparation Congress, Krakow, 1994, pp. 493–501.

14. *Пилов П. И.* Распределение частиц твердой фазы в турбулентном потоке жидкости при выделении осадка // Науковий вісник НГА України. — 1998. — № 1. — С. 74–77.

15. *Ofori P. K.* Moisture Reduction in Coal with Reference to Surface Chemical Phenomena, Australian Coal Association Report ERG953, pp. 145 (1990).

16. *Каминский В. С. и др.* Пути интенсификации обезвоживания мелкого угля и очистки шламовых вод / Проблемы обогащения твердых горючих ископаемых. Труды ИОТТ, т. 2, вып. 2. — М., 1973. — С. 3–25.

17. *Майдуков Г. Л., Карягина Н. В.* Исследование и практическое применение закономерностей распределения по крупности частиц в продуктах флотации донецких углей // Уголь Украины. — 1972. — № 11. — С. 48–50.

18. *Vickers F., Morris J.* The flotation and dewatering of fine coal // Mine and Qvarry. — 1990. — 19. — № 4. — p. 30–33.

19. *Bourgeois F., Lyman G.* Morphological Analysis and Modelling of Fine Coal Filter Cake Microstructure, *Chemical Engineering Science*, 52/7, 1151–1162 (1997).

20. *Wen W. W., Killmeyer R. P., Utz B. R., Hucko R. E.* Simultaneous Fine Coal Dewatering and Reconstitution via the U.S. Department of Energy's In Situ Cake Hardening Process. Proceedings of the 12th International Coal Preparation Congress, Cracow, Poland, May 23–27, 1994.

21. *Брук О. Л., Сафронова К. И., Соколова М. С.* Оценка эффективности действия реагентов-интенсификаторов фильтрования / Проблемы обогащения твердых горючих ископаемых. Труды ИОТТ, т. 6, вып. 1. — М., 1976. — С. 46–49.

22. *Vickers F., Morris J.* The flotation and dewatering of fine coal // Mine and Qvarry. — 1990. — 19 — № 5. — p. 28–30.

23. *Бутовецкий В. С., Скрипков А. П.* Исследование и расчет параметров фильтрования суспензии угольных флотационных концентратов в различных гидравлических режимах // Обогащение полезных ископаемых. — 1974. — № 14. — С. 45–49.

24. *Grosso J. G., Sung D. J. and Parekh B. K.* Evaluation of Hyperbaric Filtration for Fine Coal Dewatering, *Minerals and Matallurgical Processing* 12(1) 28–33 (1995).

25. *Dullien A. L.*, Porous Media Fluid Transport and Pore Structure, 2nd edition, Academic Press Inc. 1992.

26. *Майдуков Г. Л., Карягина Н. В.* Фильтрационные свойства продуктов флотации донецких углей // Физико-технические проблемы разработки полезных ископаемых. — 1974. — № 3. — С. 125–126.

27. *Жужиков В. А.* Фильтрование. Теория и практика разделения суспензий. — М.: Химия, 1980. — 398 с.

28. Пигоров Г. С., Коткин А. М., Кейтельгиссер И. Н. Закономерности фильтрования угольных шламов // Уголь Украины. — 1973. — № 2. — С. 46–48.
29. Майдуков Г. Л., Карягина Н. В. Параметры процесса фильтрационного обезвоживания угольного флотоконцентрата при постоянном вакууме // Уголь. — 1972. — № 7. — С. 37–40.
30. Гутин Ю. В., Жужиков В. А. Исследование влияния концентрации суспензии на скорость фильтрования // Химическое и нефтяное машиностроение. — 1971. — № 1. — С. 32–35.
31. Wen W. W., Killmeyer R. P., Utz B. R., Hucko R. E. Simultaneous fine coal Dewatering and Reconstitution via the US Dept of Energy in Situ Cake Hardening Process. Proc 12th International Coal Preparation Congress, Cracow, 1993, pp. 167–177.
32. Клешнин А. А. Исследование процесса фильтрования угольных шламов различного гранулометрического состава. Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.15.08. ДПИ. — Донецк, 1974. — 23 с.
33. Карягина Н. В., Майдуков Г. Л., Вырвич Г. П. Характеристика продуктов флотации углеобогатительных фабрик Донбасса // Химия и технология твердого топлива. — 1972. — № 5. — С. 33–35.
34. Карягина Н. В. Исследование процесса фильтрования угольного флотоконцентрата и разработка метода технологического расчета дисковых вакуум-фильтров. Автореф. дис...канд. техн. наук: 05.15.08. ДПИ. — Донецк, 1972. — 22 с.
35. Пигоров Г. С., Кейтельгиссер, Клоцман В. Л. и др. Опыт и перспективы развития техники фильтрования угольных шламов // Кокс и химия. — 1972. — № 10. — С. 5–7.
36. Фоменко Т. Г., Бутовецкий В. С., Погарцева Е. М. Рекомендации по водно-шламовому хозяйству углеобогатительных фабрик. — Луганск: УкрНИИУглеобогащение, 1973. — 244 с.
37. Гарковенко Е. Е., Назимко Е. И., Самойлов А. И., Папушин Ю. Л. Особенности флотации и обезвоживания тонкодисперсных углесодержащих материалов. — Донецк: Норд-Пресс, 2002. — 266 с.
38. Пилов П. И. Распределение частиц твердой фазы в турбулентном потоке жидкости при выделении осадка // Науковий вісник НГА України. — 1998. — № 1. — С. 74–77.
39. Полулях А. Д., Ищенко О. В. Состояние подготовки и обогащение машинных классов рядового угля в Украине // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. — Дніпропетровськ. — 2005. — вип. 23 (64). — С. 21–26.
40. Полулях А. Д. Особенности современных технологий углеобогащения // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. — Дніпропетровськ. — 2003. — вип. 17(58). — С. 3–6.
41. Подопрігора А. И., Клешнин А. А., Полулях А. Д. Энергетическое состояние зернистых смесей как характеристика их гранулометрического состава и разделительной способности // Сборник научных трудов НГАУ. — 1998. — № 3. — Т. 4. — С. 108–113.
42. Пейчев И. Д. Техника и технология фильтрования угольных суспензий // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. — Дніпропетровськ. — 2005. — вип. 22(63). — С. 121–128.
43. Полулях А. Д., Гончаренко Е. А., Кочетов Ю. В. Определение границ применимости закона Дарси для зернистых сред // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. — Дніпропетровськ. — 2000. — вип. 10 (51). — С. 81–87.
44. Lowry M. I., Miller C. T. Pore scale modeling of nonwetting phase residual in porous media. Water Resources Research, 31:3, 1995. — p. 455–473.
45. Yang G., Myer L. R. Object-Oriented Analysis of Network Flows at Por and Reservoir Scales. ISRM International Symposium 36th U.S. Rock Mechanics Symposium June 29 – July 2, 1997. New York. **ГИАБ**

## КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Серафимова Людмила Ивановна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент,  
Науменко Виктория Георгиевна<sup>1</sup> — кандидат технических наук, доцент,  
e-mail: andiline.mail@gmail.com,

<sup>1</sup> Донецкий национальный технический университет, Донецк.

L.I. Serafimova, V.G. Naumenko

## FEATURES OF DEHYDRATION OF FINELY DISPERSED COAL FLOTATION CONCENTRATES

The current state of coal production technology led to the fact that the run-of-mine coal, arriving at preparation, contains about a third of the fine size particles, having, as a rule, 25–30% of ash content [37]. Therefore, enterprises are faced with the need to use several stages while dewatering slurry to receive the product of the required moisture content. The cheapest and most widely used method is mechanical dewatering. For this purpose, a great variety of equipment with different operating principles is used, predominant among which is the filtration.

Key words: ash, flotation, fine, concentrates, sludges, the Reynolds number, cake, flocculation, porosity, Fusain, filterability, flotation concentrate

DOI: 10.25018/0236-1493-2017-8-0-131-141

### AUTHORS

Serafimova L.I.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
Naumenko V.G.<sup>1</sup>, Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,  
e-mail: andiline.mail@gmail.com,

<sup>1</sup> Donetsk National Technical University, 83000, Donetsk.

### REFERENCES

1. Beylin M.I. *Teoreticheskie osnovy protsessov obezvozhivaniya ugley* (Theoretical basis of coal dewatering processes), Moscow, Nedra, 1969, 240 p.
2. Langeloh T., Kern K., Meck F. Neueste Entwicklungstrends im Bereich der Slammmentwasserung. *F & S Filtrieren und Separieren*, 6 (1992), No 5, pp. 271–276.
3. Buckley A.N. and Nicol S.K. *The Moisture Retention Characteristics of Coal with Particular Reference to Surface Effects*. CSIRO Division of Coal and Energy Tehnology Investigation Report IR273, pp. 66(1994).
4. Abramov N.P., Baydakov L.A., Strakhov L.P. *Kolloidnyy zhurnal*. 1974, no 1, pp. 22–26.
5. Anlauf H., Muller H.R. Effect of the Weave Structure and Pore Size of Monofil Fiter Cloths on the Process Result of Continuous Liquid Filtration with Cake Formation. *Aufbereitungs Technik* 31(6), 293–303 (1990).
6. Attalla M., Johnston B.K. and Veal C.J. Improved Handing and Transport Of Coal Fines Through Integration of Dewatering and Size Enlargement. *Australia Coal Association research. Program Report PN 93095* (1996).
7. Stanmore B.R., O`Brien G., He Y., Firth B.A., O`Brien M., White E.T. *Porosity and water Retention in Coarse Coking Coal*. *Fuel* 34, 1996, pp. 321–334.
8. Leychkis I.M. *Fil'trovaniye s primeneniem vspomogatel'nykh veshchestv* (Filtration using excipients), Leningrad, Tekhnika, 1975, 192 p.
9. Sokolova M.S., Safronova K.I., Baychenko A.A. *Obogashchenie i briketirovanie uglya*. 1975, no 5, pp. 5–7.
10. Wen W.W. *The Use of Asphalt as a Dewatering Aid for Ultrafine Coal. Proceedings of the Advances in filtration and Separation Tehnology, the American Filtration Society Annual Meeting*, Vo 2, Arlington, Virginia, 1990, pp. 512–515.
11. Sorokin A.F., Mazunina I.P., Suslov V.I. *Koks i khimiya*. 1989, no 6, pp. 7–9.
12. Kaiser M. Untersuchung zur Opimierung der Flockung in der Steinkohlenaufbereitung. *Gluckauf*. 1993. P. 245–257.
13. Kaiser M., Latsch H. Enhancement of the Efficiency of Polymeric Flocculants in Dewatering and Clarification. *12 International Coal Preparation Congress, Krakow*, 1994, pp. 493–501.
14. Pilov P.I. *Naukoviy visnik NGA Ukraini*. 1998, no 1, pp. 74–77.

15. Ofori P.K. Moisture Reduction in Coal with Reference to Surface Chemical Phenomena, *Australian Coal Association Report ERG953*, pp. 145 (1990).
16. Kaminskiy V.S. *Problemy obogashcheniya tverdykh goryuchikh iskopaemykh. Trudy IOTT*, t. 2, vyp. 2 (Problems enrichment of solid fuels, Proceedings of Institute of enrichment of solid fuels, vol. 2, issue 2), Moscow, 1973, pp. 3–25.
17. Maydukov G.L., Karyagina N.V. *Ugol' Ukrainy*. 1972, no 11, pp. 48–50.
18. Vickers F., Morris J. The flotation and dewatering of fine coal. *Mine and Quarry*. 1990. 19, no 4, pp. 30–33.
19. Bourgeois F., Lyman G. Morphological Analysis and Modelling of Fine Coal Filter Cake Microstructure, *Chemical Engineering Science*, 52/7, 1151–1162 (1997).
20. Wen W.W., Killmeyer R.P., Utz B.R., Hucko R.E. Simultaneous Fine Coal Dewatering and Reconstitution via the U.S. *Department of Energy's In Situ Cake Hardening Process. Proceedings of the 12th International Coal Preparation Congress*, Cracow, Poland, May 23–27, 1994.
21. Bruk O.L., Safronova K.I., Sokolova M.S. *Problemy obogashcheniya tverdykh goryuchikh iskopaemykh. Trudy IOTT*, t. 6, vyp. 1 (Problems enrichment of solid fuels, Proceedings of Institute of enrichment of solid fuels, vol. 6, issue 1), Moscow, 1976, pp. 46–49.
22. Vickers F., Morris J. The flotation and dewatering of fine coal. *Mine and Quarry*. 1990. 19, no 5, pp. 28–30.
23. Butovetskiy V.S., Skripkov A.P. *Obogashchenie poleznykh iskopaemykh*. 1974, no 14, pp. 45–49.
24. Groppo J.G., Sung D.J. and Parekh B.K. Evaluation of Hyperbaric Filtration for Fine Coal Dewatering, *Minerals and Metallurgical Processing* 12(1) 28–33 (1995).
25. Dullien A.L., *Porous Media Fluid Transport and Pore Structure*, 2nd edition, Academic Press Inc. 1992.
26. Maydukov G.L., Karyagina N.V. *Fiziko-tehnicheskie problemy razrabotki poleznykh iskopaemykh*. 1974, no 3, pp. 125–126.
27. Zhuzhikov V.A. *Fil'trovaniye. Teoriya i praktika razdeleniya suspenziy* (Filtration. Theory and practice of separation of suspensions), Moscow, Khimiya, 1980, 398 p.
28. Pigorov G.S., Kotkin A.M., Keytel'gisser I.N. *Ugol' Ukrainy*. 1973, no 2, pp. 46–48.
29. Maydukov G.L., Karyagina N.V. *Ugol'*. 1972, no 7, pp. 37–40.
30. Gutin Yu.V., Zhuzhikov V.A. *Khimicheskoe i neftyanoe mashinostroenie*. 1971, no 1, pp. 32–35.
31. Wen W.W., Killmeyer R.P., Utz B.R., Hucko R.E. Simultaneous fine coal Dewatering and Reconstitution via the US Dept of Energy in Situ Cake Hardening Process. *Proc 12th International Coal Preparation Congress*, Cracow, 1993, pp. 167–177.
32. Kleshnin A.A. *Issledovanie protsessa fil'trovaniya ugol'nykh shlamov razlichnogo granulometricheskogo sostava* (Investigation of the process filtration of coal slurries of different particle size distribution), Candidate's thesis, Donetsk, 1974, 23 p.
33. Karyagina N.V., Maydunkov G.L., Vyrvich G.P. *Khimiya i tekhnologiya tverdogo topliva*. 1972, no 5, pp. 33–35.
34. Koryagina N.V. *Issledovanie protsessa fil'trovaniya ugol'nogo flotokontsentrata i razrabotka metoda tekhnologicheskogo rascheta diskovykh vakuum-fil'trov* (Investigation of the process filtration of coal flotation concentrate and develop a method for calculating the process of disc vacuum filters), Candidate's thesis, Donetsk, 1972, 22 p.
35. Pigorov G.S., Keytel'gisser, Klotsman V.L. *Koks i khimiya*. 1972, no 10, pp. 5–7.
36. Fomenko T.G., Butovetskiy V.S., Pogartseva E.M. *Rekomendatsii po vodno-shlamovomu khozyaystvu ugleobogatitel'nykh fabrik* (Pogartseva EM Recommendations for water and sludge farm coal preparation plants), Lugansk, UkrNILugleobogaschenie, 1973, 244 p.
37. Garkovenko E.E., Nazimko E.I., Samoylov A.I., Papushin Yu.L. *Osobennosti flotatsii i obezvozhivaniya tonkodispersnykh uglesoderzhashchikh materialov* (Features flotation and dewatering of fine carbonaceous materials), Donetsk, Nord-Press, 2002, 266 p.
38. Pilov P.I. *Naukoviy visnik NGA Ukraini*. 1998, no 1, pp. 74–77.
39. Polulyakh A.D., Ishchenko O.V. *Zbagachennya korisnikh kopalin: Nauk.-tekhn. zb. Dnipropetrovs'k*, 2005, issue 23 (64), pp. 21–26.
40. Polulyakh A.D. *Zbagachennya korisnikh kopalin: Nauk.-tekhn. zb. Dnipropetrovs'k*, 2003, issue 17(58), pp. 3–6.
41. Podoprigora A.I., Kleshnin A.A., Polulyakh A.D. *Sbornik nauchnykh trudov NGAU*. 1998, no 3, vol. 4, pp. 108–113.
42. Peychev I.D. *Zbagachennya korisnikh kopalin: Nauk.-tekhn. zb. Dnipropetrovs'k*, 2005, issue 22(63), pp. 121–128.
43. Polulyakh A.D., Goncharenko E.A., Kochetov Yu.V. *Zbagachennya korisnikh kopalin: Nauk.-tekhn. zb. Dnipropetrovs'k*. 2000, issue 10 (51), pp. 81–87.
44. Lowry M.I., Miller C.T. Pore scale modeling of nonwetting phase residual in porous media. *Water Resources Research*, 31:3, 1995. pp. 455–473.
45. Yang G., Myer L.R. Object-Oriented Analysis of Network Flows at Por and Reservoir Scales. *ISRM International Symposium 36th U.S. Rock Mechanics Symposium June 29 July 2, 1997*. New York.