

Процесс обезвоживания мелкого угля и угольного шлама в фильтрующих центрифугах

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2016-5-91-93>

Рассмотрены основы теории обезвоживания мелкого угля и угольного шлама в приложении к работе фильтрующих центрифуг. Показана необходимость учета при оценке конечной влажности осадка не только содержания тонкого шлама в питании центрифуги, но и марки угля по стадии метаморфизма.

Ключевые слова: обезвоживание угля, центробежная сила, капиллярная сила, влагонасыщение, влагоудержание, стадии метаморфизма угля.



КОЗЛОВ Вадим Анатольевич

Канд. техн. наук, доцент,
главный технолог
«Коралайна Инжиниринг»,
105005, г. Москва, Россия,
e-mail: vak@coralina.ru

Для удаления излишней влаги из мелкого угля и угольного шлама на обогатительных фабриках с мокрыми процессами обогащения широко применяют наиболее экономичный из существующих способов обезвоживания – центробежный. Из центробежного оборудования применяют в основном три вида центрифуг: для мелкого угля крупностью 0,5-13(50) мм – фильтрующие центрифуги с вибрационной выгрузкой осадка, для шлама крупностью 0,15-2(3) мм – фильтрующие центрифуги со шнековой выгрузкой осадка, для флотоконцентрата класса 0-0,15(0,25) мм и шлама более широкого класса 0-1(3) мм – осадительно-фильтрующие центрифуги со шнековой выгрузкой осадка.

Центробежная сила в фильтрующих центрифугах создается вращающейся корзиной с перфорированной стенкой. Под действием инерционной центробежной силы жидкость и твердые частицы внутри корзины перемещаются к ее стенке. Твердые частицы угля удерживаются стенкой корзины, и в результате на внутренней поверхности формируется уплотненный осадок. Жидкость, которая была в исходном питании центрифуги, под действием инерционной силы протекает через осадок, захватывает в движение с собой некоторое количество твердого с размером частиц меньше размера щели перфорации стенки корзины и удаляется из центрифуги наружу. Эта жидкость, содержащая относительно тонкое твердое, называется в углеобогащении «фугатом». Разгрузка уплотненного обезвоженного осадка осуществляется для мелкого угля продольной вибрацией корзины, а для угольного шлама – шнековым транспортером.

В данной статье рассматриваются некоторые положения теории обезвоживания угля применительно к работе фильтрующих центрифуг.

На рис. 1 показана упрощенная модель, когда жидкость из объема пор осадка, который был ранее заполнен жидкостью, начинает дренировать под действием центробежной силы.

Влагонасыщение S будем определять как часть объема пор в осадке, занятых жидкостью.

Типичная кривая изменения центробежного осушения во времени для фиксированной массы осадка показана на рис. 2 [1].

S_{total} обозначает полное начальное насыщение жидкостью, у которого есть изменяющийся во времени под действием центробежной силы G компонент S_T и постоянная остаточная часть S_{∞} , которая не изменяется во времени. Общее насыщение осадка при центробежной силе G_1 достигает уровня равновесного насыщения $S_{\infty 1}$, а при более высокой центробежной силе G_2 кривая осушения проходит ниже уровня кривой для силы G_1 . При большей центробежной силе равновесие достигается за относительно меньшее время t .



Рис. 1. Схема осадка, условно показывающая соотношение жидкости и воздуха

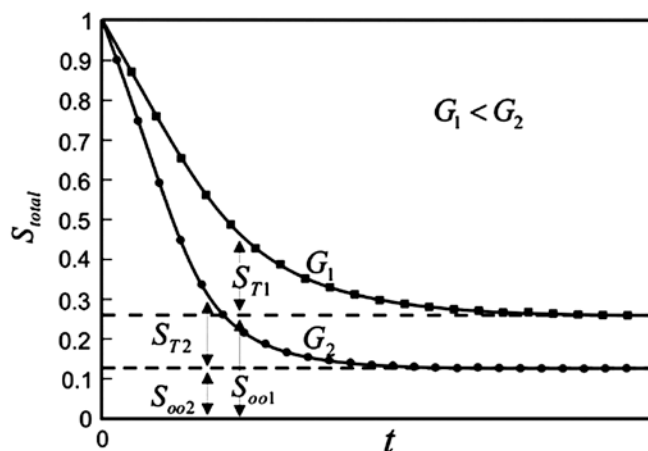


Рис. 2. Изменение влагонасыщения осадка во времени

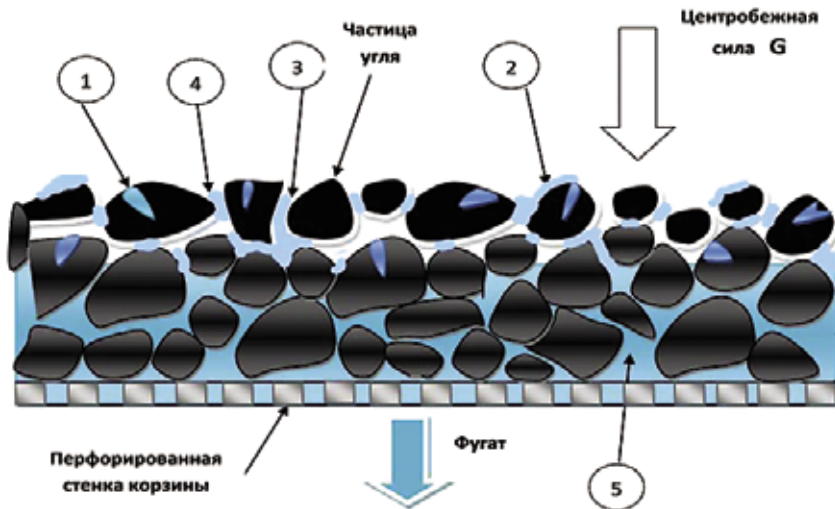


Рис. 3. Удержание влаги в осадке центрифуги

Равновесное насыщение определяется балансом между капиллярными силами, которые удерживают жидкость между частицами в осадке, и центробежной силой, которая выжимает жидкость из осадка.

Рассмотрим состояния, в которых может находиться жидкость в структуре осадка (рис. 3) [2-4].

Состояние 1 – жидкость является прочносвязанной капиллярными силами в порах внутри самих угольных частиц. Состояние 2 – жидкость адсорбирована в тонкой пленке на поверхности частиц. Состояния влаги 1 и 2 обозначим S_p . Состояние 3 – капиллярная жидкость в промежутках между близко расположенными сторонами частиц, связанная с водонасыщенным слоем осадка, – влагонасыщение S_c . Состояние 4 – маятниковая жидкость в точке углового контакта частицы с частицей – влагонасыщение S_z . Состояние 5 – свободная жидкость, которая может быстро дренировать по крупным каналам осадка размером более 1 мм в диаметре.

Жидкость в состояниях 3, 4 и 5 может быть удалена центробежной силой, создаваемой в промышленных центрифугах. Жидкость в состояниях 1 и 2 не может быть удалена, так как физические силы, такие как капиллярная в тонких капиллярах и адсорбции в тонких пленках на поверхности частиц, превосходят центробежную силу.

На рис. 4 показаны периоды A, B, C, и D осушения осадка во времени из теории фильтрации под действием вакуума, что можно также интерпретировать для нашего случая в виде процесса осушения осадка по длине корзины фильтрующей центрифуги [2].

В зависимости от времени обезвоживания, морфологии и шероховатости поверхности частиц мокрый осадок осушается от состояния полного влагонасыщения $S = 1$ до условия, когда $S < 1$. С увеличением времени обезвоживания влагонасыщение S приближается к равновесному насыщению S_{∞} , которое является функцией силы G , капиллярной силы и количества связанной жидкости, удерживаемой в порах самих частиц.

В начальный момент времени A начинается процесс объемной фильтрации жидкости, который заканчивается в момент времени B. Осушение влажного осадка ($S < 1$) начинается сразу после того, как объемная фильтрация закончена и уровень жидкости начинает отступать ниже

поверхности осадка. Далее идет процесс осушения осадка – момент C. В зарубежной литературе этот процесс осушения осадка обозначается термином «desaturation». В момент времени D процесс осушения осадка останавливается.

Нижний ряд (см. рис. 4) показывает дренаж жидкости из капилляра, образованного поверхностью рядов расположенных частиц в осадке. Дренаж начинается с объемного движения жидкости с центральной оси капилляра, и далее следует пленочное движение остатка жидкости по внутренней поверхности частиц.

Местоположение последовательности моментов времени A, B, C, D, отмеченных вдоль кривой зависимости влагонасыщения S от t , приведено на рис. 5.

Это может быть также интерпретировано как пространственная последовательность движения осадка в фильтрующей центрифуге $X = Vt$, где X является расстоянием движения осадка, t – время и V – средняя скорость движения осадка. В приведенном примере точки A и B соответствуют условиям, когда $S = 1$, точка C соответствует медленному пленочному потоку жидкости, и точка D указывает на равновесие, когда $S = S_{\infty}$.

Учитывая закон сохранения массы, из условия равенства центробежной и капиллярной сил, действующих на жидкость в капилляре, получим выражение для влагонасыщения [3]:

$$S = y / h = 1 - \left(\frac{Gr_0^2}{g\nu h} \right) t,$$

где: y – уровень поверхности раздела воздух-жидкость в осадке, измеренного от основания осадка; h – толщина осадка; r_0 – радиус капилляра; ν – кинематическая вязкость жидкости.

Таким образом, влагонасыщение S осадка уменьшается линейно с течением времени t , в котором темп уменьшения dS/dt зависит от силы G , радиуса капилляра r_0 , кинематической вязкости жидкости ν и от толщины осадка h , ко-

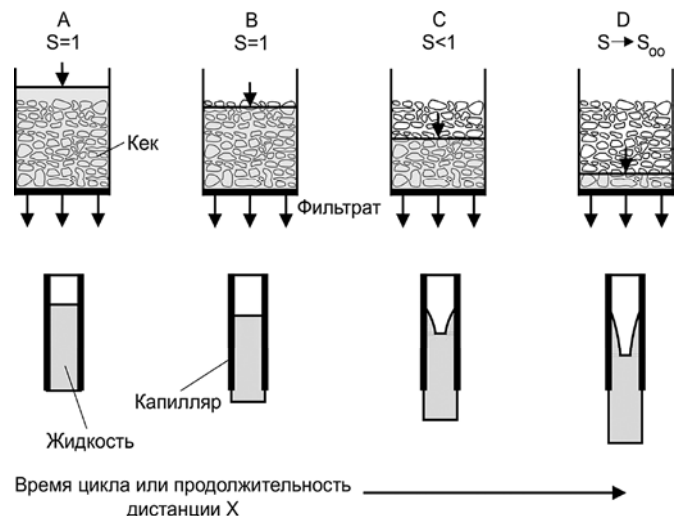


Рис. 4. Последовательность во времени зон объемной фильтрации и осушения



Рис. 5. Объемный и пленочный дренаж в капиллярах осадка

торая косвенно определяет длину капилляра. Отдельный капилляр будет иметь извилистую форму с утолщениями и сужениями по всей длине, обусловленными неупорядоченными контактами частиц осадка разных размеров. Естественно предположить, что капилляр начинается на поверхности осадка и заканчивается на выходе из стенки корзины. Так как осадок состоит из отдельных частиц, то все поровое пространство связано в единую систему каналов-капилляров. Поэтому можно всегда рассчитать средний эквивалентный радиус капилляров и их количество, приходящиеся на единицу массы осадка или площади поверхности корзины.

После центробежного обезвоживания в осадке присутствует остаточное влагонасыщение S_∞ , которому, по мнению автора, больше соответствует понятие «**влагоудерживающая способность**» осадка.

Как показала практика применения фильтрующих центрифуг для обезвоживания мелкого угля и угольного шлама, остаточная влага осадка зависит не только от гранулометрического состава твердого (от содержания тонкого шлама в питании), его зольности, но и от марки угля по шкале стадий метаморфизма.

На фильтрующих центрифугах с вибрационной выгрузкой осадка на углях низкой стадии метаморфизма марок Д и Г при обезвоживании низкозольного концентрата класса 1-13(50) мм получена влага осадка 15-18%. Для концентрата марки Д класса 6-25 мм зольностью 6-8% влага составила 16-17,5%, а для концентрата класса 2-6 мм влага составила 16-18%.

На фильтрующих центрифугах со шнековой выгрузкой осадка для шлама угля марки Д класса 0,5-2 мм и зольностью 20% влага осадка составила 18-20%.

На осадительно-фильтрующих центрифугах для шлама угля марки Д зольностью 16-22% класса 0-1 мм влага осадка составила 20-26%. Для шлама угля марки Д класса 0,15-2 мм и зольностью 10% влага осадка составила 20-24%.

Как видно из приведенных данных, для углей марок Д и Г наблюдается высокая влагоудерживающая способность осадка, что, вероятно, определяется внутренней структурой порового пространства и физико-химической активностью открытой поверхности частиц угля.

В то же время для углей марок средней стадии метаморфизма Ж, К, КС, ОС влагоудерживание в большей степени зависит от гранулометрического состава осадка, и для

концентратов класса 1-13 мм, обезвоживаемых в фильтрующих вибрационных центрифугах, составляет 6-9%, а для низкозольного осадка осадительно-фильтрующих центрифуг остаточная влага составляет 8-14%.

Необходимо отметить, что повышение частоты вращения корзины лабораторных центрифуг до уровней, превышающих фактор разделения промышленных осадительно-фильтрующих центрифуг в два-четыре раза, достигая $G = 1200-2000 g$, не приводило к существенному уменьшению остаточной влаги в осадке. Это говорит о том, что технические характеристики современных центрифуг, предназначенных для обезвоживания угля, имеют оптимальные параметры по фактору разделения, который зависит от частоты вращения и диаметра корзины центрифуги.

Список литературы

1. Mayer G. & Stahl W. Model for Mechanical Separation of Liquid in a Field of Centrifugal Force. *Aufbereitungs-Technik*, 1988, no. 11.
2. Leung, Wallace Woon-Fong. Industrial centrifugation technology. McGraw-Hill Companies, Inc., New York, 1998.
3. Stadager C. & Stahl W. The Superposition of Centrifugal and Gas Pressure Forces for Cake Filtration» in Proc. Am. Filtr. Sep. Soc. Ann. Conf. (Nashville, TN, Apr. 23-26, 1995), vol. 9, K.-J. Choi (ed.), pp. 551-559.
4. Козлов В. А. Обезвоживание угольного шлама в фильтрующих центрифугах // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2013. № 3. С. 166-171.

COAL PREPARATION

UDC 622.794.252.017.2 © V.A. Kozlov, 2016
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) •
 Ugol' – Russian Coal Journal, 2016, № 5, pp. 91-93

Title
SMALL SIZE COAL AND COAL SLURRY DEWATERING
IN FILTRATION CENTRIFUGES

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2016-5-91-93>

Author
 Kozlov V.A.¹
¹“Coraline Engineering”, LLC, Moscow, 105005, Russian Federation

Author's Information
Kozlov V.A., PhD (Engineering), Assistant Professor, Chief Process Engineer,
 e-mail: vak@coralina.ru

Abstract
 Small size coal and coal slurry dewatering theory basics are reviewed in the context of filtration centrifuge operation. The need of accounting final cake moisture of both fine slurry in the centrifuge feed and coal rank based on metamorphic grade is substantiated.

Keywords
 Coal dewatering, Centrifugal force, Capillary force, Water saturation, Water retention, Coal metamorphic grades.

References

1. Mayer G. & Stahl W. Model for Mechanical Separation of Liquid in a Field of Centrifugal Force. *Aufbereitungs-Technik*, 1988, no.11.
2. Leung, Wallace Woon-Fong. Industrial centrifugation technology. McGraw-Hill Companies, Inc., New Iork, 1998.
3. Stadager C. & Stahl W. “The Superposition of Centrifugal and Gas Pressure Forces for Cake Filtration” in Proc. Am. Filtr. Sep. Soc. Ann. Conf. (Nashville, TN, Apr. 23-26, 1995), vol. 9, K.-J. Choi (ed.), pp. 551-559.
4. Kozlov V.A. Obvezozhivanie ugol'nogo shlama v filtruyushchih tsentrifugah [Coal slurry dewatering in filtration centrifuges]. *Gornyy Informatsionno-Analiticheskiy Byulleten – Mining Information-Analytical Bulletin*, 2013, no. 3, pp. 166-171.