

Существующие флотационные технологии для обогащения угольного шлама

В статье рассмотрены флотационные технологии, применяемые на современных углеобогатительных фабриках. Отмечены достоинства и недостатки камерных механических флотомашин, пневматических флотоколонн с аэрационными системами типа SlamJet и последними разработками типа CavTube. Система CavTube позволяет обеспечить дополнительное извлечение в пенный продукт угольных частиц микронной крупности. Приведены схемы флотации угля с использованием новой технологии StackCell, предназначенной для флотации разбавленных угольных пульп с содержанием твердого 30-100 г/л.

Ключевые слова: флотация угля, флотоколонна, аэратор, пенный продукт, хвосты флотации.

Контактная информация:
e-mail: vak@setco.ru

В углеобогатительной отрасли тонкие угольные шламы крупностью 0-0,25 мм из-за высоких затрат на их обогащение и обезвоживание воспринимаются как серьезная экономическая проблема. На текущий момент только процесс флотации может обеспечить обогащение угля до «нулевой» крупности и сократить потери угля с отходами. Поэтому совершенствование флотационных технологий в



КОЗЛОВ
Вадим Анатольевич
Главный технолог
«Коралайна Инжиниринг»
(SETCO)



ПИКАЛОВ
Михаил Федорович
Инженер-технолог
«Коралайна Инжиниринг»
(SETCO)

применении к тонким угольным шламам, особенно коксующихся марок, является важной задачей для углеобогатения.

Наиболее известными и распространенными аппаратами для флотации угля являются камерные механические флотомшины (рис. 1, 2).

Камеры данных машин соединяются в последовательные блоки по три-четыре штуки. Обычно во флотомашине устанавливаются последовательно два таких блока. Пульпа питания подается с одной стороны флотомшины в первую камеру и в процессе флотации проходит последовательно через все камеры, с разгрузкой хвостов флотации в последней камере. Разгрузка осуществляется пробковым устройством, открытие которого регулируется датчиком уровня пульпы в камерах флотомшины. Такие флотомшины обычно применяются для обогащения угольного шлама крупностью 0-0,5 мм.

Наиболее известные камерные механические флотомшины, применяющиеся в России, это флотомшины марок МФУ, Wetco и, с 2008 г., шестикамерные флотомашины SETCO с объемом камер 14 и 16 м³.

Благодаря продуманной конструкции, высококачественным конструкционным материалам и антикоррозионной обработке механические флотационные машины обладают высокой эффективностью и надежностью в работе. Значительным преимуществом их конструкции является отсутствие необходимости отключения всей машины при остановке одной из камер, например для замены привода. При остановке механизма уровень осадка будет ниже положения ротора, то есть ротор будет находиться в жидкой фазе, что дает возможность повторного пуска без освобождения камеры. Преимущества механических машин SETCO являются прямоугольная форма камер и наличие пеногонов, что позволяет эффективно разгружать пену.

Компания «Коралайна Инжиниринг» осуществляет поставку комплектного флотационного отделения, включающего проектирование, собственно флотационные машины, отделение дозирования реагентов и систему автоматического



Рис. 1. Камерные механические флотомшины SETCO на новой фабрике в Кузбассе



Рис. 2. Внутренний вид камеры механической флотомашины

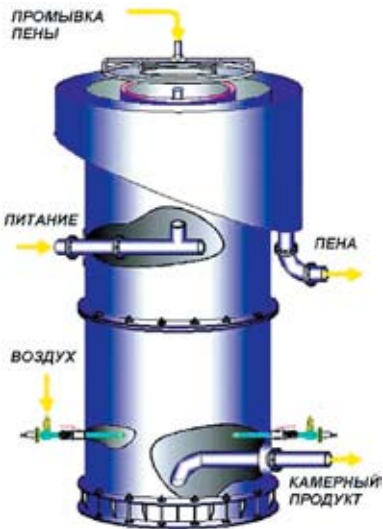


Рис. 3. Схема конструкции колонной флотомашины



Рис. 4. Вид колонной флотомашины

дистанционного контроля и управления работой флотационного отделения с включением в АСУ ТП фабрики. Механические флотационные машины СЕТСО установлены на новых углеобогачительных фабриках «Бачатская-Коксовая» (2008 г.) и «Краснобродская-Коксовая» (2011 г.), а также на реконструированной фабрике «Печорская» (2010 г., 2012 г.).

В США и Австралии одной из наиболее распространенных систем флотации угольных шламов является колонная флотация. При правильной конструкции и эксплуатации флотационная колонна обеспечивает высокое извлечение горючей массы в пенный продукт при низкой зольности концентрата.

Наибольшее распространение в мире получили колонные флотомашины «CoalPro» компании СРТ (Канада) (рис. 3, 4).

За последние десять лет было установлено около семидесяти флотоколонн в Северной Америке, Австралии, России и Украине.

Флотационные колонны на угольное применение имеют диаметр от 3 до 4,2 м и высоту до 8 м. Большинство установленных на фабриках флотоколонн используются для флотации угля крупностью 0-150 мкм. Однако, как показала практика, предпочтительнее применять флотоколонны на предварительно дешламированном материале крупностью 40-150 мкм.

Как размеры каждой колонны, так и требуемая система аэрации зависят от многих факторов и подбираются индивидуально для каждого применения.

В отличие от механических камерных флотомашин, исходная пульпа поступает в колонну и распределяется по ее сечению более равномерно. Пульпа движется вниз в противотоке восходящему потоку пузырьков, генерируемых специальными диспергаторами SlamJet, расположенными в нижней части колонны (рис. 5). Работа диспергатора с насадкой SlamJet показана на рис. 6. Частицы сталкиваются с пузырьками, соединяются с ними и выносятся вверх в концентратный желоб. Не взаимодействующие с пузырьками частицы оседают на дно и попадают в хвосты. Уровень пенного слоя поддерживается автоматически регулируемой пережимной задвижкой для разгрузки хвостов (рис. 7).

Другим преимуществом флотационных колонн, способствующим снижению зольности концентрата, является возможность подачи в верхней части колонны промывочной воды, которая равномерно распределяется по поверхности пенного продукта (рис. 8), вымывая из пены высокозольные глинистые частицы и улучшая ее разгрузку самотеком в желоб концентрата.

Для максимального увеличения площади поверхности генерируемых пузырьков компания СРТ разработала промышленную систему аэрации флотационной пульпы CavTube, основанную на явлении гидродинамической кавитации. Сущность этого процесса заключается в возникновении и росте газовых пузырьков в жидкости за счет разрывов на границе разделов фаз жидкость-жидкость или жидкость-твердое, образующихся под действием внешних сил. Это происходит в момент, когда давление в отдельно взятой точке жидкости становится



Рис. 5. Пример расположения диспергаторов воздуха на флотоколонне диаметром 4,2 м



Рис. 6. Работа кавитационной насадки SlamJet



Рис. 7. Автоматическая пережимная задвижка на трубе разгрузки хвостов из флотоколонны



Рис. 8. Промышленная флотационная колонна CoalPro с системой промывки пены

ниже давления насыщенного пара этой жидкости за счет высоких локальных скоростей в потоке жидкости.

Исследования, проведенные еще в 1970-х гг., показывают, что кавитация зависит от содержания в пульпе растворенного в жидкости воздуха. При этом добавление в процесс пенообразователя способствует образованию более мелких пузырьков и увеличению их количества за счет стабилизации процесса кавитации и предотвращения коалесценции пузырьков. Пузырьки сверхмалого размера, образуемые при кавитации, получили название «пикопузырьков».

Вероятность взаимодействия пикопузырьков с частицами выше, нежели у пузырьков большого размера, в связи с тем, что пикопузырьки обладают более низкими скоростями всплытия и отскока от поверхности частицы, а также более высокой свободной поверхностной энергией. Наиболее эффективное взаимодействие пузырьков с частицами и достижение более высокой скорости флотации наблюдаются при совместном взаимодействии пикопузырьков с пузырьками больших размеров. Кроме того, Классен и Мокроусов показали, что комбинированная флотация с насыщением пульпы крошечными пузырьками и обычными пузырьками, созданными механическим способом, позволяет достигать более высокого извлечения полезного компонента, чем флотация с каждым из этих типов пузырьков в отдельности. Происходит это из-за того, что пикопузырьки на поверхности частицы способствуют закреплению больших пузырьков (рис. 9) и выносу флотируемых частиц в пенный продукт.

Пикопузырьки во флотационном процессе играют роль вторичного собирателя, снижая тем самым требуемый расход реагента-собирателя, увеличивая вероятность закрепления частиц и снижая вероятность их отрыва от пузырька. Все это обеспечивает существенное увеличение извлечения сверхтонких и крупных плохо флотирующихся частиц, а также снижение расхода реагентов, стоимость которых зачастую является основной статьей эксплуатационных расходов на флотацию. Например,

Рис. 9. Закрепление пикопузырьков на флотируемой частице



применение этой технологии флотации на одной из углеобогащительных фабрик Австралии привело к увеличению выхода концентрата флотации на 15%, снижению расхода пенообразователя на 10%, снижению расхода собирателя на 50%.

На рис. 10 приведена схема обвязки и автоматизации флотоколонны по технологии CavTube.

Обычно по этой технологии происходит рециркуляционный возврат части хвостов во флотоколонну с насыщением их пикопузырьками воздуха. В результате чего угольные

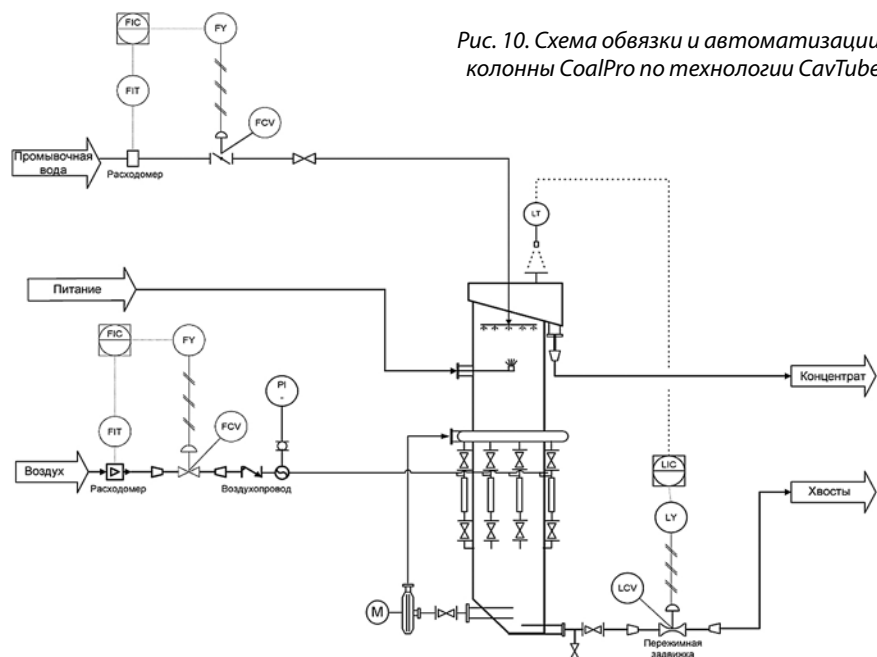


Рис. 10. Схема обвязки и автоматизации колонны CoalPro по технологии CavTube

микрочастицы размером 0-40 мкм извлекаются в пенный продукт, способствуя тем самым увеличению извлечения горючей массы в концентрат.

Однако, несмотря на все преимущества, технология CavTube требует дополнительных затрат на ее установку на существующие флотоколонны при их модернизации, а также увеличивает эксплуатационные затраты на электроэнергию, необходимую для подачи части хвостов обратно во флотомашину. Наличие дополнительных затрат на модернизацию и большие габариты по высоте флотоколонн предполагают проведения поисков и разработки новых конструкций флотомашин, которые могли бы обеспечить высокую производительность и были бы лишены недостатков колонной флотации.

В конструкции новой флотомашин должны быть решены следующие задачи:

- улучшен контакт пузырька и частицы;
- обеспечены меньшие габариты корпуса и снижена масса машины;
- упрощены транспортировка и монтаж машины;
- компрессор высокого давления заменен на воздуходувку низкого давления;
- снижен расход электроэнергии;
- обеспечена простота обслуживания.

Итогом проводимых в последние пять лет исследований компанией Eriez и СРТ явилась разработка технологии флотации на базе новой флотомашин, получившей название «StackCell» (рис. 11-13).

В новой флотомашине StackCell™ обеспечивается эффективный подвод энергии, используемой для генерации пузырьков и интенсивного контакта с частицами.

Благодаря более интенсивной агитации пульпы время флотации значительно уменьшается и составляет секунды, а не минуты, как в колонной

флотомашине. В новой машине обеспечивается высокая интенсивность турбулентности, так как в единицу объема вводится более высокая энергия, обеспечивается более высокое газонасыщение пульпы и, тем самым, увеличивается вероятность взаимодействия угольных частиц и пузырьков воздуха.

Проблему выноса глины в пенный продукт можно решить увеличением глубины пенного слоя и сокращением расхода реагентов. Однако это может несколько снизить извлечение угля. Наиболее рациональный способ уменьшения выноса глины в концентрат — это применение промывочной воды, подаваемой на пенный слой.

Новая технология флотации StackCell прошла промышленные испытания и уже применяется на обогатительных фабриках США. Использование высокоэффективного контактора в питании флотомашин позволяет сократить время флотации и уменьшить высоту флотационного отделения.

Небольшие размеры и масса, а также низкая стоимость новых флотомашин делают их применение идеальным при реконструкции действующих обогатительных фабрик. Так, в настоящее время планируется реконструкция ОФ «Антоновская» (Кузбасс), где мы предлагаем установку двух флотомашин StackCell, которые отлично вписываются в стесненные условия главного корпуса фабрики без дополнительного строительства и обеспечивают стабильную и эффективную работу на разбавленных флотационных пульпах (~ 50 г/л).

В табл. 1 приведены данные по показателям работы различных описанных выше флотационных систем, сравнивая которые можно подобрать наиболее подходящую к конкретным производственным условиям.

Другие преимущества новой технологии включают низкое давление воздуха и более низкие капитальные и эксплуатационные затраты.



Рис. 11. Вид флотомашин StackCell

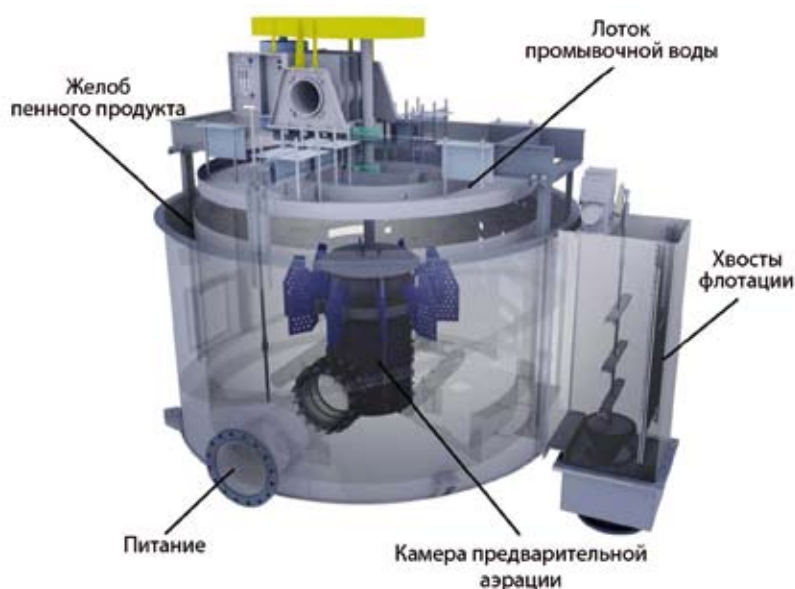


Рис. 12. Внутренняя структура флотомашин StackCell



Рис. 13. Фото флотомашин StackCell на действующей обогатительной фабрике в США

Таблица 1

Сравнение показателей различных современных систем флотации угля

Характеристики	SlamJet	CavTube	StackCell	CavTube + StackCell
Размер машины, м (диаметр × высота)	4,2×8,6	4,2×8,6	3,0×2,8	4,2×8,6 + 3,0×2,8
Количество камер	4	4	4	4 (2СТ+2SC)
Рециркуляционный насос	-	+	-	+ (2 шт.)
Воздухонагнетатель	Компрессор	Компрессор	Воздуходувка	Компрессор (СТ) + Воздуходувка (SC)
Общая мощность, кВт	600	1200	400	800
Капитальные затраты, млн дол. США	1,3	1,5	1,2	1,35
Достоинства	Наименьшая стоимость и эксплуатационные затраты	Наиболее интенсивный процесс, лучшее извлечение горючей массы из класса 0-0,04 мм	Интенсивный процесс и низкие затраты на установку. Оптимальны для реконструкций фабрик.	Наиболее сбалансированный процесс, обеспечивающий высокое извлечение
Недостатки	Низкая эффективность флотации класса 0-0,04 мм	Дополнительный насос на рециркуляцию хвостов и увеличение электрической мощности	Необходима последовательная установка нескольких штук StackCell	—

Таблица 2

Сравнение показателей системы StackCell со схемой колонной флотации

Показатели	StackCell	CavTube
Количество камер	3	2
Диаметр камеры, м	3,0	4,2
Высота камеры, м	2,0	8,0
Занимаемая площадь, м ²	3,7×10,7	8,5×10,7
Система аэрации, кВт	53 (воздуходувка)	300 (компрессор)
Система диспергации воды, кВт	46 (агитатор)	300 (рециркуляционный насос)
Общая установленная мощность, кВт	100	600

В табл. 2 приведены показатели работы схем с технологией StackCell и колонной флотации при нагрузке по пульпе 750 м³/ч и по твердому 41 т/ч при крупности твердого 0-150 мкм. Эффективность извлечения — 90%.

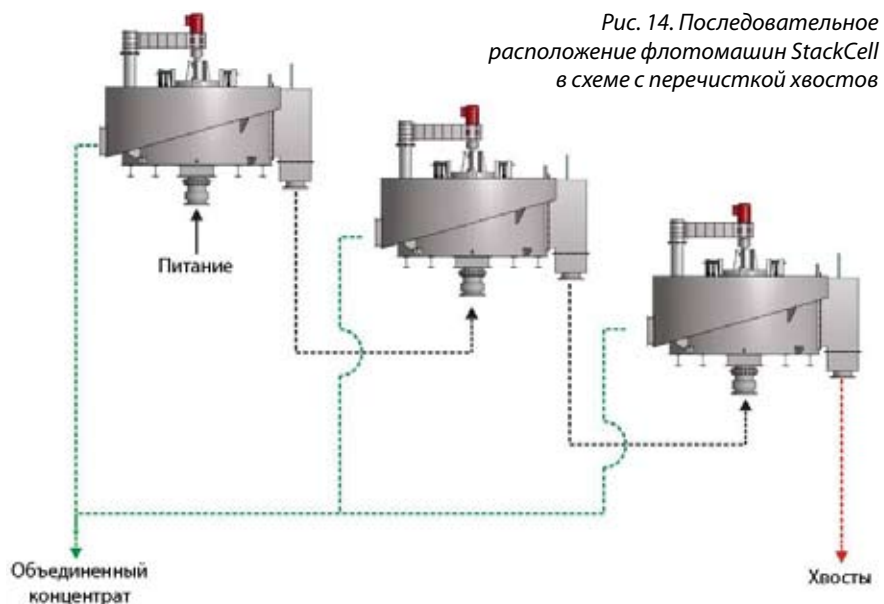
Экономические расчеты по модернизации существующих флотоотделений на углеобогащительных фабриках, предполагающих установку флотомашин StackCell дополнительно к существующим или замену изношенных флотомашин на пакет из трех машин StackCell (рис. 14), указывают на быструю окупаемость затрат (2-3 мес. эксплуатации).

Особенно экономический эффект будет заметен при флотации разбавленных угольных пульп, когда применение других схем флотации не обеспечивает требуемой эффективности процесса.

Список литературы

1. Peter J. Bethell. Froth Flotation — To Deslime or not to Deslime. CPSA Journal — Volume 3, №1. 2004. USA.
2. J. N. Kohmuench, M. J. Mankosa. An Update on the Role of Column Flotation in the Coal Industry. CPSA Journal — Volume 5, №1. 2006. USA.
3. J. N. Kohmuench, M. J. Mankosa, E. S. Yan. Evaluation of the StackCell Technology for Coal Applications. XVI International coal preparation congress — 2010. Edited by R. Q. Honaker. Lexington, Kentucky, USA. pp. 374-381.

Рис. 14. Последовательное расположение флотомашин StackCell в схеме с перечисткой хвостов



Canadian Process Technologies Inc. (CPT)
 Unit 1 — 7168 Honeyman Street, Delta,
 BC Canada V4G 1G1
 Веб-сайт: www.cpti.bc.ca

Представитель CPT в России —
ООО «Коралайна Инжиниринг»
 105005 Москва, Посланников пер., 5, стр. 1
 Тел.: +7 (495) 232-1002, факс: +7 (495) 232-1003
 e-mail: info@cetco.ru Веб-сайт: www.cetco.ru