

УДК:622.7:658.512; 622.765.45; 622.7.061.3

Развитие флотационных технологий для обогащения угольного шлама

Рассмотрены флотационные технологии, применяемые на современных углеобогачительных фабриках. Отмечены преимущества и недостатки камерных механических флотомашин, пневматических флотоколонн с аэрационными системами типа SlamJet и последними разработками типа CavTube. 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: ITB@cetco.ru

В углеобогачительной 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 его потери с отходами. Поэтому совершенствование флотационных технологий применительно к тонким угольным шламам, особенно коксующихся марок, – важная задача для углеобогащения.

Наиболее известными и распространенными аппаратами для флотации угля являются камерные механические флотомашин (рис. 1, 2). Камеры этих машин соединяют по три-четыре в последовательные блоки. Обычно последовательно устанавливают два таких блока. Пульпу питания подают с одной стороны флотомашин в первую камеру, в процессе флотации пульпа проходит через все камеры с разгрузкой

хвостов флотации в последней. Разгрузка осуществляется пробковым устройством, открытие которого регулируется датчиком уровня пульпы в камерах. Такие флотомашин обычно применяют для обогащения угольного шлама крупностью 0–0,5 мм. В Украине наиболее известны камерные механические флотомашин марки МФУ, в России используются флотомашин Wemco и с 2008 г. – шестикамерные флотомашин SETCO с камерами объемом 14 и 16 м³.

Благодаря удачной конструкции, высококачественным конструкционным материалам и антикоррозионной обработке механические флотомашин высоко эффективны и надежны. Преимущество их конструкции – отсутствие необходимости отключения всей машин при остановке одной из камер, например для замены привода. При отключении механизма уровень осадка находится ниже положения ротора, т. е. ротор будет в жидкой фазе,



В. А. КОЗЛОВ,
инж.
(ООО «Коралайна
Инжиниринг» SETCO)



М. Ф. ПИКАЛОВ,
инж.
(ООО «Коралайна
Инжиниринг» SETCO)



А. Е. КИЯНЕНКО,
инж.

в результате чего возможен повторный пуск без освобождения камеры. Другое преимущество механических флотомашин – прямоугольная форма камер и наличие пеногонов, что позволяет эффективно разгружать пену.

Компания ООО «Инновационные технологии углеобог-



Рис. 1. Камерные механические флотомшины SETCO на одной из новых фабрик в Кузбассе.



Рис. 2. Внутренний вид камеры механической флотомшины SETCO.

щения» осуществляет поставку комплектного флотационного отделения, включающего отделение проектирования, собственно флотационные машины, отделение дозирования реагентов и систему автоматического дистанционного кон-

троля и управления работой флотационного отделения с включением в АСУ ТП фабрики. В России механические флотационные машины SETCO установлены на новых углеобогащительных фабриках «Бачатская-Коксовая» (2008 г.) и «Краснобродская-Коксовая» (2011 г.), а также на реконструированной фабрике «Печорская» (2010, 2012 гг.).

В США и Австралии наиболее распространена колонная флотации угольных шламов. При пра-

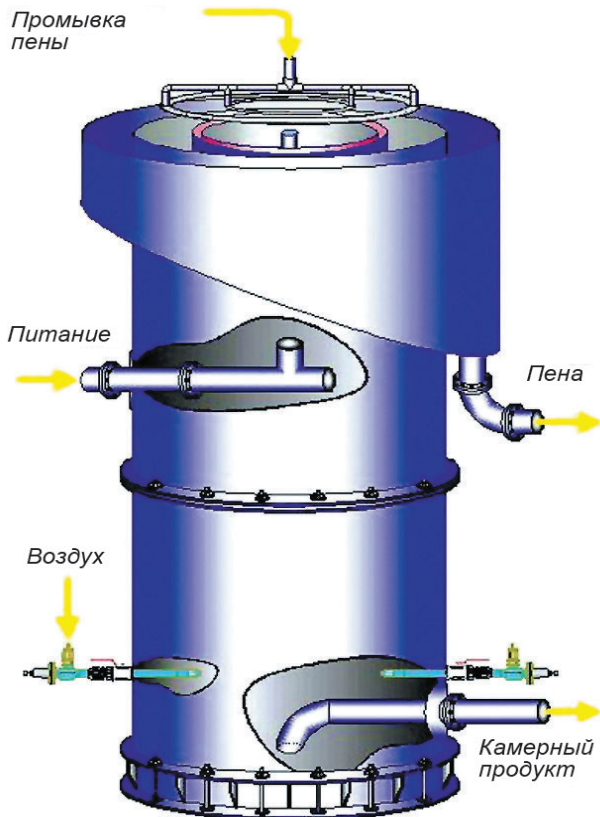


Рис. 3. Схема конструкции колонной флотомшины.

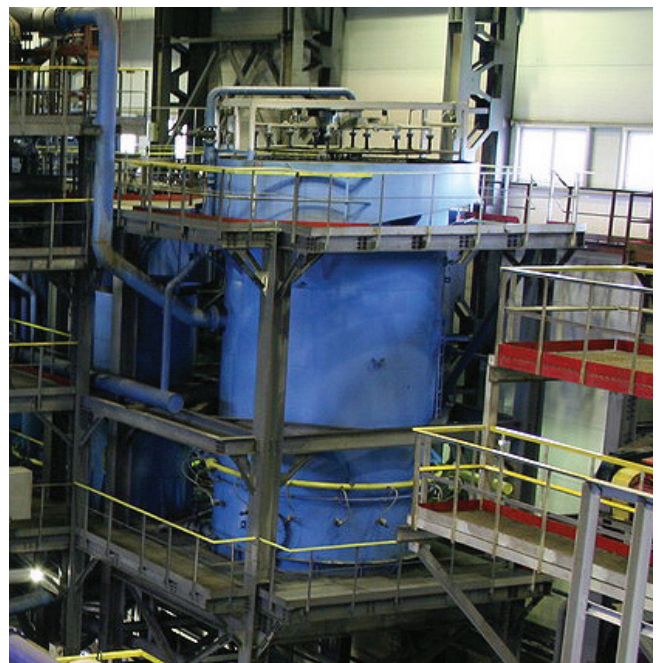


Рис. 4. Колонная флотомшина.



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

вильной конструкции и эксплуатации флотационная колонна обеспечивает высокое извлечение горючей массы в пенный продукт при низкой зольности концентрата. За последние 10 лет в Северной Америке, Австралии, России и Украине (ОФ «Свято-Варваринская» – 8 шт.) установлено около 70 колонных флотомашин CoalPro компании СРТ (Канада) (рис. 3, 4).

Флотоколонны диаметром от 3 до 4,2 м и высотой до 8 м установлены на фабриках для фло-



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

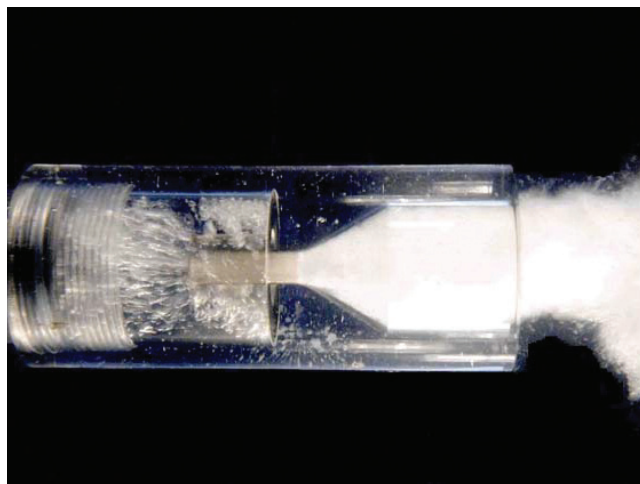


Рис. 6. Работа кавитационной насадки SlamJet.

тации угля крупностью 0–150 мкм. Однако, как показала практика, предпочтительнее применять флотоколонны на предварительно дешламириванном материале крупностью 40–150 мкм. Размеры колонн и требуемая система аэрации зависят от множества факторов и подбираются индивидуально для каждого применения.

В отличие от механических камерных флотомашин исходная пульпа поступает в колонну и распределяется по площади ее сечения более

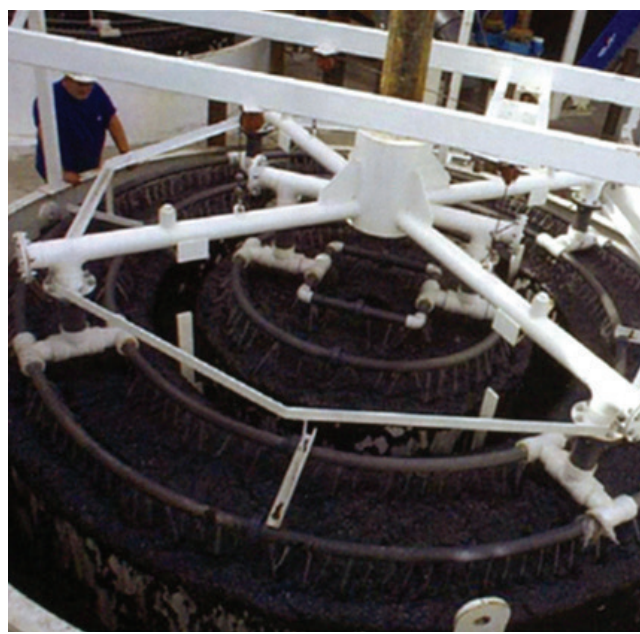


Рис. 8. Промышленная флотоколонна CoalPro с системой промывки пены.

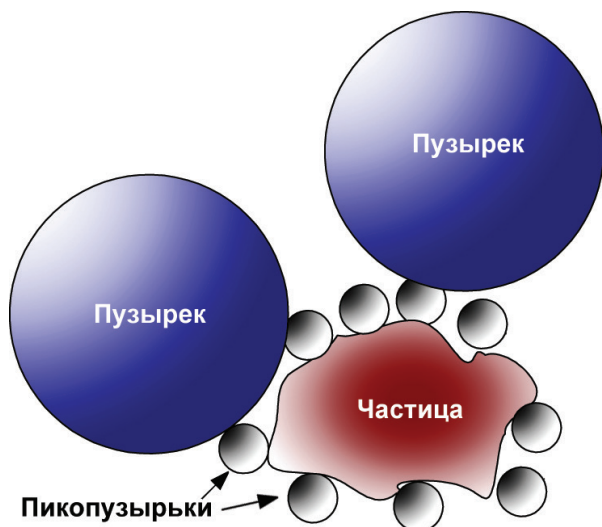


Рис. 9. Закрепление пикопузырьков на флотируемой частице.

равномерно. Пульпа движется вниз в противотоке восходящему потоку пузырьков, генерируемых специальными диспергаторами системы 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 наверх в концентратный желоб. Невзаимодействующие с пузырьками частицы оседают на дно и попадают в хвосты. Уровень пенного слоя автоматически поддерживается регулируемой пережимной задвижкой для разгрузки хвостов (рис. 7).

Другим преимуществом флотоколонн, 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 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 тот момент, когда давление в отдельно взятой точке жидкости становится ниже давления насыщенного пара этой жидкости за счет высоких локальных скоростей в ее потоке.

Исследования, проведенные в 1970-х годах, показали, что кавитация зависит от содержания в пульпе воздуха, растворенного в жидкости. При этом добавление в процесс кавитации пенообразователя способствует образованию более мелких пузырьков и увеличению их количества за счет стабилизации этого процесса и предотвращения коалесценции пузырьков. Очень маленькие пузырьки, образуемые при кавитации, называются пикопузырьками.

В связи с тем что пикопузырьки обладают более низкими скоростями всплытия и отскока от поверхности частицы, а также более высокой

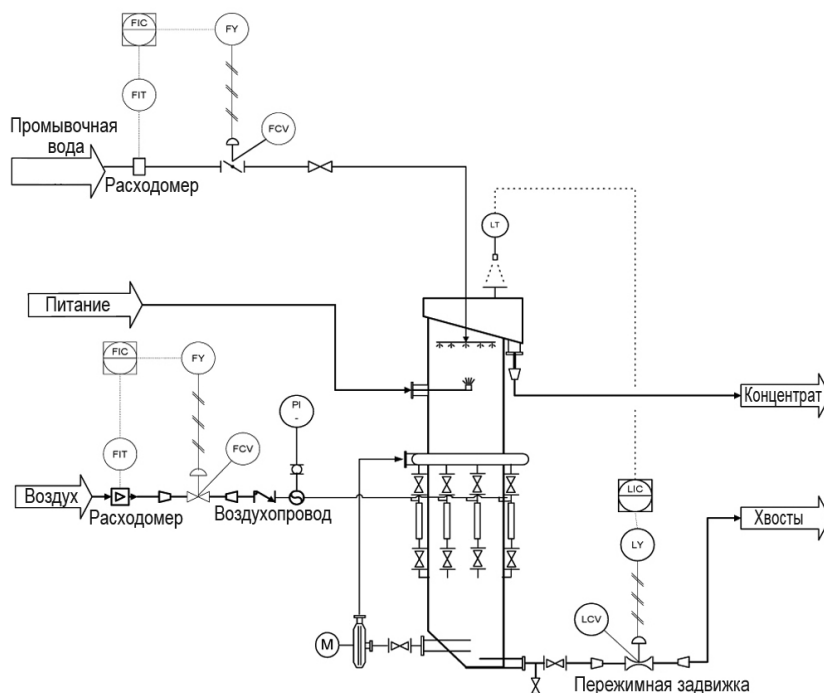


Рис. 10. Схема обвязки и автоматизации колонны CoalPro по технологии CavTube.

свободной поверхностной энергией, вероятность их взаимодействия с частицами выше, чем у пузырьков большого размера. Наиболее эффективное взаимодействие пузырьков с частицами и достижение более высокой скорости флотации наблюдается при совместном взаимодействии пикопузырьков с пузырьками больших размеров. Кроме того, В. И. Классен и В. А. Мокроусов в своих опытах показали, что комбинированная флотация с насыщением пульпы крошечными пузырьками и обычными, 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.

Во флотационном процессе пикопузырьки играют роль вторичного собирателя, снижая требуемый расход реагента-собирателя, увеличивая вероятность закрепления частиц и снижая вероятность их отрыва от пузырька. Все это способствует существенному увеличению извлечения

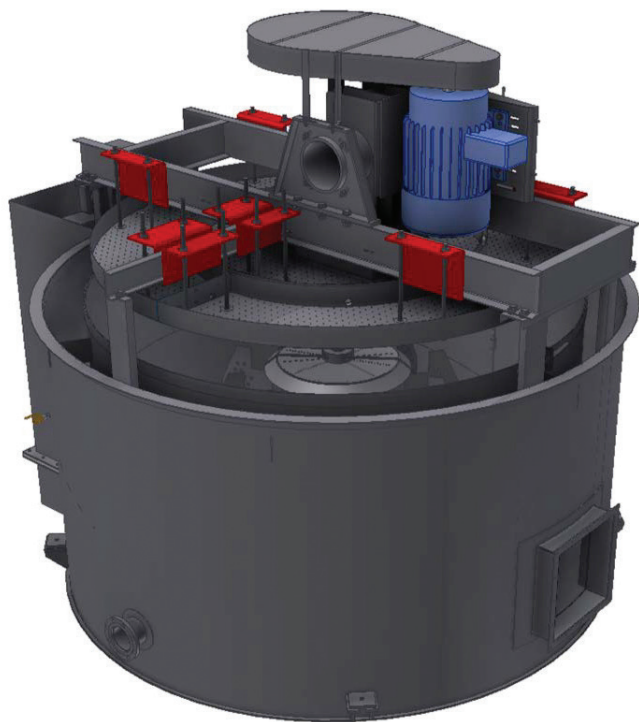


Рис. 11. Флотомашина StackCell.

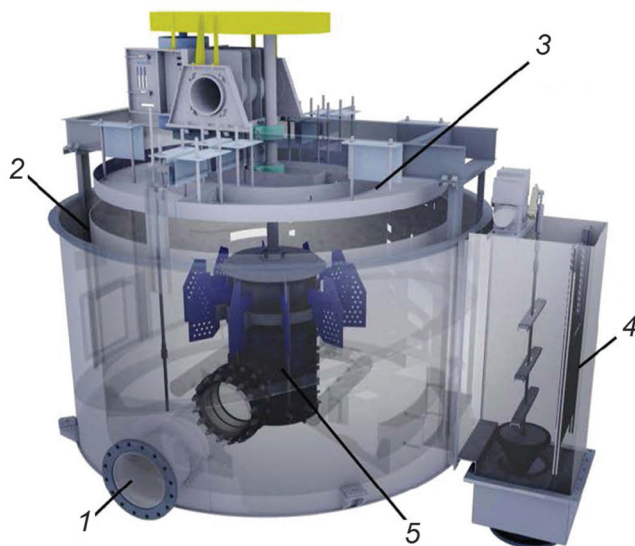


Рис. 12. Флотомашина StackCell: 1 – желоб пенного продукта; 2 – лоток промывочной воды; 3 – хвосты флотации; 4 – камера предварительной аэрации; 5 – питание.

сверхтонких и крупных плохо флотирующихся частиц, а также снижению расхода реагентов, стоимость которых нередко – основная статья эксплуатационных расходов на флотацию. Например, 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 угольные микрочастицы размером 0–40 мкм извлекаются в пенный продукт, способствуя 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. Дополнительные затраты на модернизацию и большие габариты по высоте флотоколонн предполагают разработку но-



Рис. 13. Флотомашина StackCell на действующей обогатительной фабрике в США.

вых конструкций флотомашин, которые могли бы обеспечить высокую производительность и были бы лишены недостатков колонной флотации.

В конструкции новой флотомашины должны быть решены следующие задачи:

- улучшен контакт пузырьков и частиц;
- обеспечены меньшие габариты корпуса и снижена масса машины;
- упрощены транспортирование и монтаж машины;
- компрессор высокого давления заменен на воздуходувку низкого давления;

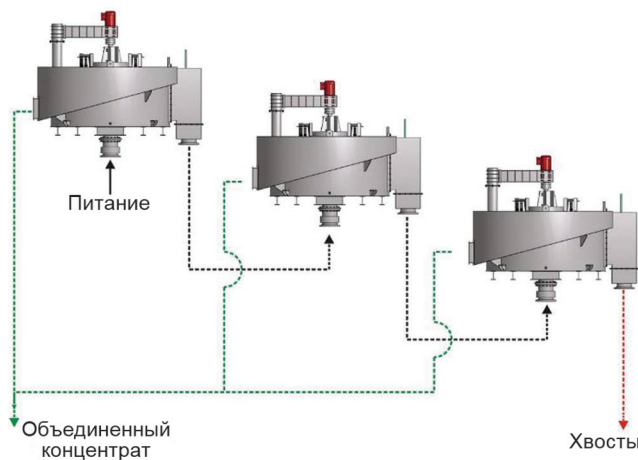


Рис. 14. Последовательное расположение флотомашин StackCell в схеме с перемывкой хвостов.

- снижен расход электроэнергии;
- обеспечена простота обслуживания.

Итогом проводимых за последние 5 лет исследований компаниями Eriez и СРТ явилась разработка технологии флотации на базе новой флотомашины StackCell (рис. 11–13), которая обеспечивает 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. Для новой машины характерны высокая интенсивность турбулентности, так как в единицу объема вводится более высокая энергия; более высокое газонасыщение пульпы и, в результате, увеличение вероятности 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 – применение промышленной воды, подаваемой на пенный слой.

Новая технология флотации StackCell прошла промышленные испытания и ее уже применяют на обогатительных фабриках США. Использование высокоэффективного контактора в питании флотомашины дает возможность 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 «Свято-Варваринская», где мы предлагаем установить четыре флотомашины StackCell (по две на секцию), которые хорошо вписываются в параметры главного корпуса фабрики без его расширения и дополнительного строительства, и обеспечивают стабильную и эффективную работу на существующих разбавленных флотационных пульпах (~ 100 г/л).

В табл. 1 приведены показатели работы описанных выше флотационных систем. Сравнивая их, можно подобрать наиболее подходящую к конкретным производственным условиям.

ОБОГАЩЕНИЕ И КАЧЕСТВО УГЛЯ

Таблица 1

| Показатели | Флотационные технологии | | | |
|--------------------------------------|---|--|--|--|
| | SlamJet | CavTube | StackCell | CavTube + StackCell |
| Размеры машины (диаметр × высота), м | 4,2×8,6 | 4,2×8,6 | 3×2,8 | 4,2×8,6 + 3×2,8 |
| Количество камер, шт. | 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 долл. США | 1,3 | 1,5 | 1,2 | 1,35 |
| Преимущества | 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 реконструкции фабрик | Наиболее сбалансированный процесс, обеспечивающий высокое извлечение |
| Недостатки | Низкая эффективность флотации класса 0–0,04 мм | Дополнительный насос на рециркуляцию хвостов и увеличение потребления электроэнергии | Необходимая последовательная установка нескольких машин StackCell | – |

Таблица 2

| Показатели | StackCell | CavTube |
|------------------------------------|-------------------|------------------------------|
| Количество камер, шт. | 3 | 2 |
| Диаметр камеры, м | 3 | 4,2 |
| Высота камеры, м | 2 | 8 |
| 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 |

Другие преимущества новой технологии StackCell – низкое давление воздуха и меньшие капитальные и эксплуатационные затраты.

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 углеобогательных 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.

ЛИТЕРАТУРА

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

Представитель СЕТСО в Украине:

ТОВ «Інноваційні Технології Вуглезбагачення»

Україна, 83087, г. Донецьк, ул. Солов'яненко, д. 115, оф. 35

Тел./факс: +38 (062) 34 34 394

E-mail: ITB@cetco.ru