

УДК 622.7; 622.794.252

В.А. Козлов, В.И. Новак

ОСАДИТЕЛЬНО-ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЦЕНТРИФУГИ «ДЕКАНТЕР» – ТЕХНИЧЕСКАЯ ОСНОВА ОБЕЗВОЖИВАНИЯ УГОЛЬНОГО ШЛАМА

Рассмотрено устройство осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер». Приведены их технические характеристики. Показано изменение влажности кека от содержания тонких шламов в питании центрифуги. Кратко описаны основные параметры, влияющие на работу центрифуг.

Ключевые слова: обезвоживание, угольный шлам, пульпа, центрифуга, осадительная секция, фильтрующая секция, кек, фугат, влажность, зольность, концентрация твердого в пульпе.

В процессах обезвоживания на обогатительных фабриках с мокрыми процессами обогащения требуется удалить избыток влаги из чистых угольных продуктов. Для крупных частиц используются простые системы грохочения, в то время как для мелких и тонких частиц требуется более сложное оборудование, такое как центрифуги и фильтры. Избыток влаги, превышающий допустимые пределы, в товарных продуктах создает проблемы при разгрузке транспортных средств из-за смерзания угля в зимнее время года и приводит к увеличению транспортных затрат на перевозку лишней воды. Поэтому влагу, которую не удаляется удалить механическими процессами, удаляется испарением при нагревании объема угля, что требует значительных капитальных затрат при строительстве сушильно-топочного отделения и последующих эксплуатационных затрат на сушку угля.

Однако существует оборудование, которое позволяет в большинстве случаев отказаться от строительства сушильно-топочных отделений на новых фабриках, это осадительно-

фильтрующие центрифуги «Декантер», которые в настоящее время являются наиболее применяемым оборудованием для обезвоживания тонкого угля в США, Австралии и в России. Широкое использование этой центрифуги в большей степени обусловлено надежностью в работе и способностью получать более низкую влажность продукта (кека) по сравнению с конкурирующим оборудованием, таким как гипербарфильтры и дисковые вакуум-фильтры. На рис. 1 показана фотография центрифуг «Декантер», установленных на ОФ «Антоновская». Применение этих центрифуг позволило уже на стадии проекта этой обогатительной фабрики впервые в России в 2000 году отказаться от термической сушки угля.

При крупности в питании 0-2 мм центрифуга может обеспечивать производительность до 90 т/ч по твердому и 180 м³/ч по исходной пульпе. При этом влажность кека будет в пределах 8-14% в зависимости от гранулометрической характеристики шлама и степени метаморфизма угля.

Осадительно-фильтрующие центрифуги имеют большое преимущество

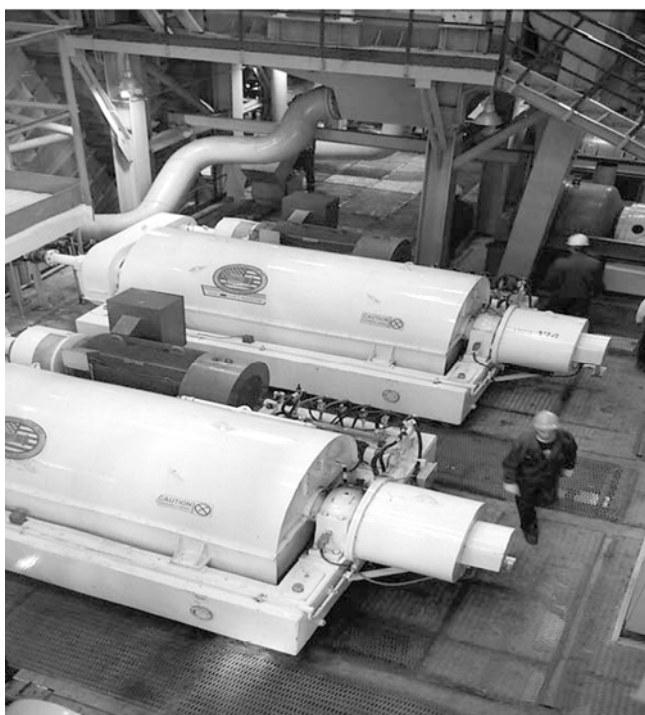


Рис. 1. Фотография осадительно-фильтрующих центрифуг «Декантер» на ОФ «Антоновская» (Новокузнецк, Кемеровская обл.)

над конкурирующими процессами, такими как фильтры, они производят значительно ниже влажность продукта и могут удалять в фугат значительную часть ультратонких частиц (раз-

мером менее 0,044 мм), которые обычно имеет высокую зольность и влажность.

Осадительно-фильтрующая центрифуга в том виде, каким мы ее видим на фотографии, была впервые произведена для угольной промышленности в Германии в 1969 году компанией «Bird Machine Company» [1,2] и затем стала производиться компанией «Decanter Machine Inc.» в США. Схема центрифуги, разработанная компанией «Bird Machine Company» приведена на рис. 2.

Осадительно-фильтрующая центрифуга является непрерывно действующей и имеет две последовательных стадии разделения твердого от жидкого исходной пульпы. Первая стадия включает центробежный отжим твердого в сплошном цилиндрическом роторе, вторая стадия включает центробежную фильтрацию на шелевом сите цилиндрической формы. Как показано на рис. 2,

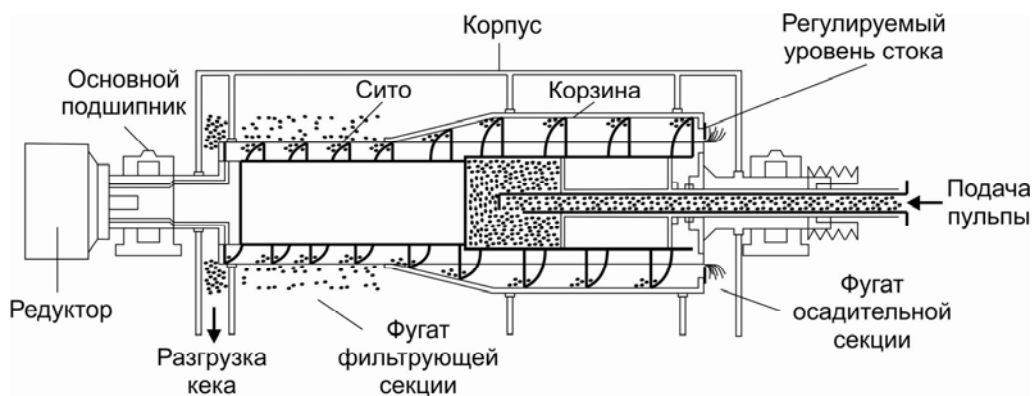


Рис. 2. Схема осадительно-фильтрующей центрифуги (от Bird Machine Company)

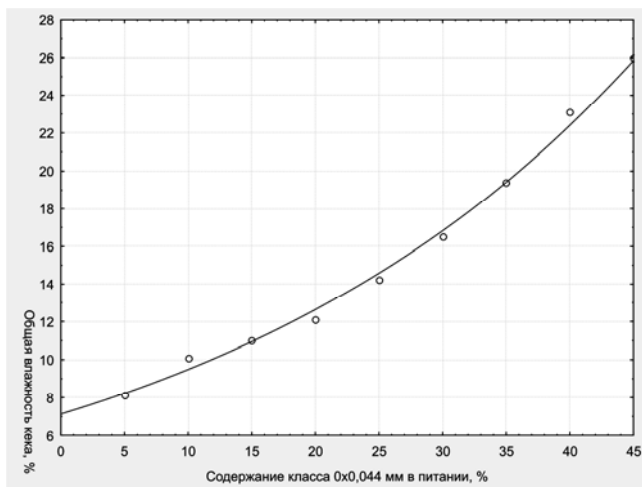


Рис. 3. Зависимость общей влажности кека от содержания ультратонкого класса 0x0,044 мм в питании центрифуги (уголь марки «К»)

пульпа через конец стационарно установленной трубы питания. Пульпе придается вращательная скорость в разгонной камере, и она распределяется через питающий порт в осадительную часть ротора. Твердые частицы из пульпы осаждаются на сплошной стенке ротора благодаря большой центробежной силе. Это осадительное действие является первой стадией обезвоживания в центрифуге. Отжатая вода к оси вращения центрифуги образует бассейн осветленной жидкости, которая содержит небольшое количество ультратонких твердых частиц, сливается переливом через регулируемые перегородки, расположенные в торце ротора центрифуги со стороны ввода питающей трубы. Этот слив называется фугатом осадительной секции и обычно направляется в отходы из-за низкого содержания ультратонкого твердого (около 20 г/л) и его высокой зольности. Осадок, осажденный на стенку сплошного цилиндрического ротора, транспортируется спиральным шнеком, который вращается с немного

меньшей скоростью, чем ротор. Шнек перемешивает осажденное твердое из цилиндрической секции на пляж, который формируется на уменьшающейся в диаметре конусной части сплошного ротора, где осадок выходит выше зеркала жидкости бассейна, и далее транспортируется в цилиндрическую ситовую секцию меньшего диаметра. Здесь влага дополнительно удаляется из кека за счет центробежной фильтрации. Действие центробежной фильтрации является второй стадией обезвоживания в осадительно-фильтрующей центрифуге.

В большинстве случаев, материал, который дренировал через ситовую секцию (фугат фильтрующей секции) содержит ценный низкозольный уголь и, поэтому, его возвращают обратно в питание на дополнительное извлечение.

Наиболее важные параметры пульпы, которые влияют на обезвоживающее действие осадительно-фильтрующей центрифуги [3, 4] это размер частиц, содержание твердого в пульпе питания и расход пульпы. Наиболее важные механические параметры центрифуги включают глубину бассейна, скорость вращения и передаточное число редуктора.

Конечная влажность продукта производимой осадительно-фильтрующей центрифугой зависит от количества ультратонких частиц в пульпе питания. Обычно количество ультратонкого материала определяется содержанием частиц класса 0x0,044 мм в общем количестве твердого в питании.

На рис. 3 показана типичная зависимость влажности кека осадительно-

Таблица 1

Гранулометрический состав продуктов осадительно-фильтрующей центрифуги

Класс, мм	Питание		Кек		Фильтрат		Извлечение твердого, %
	Выход, %	Зольн., %	Выход, %	Зольн., %	Выход, %	Зольн., %	
+ 1	6,5	6,7	7,3	6,5	0,2	7,4	99,7
0,15 x 1	51,0	4,2	57,3	4,2	0,5	4,3	99,9
0,44 x 0,15	16,9	6,7	18,6	6,7	4,0	6,9	97,3
0 x 0,044	25,6	23,2	16,8	18,4	95,3	29,9	58,3
Итого:	100,0	9,6	100,0	7,2	100,0	28,8	88,8

фильтрующей центрифуги от величины содержания класса минус 0,044 мм в питании. Согласно практическим данным для угля марки «К», для которого построен график, ожидаемая общая влажность может быть оценена использованием выражения экспоненциальной зависимости:

$$W = 7,124 \cdot \exp(0,0286 \cdot c), \% \quad (1)$$

где c – содержание класса 0x0,044 мм в пульпе питания, %.

Таким образом, если в питании содержится 15 % класса 0x0,044 мм, то влажность кека будет около 11 %. К сожалению, этот участок формирования питания центрифуги обычно не подконтролен оператору фабрики и, в конечном счете, определяет потенциальную влажность кека, которая может быть получена в данном конкретном применении.

Для защиты центрифуги от повреждения при возможном попадании крупных частиц угля или посторонних предметов применяются ограждающие устройства (например, 3/8-дюймовое сито) в линии питания.

Можно предположить, что осадительно-фильтрующие центрифуги производят низкую влажность кека в результате избирательной классификации и удаления ультратонких частиц в осадительной секции. Установлено, что осадительно-фильтрующие центрифуги сбрасывают около поло-

вины частиц класса минус 0,044 мм с главным потоком фугата в осадительной секции. Например, в табл. 1 приведена гранулометрическая характеристика осадительно-фильтрующей центрифуги для крупности менее 1 мм в питании в составе спирально-флотационной схемы. Влажность кека составила 14,4 %. Машина извлекает в кек 88,8 % из общего твердого питания. Однако, машина извлекает фактически 97 % всех частиц размером больше чем 0,044 мм. Уменьшение наблюдается только в ультратонких классах, когда только 58,3 % класса минус 0,044 мм было извлечено в кек. Это необходимый недостаток для осадительно-фильтрующей центрифуги [3]. Сброс ультратонких фракций относительно высокой зольности (29,9 %) уносит с собой до 50 % влаги из кека. Поэтому для энергетического угля зачастую лучше сбросить материал ультратонкого размера, что впоследствии не приведет к существенным потерям из-за экономической нецелесообразности его извлечения [5, 6].

Осадительно-фильтрующая центрифуга имеет ограничение по двум параметрам по сухому твердому и объемному потоку пульпы, который может быть подан в машину. В таблице-2 показаны рекомендуемые максимальные значения для различного типоразмера машин обычно применяе-

Таблица 2

Гранулометрический состав продуктов осадительно-фильтрующей центрифуги

Типоразмер центрифуги	Производительность по пульпе, м ³ /ч	Производительность по сухому твердому, т/ч		Потребляемая мощность, кВт
		Крупный шлам 0,1 x 1 мм*	Тонкий шлам 0 x 0,15 мм**	
36" x 72" (900 x 1800)	90	35–40	20–25	112
Повышенной производительности	90	40–50	25–30	186
36" x 96" (900 x 1800)	90	35–50	25–28	186
40" x 72" (1000 x 1800)	114	45–65	25–30	186
44" x 132" (1100 x 3300)	180	75–80	50–60	298
Повышенной производительности	200	80–100	60–65	373

* - содержание твердого в питании 35–50 %;

** - содержание твердого в питании 20–25 %

мых в угольной промышленности. Высокая нагрузка по твердому в питании (т/ч) может превысить максимум транспортной производительности шнека. Эта проблема может также ухудшить обезвоживание из-за чрезмерной толщины слоя в фильтрующей секции. Увеличение потока пульпы (м³/ч) уменьшает время ее нахождения в осадительной секции. Обычно, короткое время пребывания из-за чрезмерно высокого питания по объему пульпы увеличивает количество твердого в фугате, увеличивает размер частиц, попавших в фугат, и, соответственно, уменьшает эффективность процесса. Увеличение скорости потока может также увеличить глубину бассейна и в результате привести к большому объему фильтрата, который переливается через край пластин перегородки. Вследствие важности этого параметра, поток пульпы в питании осадительно-фильтрующих центрифуг не должен превышать максимально рекомендованной величины в м³/ч (табл. 2). Объем пульпы питания и нагрузка по твердому регулируются для каждой центрифуги в процессе

работы. Нагрузка для осадительно-фильтрующей центрифуги контролируется датчиком крутящего момента и по показаниям амперметра, который измеряет токовую нагрузку электродвигателя. Датчик крутящего момента используется для контроля нагрузки по твердому на шнековом механизме. Увеличение показаний крутящего момента показывает, что больше твердого материала поступает на вход машины. С другой стороны токовая нагрузка на механизме привода показывает превышение нагрузки производимой вращающимся механизмом. Повышенное значение тока обусловлено большим объемом питания, поступающим в машину, хотя забивание разгрузочных воронок может также увеличивать токовую нагрузку. В случае превышения нагрузки, необходимо производить сброс питания в байпасную линию.

Управление центрифугами производится по показаниям влажности кека, содержанию твердого в главном потоке фугата осадительной секции и дренажу фильтрующей секции. Эти значения могут быть сверены с пре-

дыдушими данными собранными ранее и, в результате, можно определять любые проблемы происходящие с машиной. Увеличение показаний этих параметров говорит о том, что центрифуга может быть затоплена. В некоторых случаях, увеличение содержания твердого в главном потоке фугата показывает, что разгрузочная воронка забила шламом. Рекомендуется иногда добавлять небольшое количество воды к дренажу сита фильтрующей секции, чтобы предупредить забивку шламом. Увеличение концентрации твердого (или увеличение в размере частиц) в дренаже сита может показать, что фильтрующая секция была повреждена и нуждается в ремонте.

Необходимо отметить, что центробежная сила, создаваемая в центрифуге, определяет производительность и влажность кека. Для удобства, центробежная сила обычно представляется в единицах земного гравитационного ускорения отбрасывающей частицу от центрально осевой линии. Это ускорение может быть вычислено по формуле:

$$G = (\pi n / 30)^2 R / g \quad (2)$$

где n – скорость вращения ротора, об/мин; R – радиус ротора, м; g – ускорение свободного падения, м/с².

Таким образом, скорость вращения более важна в центробежной силе, чем радиус ротора, так как она имеет более высокую степень зависимости. Так, в угольной промышленности, большие декантирующие центрифуги производят действие более 600G, которое предполагает скорость вращения между 900 и 1000 об/мин в зависимости от размера машины.

Оба параметра и центробежная сила и время пребывания твердого в центрифуге имеют важное действие

на итоговую влажность продукта. Высокая скорость вращения обычно осаждает больше твердого и тянет меньше твердого в фильтрат, т.е. машина делает сброс более тонких по крупности частиц в соответствии с более высоким ускорением. Так как скорость вращения машины может изменять гранулометрическое распределение частиц в обезвоженном кеке, то можно влиять на произведенную влажность кека, если использовать привод с изменяемой скоростью. Однако, в большинстве исполнений для угля, скорость вращения обычно фиксируется при выборе двигателя и размера шкива.

При настройке центрифуги обязательно необходимо производить регулировку глубины бассейна. Уменьшение высоты перегородок в окнах стока фугата осадительной секции уменьшает глубину бассейна, и тем самым уменьшается время пребывания пульпы в роторе. Мелкий бассейн обычно увеличивает количество твердого в фугате и увеличивает крупность частиц в фугате. Увеличение длины пляжа, участка на котором кек выводится из бассейна, способствует уменьшению влажности кека и увеличению уровня крутящего момента. Не смотря на то, что глубина бассейна не может регулироваться без остановки центрифуги, это важный параметр, изменение которого нуждается в обязательной регулировке. Для максимального сброса фугата необходима небольшая глубина бассейна до 2-х дюймов и менее. Для максимального извлечения твердого, в осадительно-фильтрующие центрифугах иногда производят установку перегородки, которая увеличивает глубину бассейна до 3,5 дюйма для машины типоразмера 36'' x 72'' и до глубины 4,0-4,5 дюйма для типоразмера машины 44'' x 132''.

Редуктор, используемый для центрифуги, имеет две стадии планетарной передачи. Он закреплен на роторе центрифуги и вращается за счет скорости ротора. Отношение редуктора дает эффект различных скоростей между ротором, ведомым двигателем, и шнеком, ведомым через редуктор. Выпускаемые редукторы имеют отношение 40/1. Это значение, за которое шнек повернется 39 раз на каждые 40 оборотов ротора. Нижнее отношение редуктора обеспечивается высокой дифференциальной скоростью, которая находится как разница в скоростях вращения между внешним ротором и внутренним шнеком. Разница скоростей определяет скорость транспортирования твердого в центрифуге – более высокая дифференциальная скорость быстрее удаляет кек из центрифуги. Скорость транспортировки кека вдоль образующей корзины может вычисляться по формуле:

$$V = N_d \times P / 60, \text{ м/с} \quad (3)$$

где N_d – дифференциальная скорость, об/мин; P – шаг шнека, м.

Например, ротор вращается со скоростью 900 об/мин и шаг шнека составляет 0,12 м, тогда скорость перемещения будет равна 1,8 м/с. Дифференциальная скорость обычно фиксируется, она не изменяется и определяется скоростью вращения ротора. Высокая дифференциальная скорость обычно производит более влажный кек из-за малого времени пребывания на пляже и в ситовой секции, уменьшает содержание твердого в фугате из-за малого времени нахождения в роторе. Любое изменение отношения редуктора оказывает классифицирующее действие на гранулометрическое распределение частиц в продуктах центрифуги.

Осадительно-фильтрующие центрифуги характеризуются длительным

сроком службы и относительно низкими требованиями к техобслуживанию. Эти преимущества могут больше относиться на счет точного изготовления и использования высококачественных материалов. Все части машины, находящиеся в контакте с углем, футерованы керамикой и карбидом вольфрама.

С 1997 года центрифуги Декантер нашли широкое применение в углеобогащении России. В табл. 3 приведен перечень обогатительных фабрик, на которых компанией СЕТСО установлены эти центрифуги.

Сегодня компания «Decanter Machine, Inc.» силами ООО «Коралайна Инжиниринг» предлагает гарантийное и послегарантийное обслуживание и поставку запасных частей для этого оборудования. С целью ускорения ремонта в России построен специализированный завод «Элемент», расположенный в г. Электрогорске Московской области. На заводе производится послепродажное обслуживание и лицензионный капремонт центрифуг «Декантер», а с 2007 года действует программа обмена выработавших ресурс роторов на восстановленные или новые. В г. Мыски Кемеровской области организован обменный склад запасных частей и сервисный центр, позволяющий оперативно поставлять подменные ротора и запчасти для оборудования обогатительных фабрик Кузбасса.

Заключение

С тех пор как в 1960-х годах были произведены первые в мировой угольной промышленности осадительно-фильтрующие центрифуги, они становятся наиболее распространенными машинами для обезвоживания тонкого угля. За период с 1997 г. по 2011 г. СЕТСО установила на обогатительные фабрики России и Украины 40 единиц этого оборудования.

Таблица 3

Перечень мест установки компанией СЕТСО центрифуг «Декантер»

№ п/п	Наименование объекта	Производительность, млн.т/год	Кол-во центрифуг	Год установки	Продукт обезвоживания	Влажность продукта, %
1	ЦОФ «Кузбасская»	6,0	4	1997	Конц-т спиралей + флотоконцентрат	14,0
2	ОФ «Антоновская»	4,5	2	2001	Конц-т спиралей + пески ГЦ150	13,0
3	ЦОФ «Печорская»	7,0	6	2006	Конц-т спиралей + флотоконцентрат	13,6
4	ОФ «Распадская»	15,0	6	2006, 2008	Конц-т спиралей + пески ГЦ150	11,0
5	ЦОФ «Северная» (Кемеровская обл.)	3,0	4	2007	Конц-т спиралей + флотоконцентрат	13,0
6	ОФ «Красноарм.-Западная» (Украина)	12,0	6	2007	Конц-т спиралей	11,0
7	ОФ «Листвянская»	1,5	1	2007	Конц-т спиралей + пески ГЦ150	13,0
8	ОФ «Бачатская-Коксовая»	3,0	2	2008	Конц-т спиралей	10,0
9	ОФ «Инаглинская» (строительство отлож.)	3,0	2	2008	Конц-т спиралей + флотоконцентрат	-
10	ОФ «Северная» (г.Воркута)	3,0	1	2009	Конц-т спиралей	12,0
11	ОФ «Абашевская»	3,6	1	2009	Конц-т спиралей, шламы	13,0
12	ЦОФ «Щедрухинская»	2,0	1	2011	Конц-т спиралей + пески ГЦ150	12,0
13	ОФ «Краснобродская» (идет строительство)	3,0	2	2011	Конц-т спиралей + флотоконцентрат	-
14	ОФ «Черногорская» (идет строительство)	2,0	1	2011	Пески ГЦ350	-
15	ОФ «шахты им. Кирова» (идет строительство)	3,9	1	2011	Пески ГЦ150	-

Центрифуга «Декантер» заслужила хорошую репутацию в России благодаря высокой надежности, низкой влажности продукта, позволяющего отказаться от термической сушки

концентрата, и значительно меньшей себестоимостью обезвоживания шламов, по сравнению с такой конкурирующей технологией, как вакуумная фильтрация.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Parekh B.K. and Matoney J.P. "Mechanic Dewatering", Coal Preparation, 5th Edition, Chapter 8 (Leonard J.W.), Society for Mining, Metallurgy and Exploration, Inc. (SME), Littleton, Colorado, 1991, p.p. 499-580.
2. Gallagher E., Lewis J.E., Post J.J., Swanson A.R., Armstrong L.W. "Dewatering of Fine Coal by Screen-Bowl Centrifuges" / Proceeding 1st Australian Coal Preparation Conference, 1981, Newcastle, Australia, p.p. 135-154.
3. Hart G., Townsend P., Morgan G. and Firth B. "Improving Fine Coal Centrifuging – Stage 3" / Australian Coal Association Research Program, Project C9047, 2005.
4. Records A. and Sutherland K. "Decanter Centrifuge Handbook", 1st Ed., Elsevier Science Inc., New York, 2001, p.421.
5. Bethell P.J., 2004. "Froth Flotation – To Deslime or Not to Deslime?", CPSA Journal, Vol.3, No. 1, Spring 2004, p.p.12-15.
6. Bethell P.J. and Lutterell G.H. "Effect of Ultrafine Desliming on Coal Flotation Circuit" Proceedings, centenary of Flotation Symposium, Brisbane, Queensland, Australia, p.1063.
7. W. Schultz, R. Jahnig, R. Bratton, G. Luttrell // Papers of 25-th Annual International Coal Exhibition & Conference, Lexington, KY USA, 2008.

КОРОТКО ОБ АВТОРАХ

Козлов Вадим Анатольевич – к.т.н., доцент, главный технолог Угольного департамента ООО «Коралайна Инжиниринг» (СЕТСО)

Новак Вадим Игоревич – директор Угольного департамента (СЕТСО).



ДИССЕРТАЦИИ ТЕКУЩАЯ ИНФОРМАЦИЯ О ЗАЩИТАХ ДИССЕРТАЦИЙ ПО ГОРНОМУ ДЕЛУ И СМЕЖНЫМ ВОПРОСАМ

Автор	Название работы	Специальность	Ученая степень
САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ГОРНЫЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ Г.В. ПЛЕХАНОВА (ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ)			
МАЛЫШКИН Михаил Михайлович	Геоэкологическое обоснование размещения буровых шламов в насыпи площадок скважин	25.00.36	к.т.н.
РОГАЧКОВ Антон Владимирович	Обоснование способов обеспечения устойчивости подготовительных выработок в зонах повышенного горного давления при разра-	25.00.22	к.т.н.

	ботке сближенных пластов		
--	--------------------------	--	--