

А.Д. ПОЛУЛЯХ, д-р техн. наук
(Украина, Днепропетровск, ГП "Укрниуглеобогащение"),

Д.А. ПОЛУЛЯХ, канд. техн. наук
(Украина, Днепропетровск, Национальный горный университет)

ТЕХНИКО-ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПО ОБРАБОТКЕ ЖИДКИХ ОТХОДОВ ЦОФ "ПАВЛОГРАДСКАЯ"

Вывод илонакопителей действующих углеобогажительных фабрик из эксплуатации является в настоящее время актуальной технологической и экологической задачей.

Ее решение сводится в первую очередь к замыканию водно-шламовой схемы фабрики, предопределяющей получение транспортабельного осадка из жидких отходов и его складирование в породных отвалах. Особенно остро стоит эта задача перед ЦОФ "Павлоградская", которая через пару лет может стать вследствие заполнения илонакопителя.

В этой связи представляет интерес рассмотрение и анализ технологических и экономических аспектов решения задачи различными организациями.

В соответствии с техническим заданием на технологию по обработке жидких отходов углеобогащения до транспортабельного состояния, ее целью является:

- замыкание водно-шламовой схемы в пределах промплощадки фабрики;
- снижение содержания твердого в оборотной воде;
- приостановление заполнения действующего илонакопителя.

Технология должна обеспечивать получение осадка минимальной влажности и фильтрат максимальной чистоты, т.е. техническую воду с содержанием твердого менее 5 кг/м³.

Предлагаемая технология должна обеспечить устойчивую работу фабрики с нагрузкой не менее 460 т/ч по каждой секции и обеспечить переработку не менее 5,25 млн т рядового угля в год, при работе фабрики 360 дней в году, в две смены по 12 часов и 18 машинных часов в сутки. Внедрение технологии должно осуществляться в три этапа с обработкой 30, 60 и 90 т/ч отходов.

Характеристика отходов:

- производительность по твердому, т/ч 90;
- содержание твердого в пульпе, кг/м³ 100-130;
- зольность отходов, % 65-70.

Рассмотрение технологии обработки жидких отходов ЦОФ "Павлоградская", предлагаемые следующими организациями: фирма "Инжиниринг Доберсек ГмбХ", ПАО "АНА-ТЕМС", ООО "НТЦ "Экомаш", ГП "Укрниуглеобогащение", фирма "СЕТКО".

Екологія

Технологія фірми "Інжиніринг Доберсек ГмбХ". Пропонується два способи: спільне складування шламових відходів з породою важкосереднього збагачення і отсадки з застосуванням зв'язуючих і без них [1].

Згідно першому способу, шламові відходи углезбагачення зольністю 65-80% підлягають освітленню в радіальних сгустителях з отриманням сгущеного продукту з вмістом твердого на рівні 200-250 г/л, що вигідно з точки зору досягнення чистого сливу при помірному витраті флокулянта (30-40 г/т шламу). Слив радіального сгустителя має вміст твердого менше 10 г/л і поступає в оборот на основні технологічні потреби. На першому етапі обробки шламових відходів переслідують мету отримання чистого сливу, а на другому – більш щільного осаду, для чого застосовують гідроциклони невеликого діаметра.

В застосовуваних гідроциклонах отримуємо згущення до вмісту твердого, величина якого є оптимальною для наступного сухого складування шламових відходів. Необхідні для отримання такої суміші характеристики продуктів і витрати зв'язуючого наступні:

Вміст твердого в відходах флотації, г/л	650	700	750	800	850	900
Вологість породи, %	10,8	12,9	14,2	15,5	16,8	17,5
Витрати негашеної вапни, кг/т	100	60	50	30	25	20

Чим менше вміст твердого в згущених шламових відходах, тим більше витрати вапни. Рентабельним вважається витрати вапни не більше 150 кг/т, що вимагає ущільнення шламової суспензії до 500-550 г/л. В цьому випадку отримувана в сумішувачі гідромішурка з відходів флотації і відходів гравітаційного збагачення придатна для складування в плоскому отвалі при умові застосування як зв'язуючого речовини негашеної вапни або шлаку може мати вологість не більше 22-23% при опору зсуву 7-7,5 Па.

Інше технологічне рішення забезпечує отримання транспортувальної суміші відходів флотації з породою без зв'язуючого речовини при її вологості не більше 16-17% і опору зсуву на рівні 7-7,5 Па. Фактичне кількісне співвідношення відходів флотації і породи гравітаційного збагачення становить 1 : 4,6, при цьому вміст твердого в згущеному продукті і вологість породи повинні відповідати наступним значенням:

Вміст твердого в відходах флотації, г/л	750	800	850	900
Вологість породи, % не більше	6,1	7,6	8,7	10,6

Згущені до необхідної щільності шлами змішують з крупною і дрібною породою крупністю не більше 25 мм. Куски більше 25 мм підлягають дробленню. Слив сгустительних гідроциклонів направляється назад в сгуститель, створюючи малий циркуляційний контур, в межах якого має місце багаторазова циркуляція тонких шламов і поступовий їх перевод в

сгущенный продукт. При незначительном содержании твердого в сливе гидроциклонов возможна подача этого продукта в оборотный цикл. Во избежание попадания тонких илов в систему и, как следствие, повышения содержания твердого в оборотной воде, следует считаться с некоторым повышением расхода флокулянтов до 50 г/т, но эти затраты покрываются за счет экономии эксплуатационных затрат ввиду исключения из эксплуатации илонакопителя, а главное, что поддержание равновесной концентрации шлама в системе на предельно низком уровне обеспечивает высокую эффективность ее работы и сглаживает колебания количества шлама в питании узлов и аппаратов [2].

Применение вяжущего в данной технологии исключается за счет проявления скрытых вяжущих свойств высокозольных тонких илов, для чего сгущенный в радиальном сгустителе шлам подвергается обработке в гравитационном модуле с получением зернистого концентрата и отходов. Концентрат направляется на обезвоживание с последующей присадкой к мелкому концентрату. Высококонтрированные шламоды насосом поршневой группы перекачиваются в смеситель, где имеет место гомогенизация отвальной гидросмеси. Для снижения влажности породы отсадки и тяжелых сред предусмотрена горизонтальная фильтрующая центрифуга, осадок которой имеет влажность на уровне 7,5%. Фугат возвращается в зумпф гидроциклонной установки.

В табл. 1 приведены технико-экономические показатели технологии фирмы "Инжиниринг Доберсек ГмбХ".

Таблица 1

Показатели	Э т а п ы			
	I (30 т/ч)	II (60 т/ч)	III (90 т/ч)	Итого (90 т/ч)
1	2	3	4	5
Технология сухого складирования с применением связующего				
Влажность продуктов, %:				
осадка	650 г/л	650 г/л	650 г/л	650 г/л
породы	10,8	10,8	10,8	10,8
смеси	22-23	22-23	22-23	22-23
Расход связующих, кг/т:				
негашеной извести	100	100	100	100
цемента	50	50	50	50
Соотношение осадка к породе, кг/т	220	220	220	220
Содержание твердого в возвращаемой воде, г/л	>10	>10	>10	>10
Количество необходимых продуктов, тыс. т:				
осадка	48,6	97,2	145,8	145,8
породы	220,9	441,8	662,7	662,7
негашеной извести	4,86	9,72	14,58	14,58
цемента	2,43	4,86	7,29	7,29
Количество возвращаемого в оборот твердого, тыс. т	145,8	388,8	437,4	437,4
Цена связующих, грн/кг:				
негашеной извести	0,3	0,3	0,3	0,3
цемента марки 400	1,0	1,0	1,0	1,0

1	2	3	4	5
Ориентировочная стоимость оборудования, тыс. грн	2500	5000	7500	7500
Доставка, монтаж, эксплуатационные и прочие расходы, как 50% стоимости оборудования, тыс. грн	1250	2500	3750	3750
Итого затрат, тыс. грн	6180	12360	18540	18540
Технология сухого складирования без применения связующего				
Влажность продуктов, %:				
осадка	750 г/л	750 г/л	750 г/л	750 г/л
породы	6,1	6,1	6,1	6,1
смеси	16-17	16-17	16-17	16-17
Соотношение осадка к породе, кг/т	74	74	74	74
Количество необходимых продуктов, тыс. т:				
осадка	41,31	82,62	123,93	123,93
породы	558,24	1116,48	1674,72	1674,72
Количество дополнительного концентрата, тыс. т	7,29	14,58	21,87	21,87
Дробление породы до крупности менее, мм	25	25	25	25
Содержание твердого в возвращаемой воде, г/л	>10	>10	>10	>10
Ориентировочная стоимость оборудования, тыс. грн	6318	12636	18954	18954
Доставка монтаж, эксплуатационные расходы, как 50% стоимости оборудования, тыс. грн	3159	6318	9477	9477
Итого затрат, тыс. грн	9477	18954	28431	28431
Реализационная стоимость дополнительной продукции, тыс. грн	5904,9	11809,8	17714,7	17714,7

Технология ПАО "АНА-ТЕМС" [3]. Суть технологии относительно применения к объектам угольной промышленности: подать в крупноразмерный "мешок" из тканого геотекстиля – контейнер фильтрующий – шламовую пульпу для разделения ее на воду и твердую фазу. По мере заполнения контейнера, в нем формируется плотное шламовое тело. Выдержка шламового тела, "упакованного" в геотекстиль, обеспечивает сход влаги и снижение влаго-содержания до 15%. В летнее время имеет место подсушка шлама, как в одноярусном, так и в многоярусном складе.

В табл. 2 приведены технико-экономические показатели рассматриваемой технологии.

Технико-экономические показатели технологии ООО "АНА-ТЕМС"

Показатели	Э т а п ы		
	I	II	III
Производительность, т/ч	30	60	90
Влажность осадка, %	35	35	35
Количество контейнеров в шт.:			
сутки	2	4	6
месяц	11	22	33
год	132	264	396
Количество складуемого осадка, тыс. т	194,4	388,8	583,2
Капитальные затраты, тыс. грн	1740,8	1787,4	1787,4
Эксплуатационные затраты, тыс. грн	3024,2	6048,4	9072,6
Итого затраты, тыс. грн	4765,0	7885,8	10860,0
Срок проектирования, дней	20	20	20
Срок монтажа и ввода в эксплуатацию, после проектных работ, мес.	1	2	3

Технология обработки жидких отходов углеобогащения ООО "НТЦ "Эко-маш". Шламы фабрики обрабатываются флокулянтom и направляются в радиальный сгуститель. Сгущенный продукт радиального сгустителя направляется на центрифугальные установки ОГШ-461 (ОГШ-751) с фактором разделения $Fg = 600$. Технологическая эффективность работы центрифуг составит 95-99,9%. Фугат центрифуг направляется в радиальный сгуститель. Слив радиального сгустителя направляется в оборот фабрики. После обезвоживания получают осадок с влажностью $30 \pm 3\%$.

В случае если содержание твердого в потоках, поступающих в радиальный сгуститель, превышает 80 г/л. Шламы фабрики направляются в радиальный сгуститель № 1, где без применения флокуляции происходит их частичное сгущение до содержания твердого 150-200 г/л. Сгущенный продукт радиального сгустителя № 1 направляем на центрифугальные установки с фактором разделения $Fg = 1500$ с целью максимального извлечения твердого в осадок в безрегентном режиме. Технологическая эффективность работы центрифуг составит 70-78%. Фугат центрифуг объединяется со сливом радиального сгустителя № 1 и направляем на осветление и сгущение в радиальный сгуститель № 2. Для получения оборотной воды с содержанием твердого ≈ 1 г/л в объединенный поток шламов перед подачей в радиальный сгуститель № 2 добавляем раствор флокулянта. Слив радиального сгустителя № 2 направляем в оборот фабрики. Сгущенный продукт направляем на обезвоживание на центрифугальные установки, работающие при факторе разделения $Fg = 600$. Обезвоженный осадок с влажностью $30 \pm 3\%$ направляется на утилизацию. Фугат центрифуг направляется циркулирующей нагрузкой в питание радиального сгустителя № 2.

Основные технико-экономические показатели технологии ООО "НТЦ "Эко-маш" с центрифугами ОГШ-462Л для ЦОФ "Павлоградская" приведены в табл. 3.

Технико-экономические показатели технологии
ООО "НТЦ "Экомаш" с центрифугами ОГШ-462Л для ЦОФ "Павлоградская"

Показатели	Э т а п ы			
	I (30 т/ч)	II (60 т/ч)	III (90 т/ч)	Итого (90 т/ч)
Влажность осадка, %	30±3	30±3	30±3	30±3
Содержание твердого в фугате, г/л	0-150	0-150	0-150	0-150
Стоимость оборудования, тыс. грн: основного	3395	6790	10185	10185
	679	1358	2037	2037
Стоимость доставки, монтажа, эксплуатационных и других затрат принять как 50% от стоимости оборудования, тыс. грн	2037	4074	6111	6111
Итого затраты, млн грн	6111	12222	18333	18333

Технология обработки жидких отходов углеобогащения ГП "Укрниуглеобогащение". Сгущенный продукт радиального сгустителя направляется в гидроциклон ГЦ-80, сгущенный продукт которого обезвоживается на ленточном вакуум-фильтре и присаживается к мелкому концентрату.

Слив ГЦ-80 разбавляется технической водой до содержания твердого не более 60 кг/м³ и направляется на сгущение с применением флокулянта в вертикальные сгустители С10-1. Расход флокулянта устанавливается достаточным для образования в сгустителе осветленного слоя воды толщиной не менее 0,5 м, которая используется в качестве технической.

Сгущенный продукт сгустителя С10-1 насосами высокого давления закачивается в камерные фильтр-прессы ФМК-600, где обезвоживается до транспортабельного состояния с влажностью менее 25%. Фильтрат фильтр-прессов является технической водой с содержанием твердого не более 5 г/л.

Технико-экологические показатели технологии приведена в табл. 4 из которой следует, что применение технологии ГП "Укрниуглеобогащение" позволяет получить транспортабельные отходы влажностью не более 25% в количестве 513,3 тыс. т (при планируемом 583,2 тыс. т). Кроме того, из отходов извлекается 10,8 т/ч энергетического концентрата зольностью 37,7%, который может быть присажен к концентрату гравитационного отделения фабрики.

При этом выполняются основные требования технического задания: получение транспортабельного осадка и получение технической воды. Кроме того, данный комплекс может работать круглогодично.

Таблиця 4

Технико-экономические показатели технологии ГП "Укрниуглеобогащение"

Показатели	Э т а п ы			
	I	II	III	Итого
1	2	3	4	5
Производительность, т/ч	30	60	90	90
Влажность осадка, %	25	25	25	25
Количество складированного осадка, тыс. т	172,8	345,6	518,4	518,4

1	2	3	4	5
Количество дополнительной угольной продукции, тыс. т в год	21,6	43,2	64,8	64,8
Реализационная стоимость дополнительной угольной продукции, тыс. грн	17496,0	34992,0	52488,0	52488,0
Капитальные затраты, тыс. грн	21375,6	17200,4	17015,0	55600,0
Эксплуатационные затраты, тыс. грн	4291,79	3251,7	3059,5	10605,14
Затраты на проектирование, тыс. грн	594,854	-	-	594,854
Итого затраты, тыс. грн	26262,244	20452,1	20074,5	66800,0
Экономический эффект, тыс. грн	9403,1	11664,2	11884,25	33544,2
Срок окупаемости, лет	2,3	1,5	1,4	1,7

Технология обработки жидких отходов углеобогащения фирмы "СЕТКО" основана на применении сгущения жидких отходов с помощью флокулянтов в статических сгустителях и их обезвоживания на ленточных фильтр-прессах [6].

Решение задачи замыкания водно-шламовой схемы осуществляется обезвоживанием предварительно сгущенных (300-500 г/л) тонких отходов на шести ленточных фильтр-прессах фирмы "Феникс" с получением осадка влажностью до 40%, пригодного для дальнейшей транспортировки и складирования только совместно с породой гравитации.

Исходя из вышеизложенного, ориентировочные технико-экономические показатели технологии замыкания водно-шламовой схемы ЦОФ "Павлоградская", предложенной фирмой "СЕТКО", приведены в табл. 5.

Таблица 5

Технико-экономические показатели технологии фирмы "СЕТКО"

Показатели	Этапы			
	I	II	III	Итого
Производительность, т/ч	30	60	90	90
Влажность осадка, %	40	40	40	40
Количество складированного осадка, тыс. т	194,4	388,8	583,2	583,2
Капитальные затраты, тыс. грн	6000,0	12000,0	18000,0	18000,0
Эксплуатационные затраты (20% от стоимости оборудования), тыс. грн	3000,0	6000,0	9000,0	9000,0
Доставка, монтаж и прочие расходы (50% от стоимости оборудования), тыс. грн	9000,0	18000,0	27000,0	27000,0

Результаты технико-экономических показателей вариантов технологий приведены в табл. 6.

Анализ предложенных технологий осуществлен по показателям, достигнутым после реализации всего проекта, т.е. на часовую производительность 90 т/ч по исходному продукту или на 583,2 тыс. т отходов в год. Стоимость концентрата для всех расчетов взята по данным ГП "Укрнииуглеобогащение" и составляет 810 грн/т при зольности 37,7%.

Технико-экономические показатели вариантов технологии

Показатели	Организации					
	Фирма "Инжиниринг Доберсек ГмбХ"		ООО "АНА-ТЕМС"	ГП "Укрнииуглеобогащение"	ООО "НТЦ "Экомаш"	Фирма "СЕТКО"
	Со связующим	Без связующего				
Количество твердого, тыс. т: исходного складированного возвращаемого в схему отгружаемого на ТЭЦ	583,2	583,2	583,2	583,2	583,2	583,2
	145,8	123,93	583,2	518,4	583,2	583,2
	437,4	437,4	–	–	–	–
	–	21,87	–	64,8	–	–
Количество необходимой породы гравитации, тыс. т	662,7	1674,72	–	–	–	–
Количество связующего (цемента), тыс. т	2,43	–	–	–	–	–
Влажность складированного осадка, %	22–23	16–17	35	25	30	40
Содержание твердого в возвращаемой воде, г/л	>10	>10	<5	<5	<5	<5
Необходимость совместного складирования осадка и породы гравитации	+	+	–	–	+	+
Ориентировочная стоимость оборудования, млн грн	7,5*	18,954*	1,787**	56,195***	12,222*	18,0*
Доставка, монтаж, эксплуатационные и прочие расходы (50% стоимости оборудования), млн грн	3,75	9,477	9,073**	10,605***	6,111	9,0
Стоимость связующего, млн грн	7,29	–	–	–	–	–
Итого затраты, млн грн	18,54	28,431	10,86**	66,8***	18,333	27,0*
Стоимость дополнительного концентрата, млн грн	–	17,715	–	52,488***	–	–

* – расчетным путем в соответствии с технологией и оборудованием.

** – по данным ООО "АНА-ТЕМС".

*** – по данным ГП "Укрнииуглеобогащение".

Из табл. 6 следует, что наименьшую влажность складированного осадка получают при применении технологии фирмы "Инжинирнг Доберсек Гмбх" в **Збагачення корисних копалин, 2013. – Вип. 52(93)**

случае, когда не используются связующие вещества. Однако доля складированного осадка составляет порядка 25%, остальные 75% (437,4 тыс. т из 583,2 тыс. т) необходимо продолжать складировать в илонакопителе. Поэтому варианты фирмы "Инжиниринг Доберсек ГмбХ" не решают поставленной заданием задачи на исключение из производственного цикла илонакопителя.

Из оставшихся 4-х вариантов технологий минимальную – 25% влажность складированного осадка – имеют предложения ГП "Укрнииуглеобогащение". Данная технология предполагает доизвлечение энергетического концентрата из исходного материала, стоимость которого покрывает на 78,5% стоимость затрат. Кроме того, данная технология делает возможным отгрузку осадка без использования гравитационной породы. Однако технология предопределяет большие капитальные затраты в размере 66,8 млн грн.

Технологии ООО "НТЦ "Экомаш" и фирмы "СЕТКО" идентичны и отличаются только применяемым оборудованием (в первом случае осадительные центрифуги, во втором – ленточные фильтр-пресса). Между собой они разнятся величиной затрат и влажностью складированного осадка. Эти показатели лучше у ООО "НТЦ "Экомаш". Однако складирование осадков, полученных по этим технологиям возможно только вместе с гравитационной породой углеобогажительных фабрик, кроме того фильтрат с обезвоживающего оборудования на всегда является технической водой.

Исходя из вышеизложенного, следует считать, что с технологической точки зрения наиболее предпочтительной является технология ГП "Укрнииуглеобогащение", применение которой не только решает поставленную задачу, но и обеспечивает получение дополнительного энергетического концентрата, стоимость которого уже после второго года внедрения дает экономический эффект.

Технология ООО "АНА-ТЕМС" является с экономической точки зрения наименее затратной, решает поставленную задачу, однако является на Украине малоизученной (особенно в зимних условиях) и требует для реализации отвода земельного участка. Преимуществом этой технологии является сохранение складированного осадка в упаковочном виде, что позволяет его использование (при необходимости) уже в готовом транспортабельном состоянии.

Список литературы

1. Кирнарский А.С. Замкнутая водно-шламовая схема углеобогажительной фабрики без илонакопителя фирмы "Инжиниринг Доберсек ГмбХ": Тендерное предложение. – Д.: ф. "Инжиниринг Доберсек ГмбХ". – 2011. – 5 с.

2. Назимко Е.И., Голиков А.С. Исследование изменений скорости накопления шлама в водно-шламовой схеме ЦОФ "Чумаковская" // Збагачення корисних копалин: Наук.-техн. зб. – 2007. – Вып. 29(70)-30(71). – С. 184-189.

3. Егурнов А.И. Технология контейнерной обработки жидких отходов ЦОФ "Павлоградская": Тендерное предложение. – Д.: ООО "АНА-ТЕМС", 2011. – 30 с.

4. Мацак А.Ф. Предложение по использованию центрифугальной установки ОГШ-462-Л-01-УХЛ4 в водно-шламовой схеме ЦОФ "Павлоградская": Тендерное предложение. – Харьков: ООО "НТЦ "Экомаш", 2011. – 13 с.

5. Морозова Л.А. Презентация технологии по обработке жидких отходов углеобогащения до транспортабельного состояния на ЦОФ "Павлоградская": Тендерное предложение. –

Збагачення корисних копалин, 2013. – Вип. 52(93)

Екологія

Луганск: ГП "Укрнииуглеобогашение", 2011. – 41 с.

6. Презентация технологии по обработке жидких отходов углеобогащения до транспортабельного состояния на ЦОФ "Павлоградская" фирмы "СЕТКО": Тендерное предложение. – М.: ООО "Коралайна инжиниринг", 2011. – 18 с.

© Полулях А.Д., Полулях Д.А., 2013

*Надійшла до редколегії 24.12.2012 р.
Рекомендовано до публікації д.т.н. П.І. Піловим*