

АППАРАТУРНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ СРЕДСТВА И ТЕХНОЛОГИИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ



УДК 534.222.2

© С.А.Бахарев, 2014

РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОМЫШЛЕННЫХ ИСПЫТАНИЙ УСТАНОВКИ КОМПЛЕКСНОГО АКУСТИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА САПОНИТСОДЕРЖАЩУЮ ВОДНУЮ СИСТЕМУ АЛМАЗОДОБЫВАЮЩЕГО ПРЕДПРИЯТИЯ

С.А.Бахарев (индивидуальный предприниматель, г. Москва, Россия)

Результаты промышленных испытаний разработанной установки комплексного воздействия на оборотную воду обогатительной фабрики алмазодобывающего предприятия в условиях карты намыва с геометрическими размерами $307 \times 37 \times 3,7$ м показали, что при расходе оборотной промышленной воды ~ 250 м³/ч содержание иламовых частиц в ней сократилось с 100–200 до 0,16–0,32 г/л. Рекомендуется использовать данную установку не только для очистки оборотной промышленной воды на картах намыва, но и для уплотнения сапонитсодержащего осадка в них с возможностью его последующего извлечения для дальнейшей переработки и реализации.

Ключевые слова: алмазы, алмазодобывающее предприятие, акустическое воздействие, обогатительная фабрика, извлечение алмазов.

Бахарев Сергей Алексеевич

THE ACOUSTIC SAPONITE-BEARING RECYCLING WATER TREATMENT AT THE CRUSHING MILL OF A DIAMOND MINE: RESULTS OF INDUSTRIAL TESTS

S.A.Bakharev

Results of commercial tests of the crushing mill complex water treatment unit used in the hydraulic fill map with dimensions $307 \times 37 \times 3,7$ m demonstrated that at discharge rate of recycling water of ~ 250 m³/h its suspended solid content decreased from 100–200 to 0,16–0,32 g/l. Usage of the unit is recommendable both in the recycling water treatment and consolidation of saponite-bearing precipitate with further extraction of the latter as a commercial product.

Key words: diamonds, diamond mine, acoustic effects, a processing plant, the extraction of diamonds.

Характерной особенностью месторождений алмазов в Архангельской области (месторождение им. М.В.Ломоносова и др.) является высокое содержание минералов монтмориллонитовой группы. В водной среде данные глинистые минералы (например, сапонит) образуют тонкодисперсную гелеобразную суспензию, размер частиц которой $< 5-7$ мкм, вследствие чего скорость их осаждения низкая. Это создает большие сложности при обеспечении замкнутого водооборота на обогатительных фабриках [4].

Особенно остро недостаток осветленной воды отмечается в период ледостава на хвостохранилище, когда концентрация глинистых шламов в оборотной воде превышает 50–100 г/л. В это время увеличивается ее вязкость, плотность и, как следствие, снижается извлечение алмазов в процессах тяжелосредной и рентгенолюминесцентной сепараций, повышается потребление чистой природной воды, сокращается срок службы оборудования и снижается экологическая безопасность производства в целом.

Таким образом, актуальность проблемы эффективной очистки шламосодержащих вод для алмазодобывающих предприятий обусловлена следующими обстоятельствами:

- нарушением технологических процессов переработки алмазосодержащего сырья, приводящим к снижению извлечения ценных кристаллов;

- снижением безопасности работ при эксплуатации и обслуживании оборудования;

- повышенным износом технологического и вспомогательного оборудования, а также расходных материалов;

- завышенными эксплуатационными затратами из-за высокой плотности и вязкости технических вод, циркулирующих в технологических процессах;

- отсутствием возможности увеличения производительности фабрики без увеличения проектной (разрешенной) площади;

- негативным влиянием на окружающую среду.

Испытанные за последние десять лет известные (гравитационные, фильтрационные, реагент-

1. Гранулометрический состав шламовых частиц в сбрасываемой на карту намыва пульпе

Класс крупности, мм	+2	-2+1,7	-1,7+1,4	-1,4+1,2	-1,2+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,2	-0,2	Итого
Содержание ШЦ, %	-	-	0,137 (0,76)	0,146 (0,81)	0,155 (0,86)	2,153 (11,97)	0,281 (1,56)	97,129 (540,0)	100 (555,97)

Примечание. В скобках содержание в граммах.

ные и др.) способы извлечения алмазов и применяемое оборудование не позволили решить проблему осветления оборотных вод алмазодобывающих предприятий в Архангельской области. Для решения данной проблемы в сентябре 2013 г. на карте намыва с геометрическими размерами 307×37×3,7 м в строго контролируемых условиях были проведены промышленные испытания установки комплексного акустического воздействия (УКАВ-ов) на оборотную воду ОФ алмазодобывающего предприятия [5–10].

В процессе ее использования при намыве карты по длине пляжной зоны осуществляются акустическая коагуляция, акустическое (принудительное) и гравитационное осаждение, акустическое уплотнение тела пляжа с пофракционным разделением хвостовой пульпы. При этом в центральную зону карты намыва попадает суспензия с меньшим количеством песчаной фракции, так как она осаждается в пляжной зоне. Из-за малого уровня оборотной воды (0,5–1,0 м) и большого содержания в ней шла-

2. Оборудование для акустического осветления оборотных вод ОФ на карте намыва с геометрическими размерами 307×37×3,7 м

№№ п/п	Наименование оборудования	Число, шт.	Мощность, кВт/ч		Стоимость, тыс. руб. (без НДС)	
			Ед.	Всего	Ед.	Всего
1	Генератор сигналов специальной формы («GFG-18A»)	3	0,05	0,15	30	90
2	Двухканальный цифровой усилитель мощности с блоком согласования («ЕР-4000»)	6	0,50	3,0	180	1080
3	Гидроакустический излучатель НЗД частот (ЦГИ-ПБ-1)	6	-	-	210	1260
4	Гидроакустические излучатели СЗД частот (ЦГИ-ПБ-2)	4	-	-	180	720
5	Гидроакустические излучатели ВЗД частот (ЦГИ-ПБ-3)	2	-	-	150	300
6	Геофизический кабель КГИ-2 (1,2 км: 12×100 м) с подводными муфтами (12 шт.)	12	-	-	20	240
Итого (основное оборудование)				3,15		3690
Термошкафы (1,5×1,5×2,0) для размещения электронных приборов			2	0,5	200	400
Понтоны с якорно-поплавковыми устройствами			6	-	25	150
Итого (дополнительное оборудование)				1,0		550
ИТОГО (оборудование)				4,15		4240

Примечание. Суммарные затраты на потребление электроэнергии составят ~99 кВт/сут. (или ~36 тыс. кВт/год). При отсутствии стационарного электропитания потребуются два дизель-генератора с электрической мощностью не менее 5 кВт каждый.



Рис. 1. Внешний вид карты намыва:

а — верхняя часть карты; *б* — нижняя часть карты; *в* — сливные трубы на выходе

мовых частиц используются только направленные (навстречу движению пульпы) гидроакустические излучатели (три штуки при данной ширине карты намыва) низкого звукового диапазона (НЗД) частот от 0,2 до 2,0 кГц.

В табл. 1 приведен гранулометрический состав шламовых частиц (ШЧ), находящихся в сбрасываемой с торца пульповода на карту намыва оборотной воде (пульпе) с расходом $\sim 250 \text{ м}^3/\text{ч}$. Их основная масса (>97%) была представлена мелким классом - 0,2 мм, другая (содержащая более крупные частицы) часть пульпы (с расходом $\sim 250 \text{ м}^3/\text{ч}$) сбрасывалась через выпуска непосредственно в хвостохранилище ОФ.

В процессе использования УКАВ-ов в средней части карты намыва происходили акустическая коагуляция, акустическое осаждение и акустическое уплотнение осадка. По этой причине в нижнюю часть карты намыва (своеобразный пруд-отстойник) попадает суспензия с относительно малым количеством шламовых частиц, эффективно укрупняющихся и осаждающихся в центре пляжной зоны. При этом из-за относительно малого уровня оборотной воды (1,0–1,5 м) при данной ширине

карты намыва используются только два ненаправленных гидроакустических излучателя — низкого и среднего (СЗД) звукового диапазона частот от 2,0 до 12,0 кГц.

В нижней части карты намыва также осуществляются акустическая коагуляция, акустическое осаждение и акустическое уплотнение осадка. Поэтому в сливах с карты намыва содержится минимальное количество шламовых частиц. В этом случае применяются ненаправленные гидроакустические излучатели (при данной ширине карты намыва — по 2 шт.) НЗД, СЗД и верхнего (ВЗД) звукового диапазона частот — выше 12,0 кГц.

В табл. 2 в соответствии с технологической схемой работы данной карты намыва ($200 \text{ м}^3/\text{ч}$) перечислен комплект основного и вспомогательного оборудования УКАВ-ов (цены на 01.01.2014 г.).

На карте намыва, построенной в непосредственной близости от хвостохранилища ОФ (рис. 1, *а–в*), видно, что до начала работ по промышленным испытаниям УКАВ-ов оборотная вода в нижней части карты в зоне отстаивания (см. рис. 1, *б*) и на выходе сливных труб (см. рис. 1, *в*) отличалась высокой мутностью. По данным количественных измерений



Рис. 2. Элементы стационарного модуля акустической установки:

а — внешний вид помещения; *б* — внутренний вид помещения; *в* — плот с излучателем



Рис. 3. Внешний вид оборотной воды на карте намыва:

a — нижняя часть карты; *б* — район водозабора карты; *в* — сливная труба

содержание ШЧ на среднем горизонте (0,4 м) составляло в среднем 3,31 г/л, а на верхнем (0,2 м) — 1,26 г/л.

На рис. 2 иллюстрируются некоторые элементы стационарного модуля УКАВ-ов, имеющие относительно небольшие весогабаритные характеристики.

Промышленные испытания УКАВ-ов выполнялись в три этапа. На первом и третьем этапах акустическое излучение не производилось, а карта намыва функционировала в своем штатном режиме. Методика промышленных испытаний также предусматривала сброс с карты намыва всей массы осветленной воды после окончания второго и третьего этапов. Переход от первого ко второму этапу осуществлялся плавно с полным сохранением коэффициента водообмена на карте намыва. Высота столба оборотной воды на карте намыва в процессе ее штатного функционирования в районе

слива составляла 0,8 м, в то время как на втором этапе — 0,4 и 0,6 м при скорости ветра <3–5 м/с и >5–10 м/с соответственно. Слой сбрасываемой осветленной (содержание шламовых частиц не более 0,25–0,5 г/л) воды на втором этапе всегда составлял 0,2 м.

В процессе промышленных испытаний УКАВ-ов мутность оборотной воды существенно уменьшилась (рис. 3, б, в) по сравнению с ее гравитационным осветлением (рис. 4). По данным количественных измерений содержание ШЧ на среднем горизонте составляло 0,32, на верхнем — 0,16 г/л.

В табл. 3 приведены основные результаты испытаний на данном этапе в виде среднего содержания взвешенных веществ (г/л) в сливах воды с различных горизонтов карты намыва. За счет применения УКАВ-ов на карте намыва содержание ШЧ в верхнем (0,2 м) слое слива оборотной воды было уменьшено на 1,104 г/л (эффект разработанного метода 87,3%), а в среднем (0,4 м) слое — на 2,993 г/л (эффект разработанного метода 90,3%). Определенный практический интерес представляют результаты ситового анализа осадка при гравитационном осаждении и после акустического воздействия. В табл. 4 представлено процентное содержание ШЧ в осадке в зависимости от классов крупности и способа его уплотнения.

Как показал анализ данных табл. 4, существенное увеличение доли крупнодисперсных частиц

3. Среднее содержание взвешенных веществ (г/л) в пробах воды, отобранных в различных точках хвостохранилища

Режим работы	Горизонт от поверхности, м			Ветер, м/с
	0,2	0,4	0,6	
Без акустики	1,264	3,313	4,420	<3–5
С акустикой	0,160	0,320	0,359	
Разница, г/л (выигрыш, %)	1,104 (87,3)	2,993 (90,3)	4,061 (91,9)	

4. Процентное содержание шламовых частиц в осадке в зависимости от классов крупности и способа его уплотнения

Режим работы	Класс крупности, мм							
	+2	-2+1,7	-1,7+1,4	-1,4+1,2	-1,2+1,0	-1,0+0,5	-0,5+0,2	-0,2
С акустикой	20,7	1,65	3,07	2,13	2,60	13,62	26,30	29,84
Без акустики	-	-	0,13	2,12	5,15	12,15	20,28	60,17
Разница, %	+20,7	+1,65	+2,94	+0,01	-2,55	+1,47	+6,02	-30,33



Рис. 4. Последствия гравитационного осветления оборотной воды на карте намыва:

a — низ правого борта; *б* — низ центра карты; *в* — низ левого борта

(+2 мм) на 20,7% и существенное уменьшение доли мелкодисперсных (-0,2 мм) на 30,33% после акустического воздействия на пульпу подтверждает факт акустической коагуляции исходных.

При гравитационном осветлении оборотной воды, сбрасываемой на карту намыва с ОФ синхронно со сливом ее верхнего слоя, слой чистой воды занимает незначительную (>20%) часть воды, сброшенной с карты намыва, и составляет <0,15 м (см. рис. 4, б). При этом реальный слой чистой воды, находящейся в карте намыва, составлял <0,05 м. На тех же участках бортов карты намыва после акустического осветления оборотной воды (рис. 5) слой чистой воды занимает значительную (>75%) часть воды, сброшенной с карты намыва, и составляет не менее 0,6 м.

Акустически структурированный сапонитсодержащий осадок имеет другие вязкость и уплотнение (рис. 6). По структуре он напоминает «мягкий пластилин» (см. рис. 6, в), а не «грязную воду», как при гравитационном методе очистки оборотной воды на карте намыва.

Опираясь на полученные в контролируемых условиях экспериментальные результаты, сформулируем следующие предварительные выводы.

При использовании УКАВ-ов на экспериментальной карте намыва с геометрическими размерами 307×37×3,7 м, уровнем зеркала воды в ее нижней части 0,8 м, при расходе пульпы ~250 м³/час, сбрасываемой на пляж карты намыва синхронно со сливом осветленной воды, удалось в одном технологическом процессе снизить содержание шламовых частиц в верхнем (0,2 м) слое воды с 1,264 до 0,16 г/л (в 7,9 раза), среднем (0,4 м) — с 3,313 до 0,32 г/л (в 10,4 раза), нижнем (0,6 м) — с 4,420 до 0,359 г/л (в 12,3 раза).

В наиболее благоприятных погодных условиях (скорость ветра до 10 м/с) с помощью УКАВ-ов удалось осветлить 50% слоя воды (0,4 м при глубине места 0,8 м) до содержания ШЧ в ней <0,5 г/л. В менее благоприятных погодных условиях (скорость ветра >10 м/с) удалось осветлить 30% слоя воды (0,3 м при глубине места 0,8 м). Сброс осветленной воды производился одновременно с подачей пульпы на карту намыва.

Для очистки оборотных вод от ШЧ при помощи УКАВ-ов до показателя, не превышающего 0,5 г/л (при требуемых технологическим процессом не более 5 г/л), расходе пульпы ~250 м³/ч и исходном содержании в пульпе ШЧ ~150 г/л



Рис. 5. Последствия акустического осветления оборотной воды на карте намыва:

a — низ правого борта; *б* — низ центра карты; *в* — низ левого борта

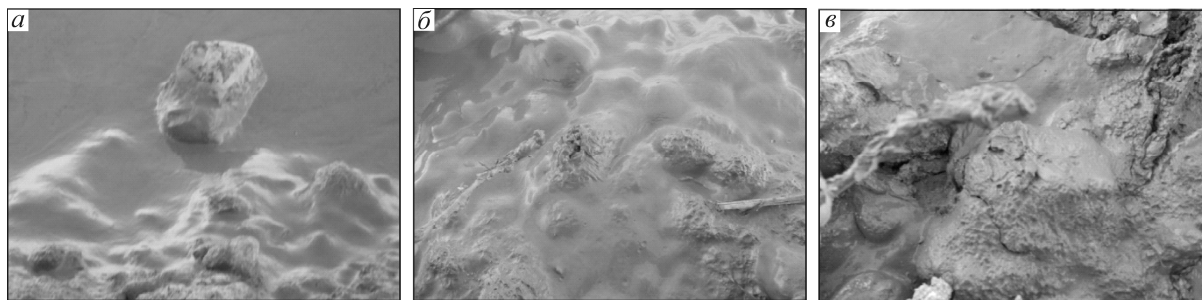


Рис. 6. Внешний вид сапонитсодержащего осадка:

a — частично погруженный камень; *б* — дно карты намыва; *в* — фрагмент дна карты

суммарный расход электроэнергии УКАВ составил $<0,5 \text{ Вт/м}^3$.

Масса и структура (вязкость, плотность и др.) сапонитсодержащего осадка, выпавшего в осадок на дно карты намыва и ее борта после комплексного акустического воздействия на пульпу, позволяют говорить о возможности его промышленного извлечения с помощью УКАВ-ов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бахарев С.А., Максимова И.С. Новая технология безреагентной очистки сточных вод от взвешенных веществ // Всерос. НТК «Сохранение биоразнообразия Камчатки». Петропавловск-Камчатский, 2005. С. 25–28.
2. Бахарев С.А., Максимова И.С. Результаты использования безреагентной технологии очистки сточных вод от взвешенных веществ на участке «Пенистый» ЗАО «Корякгеолдобыча» // Всерос. НТК «Сохранение биоразнообразия Камчатки». Петропавловск-Камчатский, 2006. С. 31–35.
3. Бахарев С.А. Результаты использования акустического метода очистки сточных вод от взвешенных веществ в бассейне нерестовых рек Камчатки // Вестник XXI. Разведка, добыча, переработка полезных ископаемых. М.: Интермет Инжиниринг, 2007.
4. Бахарев С.А. Акустика в горной промышленности. — Germany: LAP LAMBERT Academic Publishing GmbH, 2013.
5. Бахарев С.А. Способ очистки и обеззараживания оборотных и сточных вод. Патент РФ № 2280490, 2005 г., опубл. 27.07.2006, Бюл. № 21.
6. Бахарев С.А. Способ безреагентной очистки оборотных и сточных вод от взвешенных веществ. Патент РФ № 2290247, 2005 г., опубл. 27.12.2006, Бюл. № 36.
7. Бахарев С.А. Способ очистки воды от взвешенных веществ. Патент РФ № 2330705, 2006 г., опубл. 10.08.2008, Бюл. № 22.
8. Бахарев С.А. Способ очистки воды от взвешенных веществ. Патент РФ № 2331455, 2006 г., опубл. 23.08.2008, Бюл. № 22.
9. Бахарев С.А. Способ очистки воды от водорослей и взвешенных веществ. Патент РФ № 2380181, 2008 г., опубл. 10.02.2010, Бюл. № 4.
10. Бахарев С.А. Способ очистки и обеззараживания воды. Патент РФ № 2487838, 2011 г., опубл. 20.07.2013, Бюл. № 20.