

УДК 628.733

**Н. С. Серпокрылов, С. А. Щербаков**

## **ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОЧИСТКИ ШАХТНЫХ ВОД**

В опытно-промышленных и пилотных условиях исследованы направления интенсификации очистки шахтных вод с применением мембранных аэраторов и катализаторов на основе шлама, образующегося при очистке шахтных вод, а также обоснованы режимы доочистки вод на зернистых фильтрах. Для новых и реконструируемых очистных сооружений шахтных вод после объединения ряда водоотливов шахт Восточного Донбасса предложена технологическая схема очистки с мелкопузырчатой аэрацией с циркуляцией гидроксидного шлама.

**К л ю ч е в ы е с л о в а:** шахтные воды, реструктуризация угольных шахт, особенности состава, очистка шахтных вод, гидроксидный шлам, каталитические свойства, технологическая схема, опытно-промышленные исследования, пилотная установка, эффективность очистки.

In experimental-industrial and leading factors the direction mine drainage purification stimulation are researched using membrane diffusers and catalysts based on the dirt is formed during the mine drainage purification. The modes of water purification by granular-bed filter are warranted. For new and upgraded sewage dispersal plant of mine drainage after the association of the number of mines water hoisting of the East Donbass the purification technical plan with the fine-bubble aeration with the hydroxide sludge circulation is offered.

**К е y w o r d s:** mine drainage, restructuring of coal mines, characteristics of composition, mine drainage purification, hydroxide sludge, catalytic properties, technical plan, experimental-industrial researches, technological scheme, experimental-industrial research, leading facility, separation efficiency.

Очистка шахтных вод, в т.ч. и угледобычи, является актуальной проблемой во всем мире, поскольку, проходя через породы, вода обогащается их составными минеральными элементами. Попадание шахтных вод в водоем приводит к снижению его рекреационно-хозяйственных функций, проблемам с водоснабжением, заболачиванию и т.д. Поэтому их очистка является важным компонентом охраны окружающей среды.

Показатели загрязнения шахтных вод индивидуальны для каждого добывающего бассейна, но общими для них являются повышенное содержание солей (сульфатов, хлоридов, карбонатов), железа, реже марганца. Поэтому очистку и деминерализацию шахтных вод ведут сочетаниями химических, физико-химических и биологических методов [1, 2].

Особенно остро встала проблема очистки шахтных вод после закрытия угледобывающих шахт в Восточном Донбассе и объединения десятков бывших шахтных водоотливов в единые. При затоплении шахт претерпевают изменения и показатели откачиваемой воды, при этом особенно увеличивается концентрация железа и солесодержание (табл. 1).

Обобщенные среднегодовые сведения о качественном химическом составе шахтных вод Кировского техногенного гидрогеологического комплекса (ТГК) за последние 3 и 5 лет эксплуатации водоотлива свидетельствуют (см. табл. 1) о существенном (до 20 раз по железу общему) повышении загрязнений после закрытия шахт.

Т а б л и ц а 1

## Показатели шахтных вод Кировского водоотлива до и после закрытия шахт

Период наблюдений	pH	Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>-</sup> , мг/л	Fe общ., мг/л	Сухой остаток, г/л
Шахтная вода в период эксплуатации Кировского водоотлива									
Среднее за 5 лет	7,4	775	249	209	646	241	2213	7,5	4,3
Шахтная вода нескольких пластов из коллектора водовыпускных скважин шахты им. Кирова (после закрытия шахт)									
Среднее за 3 года	6,4	1028	429	446	659	267	4225	157	7,3

При этом (табл. 2), согласно классификации [2], можно видеть, что в течение 2000—2004 гг. по составу шахтная вода из сульфатной магниевонатриевой перешла сульфатно-натриевую.

Т а б л и ц а 2

## Результаты обработки химических анализов проб шахтной воды Глубокого ТК

Компонент	2000 г.			2004 г.		
	Содержание компонента			Содержание компонента		
	мг/л	мг-экв/л	%-экв.	мг/л	мг-экв/л	%-экв.
Na <sup>+</sup> +K <sup>+</sup>	1135,5	49,4	56	1030,4	44,8	61
Ca <sup>2+</sup>	291,1	14,5	17	242,5	12,1	16
Mg <sup>2+</sup>	292,4	24,0	27	205,5	16,9	23
□ катионов	—	87,9	100	—	73,8	100
Cl <sup>-</sup>	583,4	16,4	19	535,0	15,1	20
SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup>	2806,5	58,4	66	2233,2	46,4	63
HCO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	820,4	13,4	15	743,9	12,2	17
Σ анионов	—	88,2	100	—	73,7	100
Формула Курлова	Fe <sub>15</sub> M <sub>5,9</sub> $\frac{[SO_4 66]Cl 19 HCO_3 15}{[Na 56 Mg 27]Ca 17}$ pH <sub>6,98</sub>			Fe <sub>18</sub> M <sub>4,8</sub> $\frac{[SO_4 63]Cl 20 HCO_3 17}{[Na 61]Mg 23 Ca 16}$ pH <sub>6,7</sub>		
Наименование воды	Сульфатная магниевонатриевая			Сульфатная натриевая		

В последние 8—12 лет в Восточном Донбассе были построены или реконструированы очистные сооружения ряда шахт, но при сохранении технологических подходов, ориентированных на прежние показатели состава

шахтных вод и расходы. В основном эти технологии включают: аэрацию + отстаивание или электролиз + дополнительную аэрацию + отстаивание + пруды биодеминерализации. В некоторых случаях в технологическую схему включают фильтры доочистки, загруженные песком или плавающей пенополистирольной загрузкой. Железосодержащий шлам, выделенный в процессе очистки вод, закачивается в поглощающие горизонты, создавая вторичное загрязнение железом откачиваемых вод [1—3].

В результате анализа технологии и показателей очистки вод очистных сооружений шахт им. Кирова, Глубокая, Южная установлено, что ни в одном случае не достигаются проектные (нормативные) показатели. Окисление двухвалентного и выделение трехвалентного железа в виде шлама заканчивается, в лучшем случае, в прудах, а в основном в водоемах — приемниках шахтных вод (табл. 3). При этом не отмечено деятельности биоценоза прудов вследствие угнетения его железом [4].

Т а б л и ц а 3

*Показатели состава шахтных вод Кировского водоотлива за сентябрь 2006 г.*

Наименование	Показатели качества воды								
	pH	Na <sup>+</sup> + K <sup>+</sup> , мг/л	Ca <sup>2+</sup> , мг/л	Mg <sup>2+</sup> , мг/л	Cl <sup>-</sup> , мг/л	SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , мг/л	Fe общ., мг/л	Сухой остаток, мг/л	Жесткость, мг-экв/л
ПДК для водоемов рыбохозяйственного значения	6,5...8,5	170	180	40	300	100	0,1	1000	7
Шахтные воды при откачке из скважины	6,1	805	393	389	220	3369	84,8	6246	51,6
Сброс воды в реку Аюта из пруда-отстойника №5 после очистки	7,46	868	385	394	230	3323	7,99	6014	51,0

При сохранении емкостных резервуаров на существующих очистных сооружениях шахтных вод одним из технологически и энергетически целесообразных инженерных решений может быть реконструкция систем аэрации с применением мембранных аэраторов [5] и повторным использованием гидроксидного шлама, содержащего также до 10 % магнетита, имеющего, как известно, каталитические свойства, способствующие окислению ионов двухвалентного железа [6].

В технологических схемах с фильтрами доочистки при высоких исходных концентрациях двухвалентного железа загрузка кольтмирует через 8...10 ч фильтрования. Гранулы пенополистирола, обрастающие неотделяемым при промывке железосодержащим слоем толщиной 1,5...3 мм, теряют плавучесть, выпадают в осадок и забивают дренажную систему. На пяти обследованных очистных сооружениях шахтных вод Восточного Донбасса, где

были смонтированы фильтры с плавающей загрузкой, через 3...4 месяца эксплуатации они были переоборудованы в дополнительные отстойники.

Фильтры доочистки шахтных вод с песчаной загрузкой эксплуатируются в отличающемся от технологического регламента режиме: загрузка приобретает темно-коричневую окраску, характерную для гидроксидов трехвалентного железа, скорость фильтрования через 8...10 ч снижается с 7...8 до 2...2,5 м/ч. После длительной водовоздушной промывки (15...20 мин) фильтрующая способность восстанавливается до 5...6 м/ч.

Проведенный анализ показал, что требуется экспериментальная проверка новых технологических подходов, ориентированных на современный состав и расходы шахтных вод с утилизацией шламов, а также на интенсивные способы окисления и выделения железа, включая доочистку на зернистых фильтрах. Для этого на очистных сооружениях Кировского водоотлива одна ( $L \times B \times H = 42 \times 6 \times 5$  м) из 4-х параллельных секций была переоборудована (рис. 1). В ней заменили существующую систему аэрации с диаметром отверстий 15 мм на систему с Rehau мелкопузырчатой аэрацией, со встроенной системой распределения рециркуляционного шлама, подаваемого из конуса отстойника для создания взвешенного слоя. В конце отстойника перед водосборным лотком был установлен тонкослойный модуль (на рис. 1 не показан), а в сборном конусе осадка под ним находился насос подачи шлама на рециркуляцию. Данные изменения в существующей конструкции предусматривали аэрирование избыточным по отношению к стехиометрическому соотношению реагирующих компонентов количеством воздуха и создание принудительной каталитической взвеси гидроокиси трехвалентного железа.

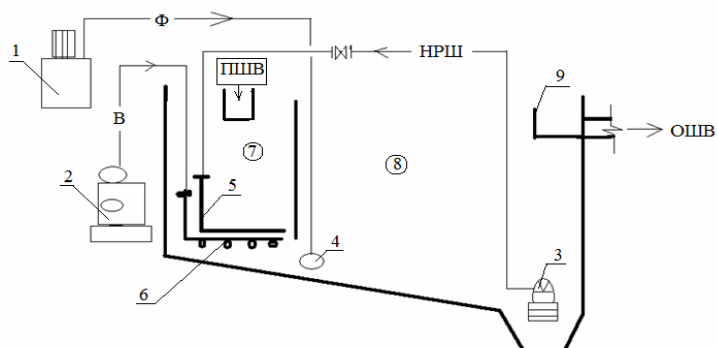


Рис. 1. Схема реконструкции технологической линии очистки шахтных вод: 1 — реакгентное хозяйство; 2 — воздуходувка; 3 — насос; 4 — распределительная система подачи шлама; 5 — распределительная система подачи реагента; 6 — система аэрации; 7 — зона аэрации; 8 — зона отстаивания; 9 — водосборный лоток; Ф — флокулянт; ПШВ — подача шахтной воды; НРШ — диспергированный шлам; ОШВ — очищенные шахтные воды на фильтры доочистки

Изучено шесть вариантов очистки шахтных вод (каждый — в течение 7 сут) аэрацией через: 1) дырчатые трубы (существующий до реконструкции); 2) мембранные аэраторы; 3) мембранные аэраторы с введением шлама в зону аэрации; 4) мембранные аэраторы с введением шлама в зону формирования пузырей воздуха; 5) мембранные аэраторы с введением шлама и фло-

кулянта в зону аэрации; б) мембранные аэраторы с введением шлама в зону формирования пузырей и флокулянта на выходе из зоны аэрации. При этом точки отбора соответствуют: 1 — из лотка подачи шахтных вод (см. рис. 1), 2 — из водосборного лотка очищенных вод 9.

Результаты опытно-промышленных исследований (табл. 4) показали, что указанное техническое решение позволило повысить эффективность процесса очистки и снизить нагрузку на последующие сооружения в условиях поступления увеличенных расходов шахтных вод и содержания двухвалентного железа в них.

Т а б л и ц а 4

*Усредненные показатели очистки шахтных вод на очистных сооружениях шахты им. Кирова в опытно-промышленных условиях*

№ п/п	Условия режимов очистки шахтных вод аэрацией через	Точка отбора пробы	Содержание, мг/л				Расход шахтных вод, м <sup>3</sup> /ч
			ВВ	Fe <sub>общ</sub>	Fe <sup>3+</sup>	Fe <sup>2+</sup>	
1	дырчатые трубы	1	96,8	35,85	1,92	33,93	90
		2	85,7	18,8	2,04	16,8	
2	мембранные аэраторы	1	167,2	33,3	2,37	30,9	57,6
		2	65,4	12,9	2,04	10,86	
3	мембранные аэраторы с введением шлама в зону аэрации	1	184,4	30,7	3,69	27,0	62,5
		2	56,8	10,6	3,03	7,57	
4	мембранные аэраторы с введением шлама в зону формирования пузырей	1	209,2	39,1	0,8	38,3	62,5
		2	48,5	3,77	1,13	2,64	
5	мембранные аэраторы с введением шлама и флокулянта в зону аэрации	1	290,0	37,5	0,7	36,8	95
		2	79,2	2,35	0,17	4,18	
6	мембранные аэраторы с введением шлама в зону формирования пузырей и флокулянта на выходе из зоны аэрации	1	252,8	35,2	0,31	34,89	62,5
		2	56,6	1,59	0,13	1,46	

Примечание: ВВ — взвешенные вещества.

По данным опытно-промышленных результатов произведены оценка и ранжирование шести технологических режимов обработки шахтных вод на основе анализа масс поданного на очистку и очищенного двухвалентного железа с соотношением удельного количества затраченного на его окисление кислорода воздуха (рис. 2). Из результатов исследований следует, что 5-й вариант режима обработки шахтных вод является наиболее эффективным и рекомендуется к промышленной реализации, а удельные массы кислорода воздуха на окисление двухвалентного железа шахтных вод (рис. 2) следует принимать при расчете систем аэрации.

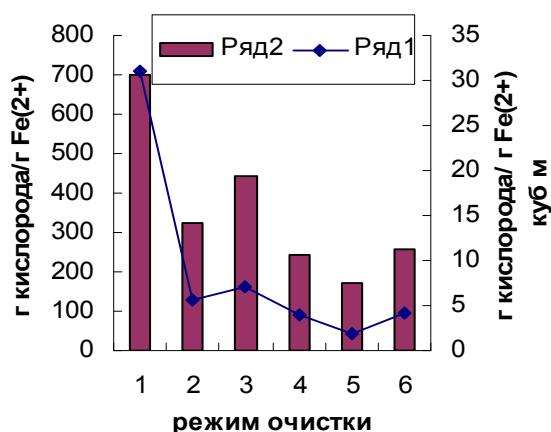


Рис. 2. Удельные массы кислорода воздуха на окисление двухвалентного железа шахтных вод: ряд 1 — г O<sub>2</sub> / г Fe(2+); ряд 2 — г O<sub>2</sub> / г Fe(2+) м<sup>3</sup>

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Очистка шахтных вод на предприятиях угольной промышленности: сб. статей под ред. Б. Б. Немковского. Пермь : Книжное издательство, 1973. 312 с.
2. Назарова Л. Н. К вопросу о химическом составе шахтных вод и его формировании. Обнинск: Отдел научно-технической информации, 1972. 56 с.
3. ООО «Шахтопроект». Рабочий проект «Очистные сооружения шахтных вод шахты «Глубокая», предусмотренный объединенным проектом ликвидации особо убыточных шахт-филиалов ОАО «Ростовуголь» (шахта «Глубокая»). Разд. 11. Охрана окружающей среды. Т. 1. Кн. 2. СПб. 88 с.
4. Смоляниченко А. С., Серпокрьлов Н. С. Снижение энергопотребления систем аэрации сточных вод // Вестник ТГАСУ. 2010. № 3. С. 42—49.
5. Экспериментальное обоснование использования шламов шахтных вод в водоочистке / Г. Н. Земченко, А. А. Грачева, А. А. Марочкин, В. В. Толмачев, Н. С. Серпокрьлов, С. А. Щербаков // Технология очистки воды «Техновод-2008» : материалы 4 Международной науч.-практич. конф. Калуга, 26—29 февр. 2008 г. Новочеркасск : ОНИКС+, 2008. С. 194—197.
6. Щербаков С. А. Баринов М. Ю., Серпокрьлов Н. С. Интенсификация очистки шахтных вод // Строительство-2007 : материалы международной науч.-практич. конф. Ростов н/Д : РГСУ, 2007. С. 33—34.
7. Баринов М.Ю., Щербаков С.А., Терентьева А.А. Опытные-промышленные испытания очистки шахтных вод Восточного Донбасса // Строительство-2009 : материалы юбилейной международной науч.-практич. конф. Ростов н/Д : РГСУ, 2009. С. 62—65.
8. Адлер Ю.П., Маркова Е.В., Грановский Ю.В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М. : Наука, 1976. 280 с.

1. Ochistka shakhtnykh vod na predpriyatiyakh ugolnoy promyshlennosti: sb. statey pod red. B. B. Nemkovskogo. Perm : Knizhnoye izdatelstvo, 1973. 312 s.
2. *Nazarova L. N.* K voprosu o khimicheskom sostave shakhtnykh vod i ego formirovani. Obninsk: Otdel nauchno-tekhnicheskoy informatsii, 1972. 56 s.
3. ООО «Shakhtproekt». Rabochi proekt «Ochistnye sooruzheniya shakhtnykh vod shakhty «Glubokaya», predusmotrenny obedinennym proektom likvidatsii osobo ubytochnykh shakht-filialov OAO «Rostovugol» (shakhta « Glubokaya»). Razd. 11. Okhrana okruzhayushey sredy. T. 1. Kn. 2. SPb. 88 s.
4. *Smolyanichenko A. S., Serpokrylov N. S.* Snizhenie energopotrebleniya sistem aeratsii stochnykh vod // Vestnik TGASU. 2010. № 3. S. 42—49.
5. Eksperimentalnoe obosnovanie ispolzovaniya shlamov shakhtnykh vod v vodoochistke / G. N. Zemchenko, A. A. Gracheva, A. A. Marochkin, V. V. Tolmachev, N. S. Serpokrylov, S. A. Shcherbakov // Tekhnologiya ochistki vody «Tekhnovod-2008» : materialy 4 Mezhdunarodnoy nauch.-praktich. konf. Kaluga, 26—29 fevr. 2008 g. Novochoerkassk : ONIX+, 2008. S. 194—197.
6. *Shcherbakov S. A., Barinov M. Yu., Serpokrylov N. S.* Intensifikatsiya ochistki shakhtnykh vod // Stroitelstvo-2007 : materialy mezhdunarodnoy nauch.-praktich. konf. Rostov n/D : RGSU, 2007. S. 33—34.
7. *Barinov M. Yu., Shcherbakov S. A., Terenteva A. A.* Opytno-promyshlennyye ispytaniya ochistki shakhtnykh vod Vostochnogo Donbassa // Stroitelstvo -2009 : materialy yubileynoy mezhdunarodnoy nauch.-praktich. konf. Rostov n/D : RGSU, 2009. S. 62—65.
8. *Adler Yu. P., Markova Ye. V., Granovsky Yu. V.* Planirovaniye eksperimenta pri poiske optimalnykh usloviy. M. : Nauka, 1976. 280 s.

© Серпокрьлов Н.С., Щербаков С.А., 2011

Поступила в редакцию  
в августе 2011 г.

Ссылка для цитирования:

*Серпокрьлов Н.С., Щербаков С.А.* Повышение эффективности очистки шахтных вод // Интернет-вестник ВолгГАСУ. Сер.: Политематическая. 2011. Вып. 3(17). Режим доступа: [www.vestnik.vgasu.ru](http://www.vestnik.vgasu.ru).