Кондрашкин А.В.

Генеральный директор (НПП Би-ТЭК)

Кузовков С.В.

инженер НИОКР (НПП Би-ТЭК)

Рудник и родник

Технологические подходы к очистке карьерных и подотвальных вод при добыче руд цветных металлов

Аннотация

Рудничные воды, образующиеся в большом количестве при эксплуатации месторождений цветных металлов, по происхождению являются грунтовыми и атмосферными и характеризуются высокой минерализацией. Очистка данного вида вод до ПДК «Рыбхоз» либо СанПиН 2.1.4.1074-01 — сложный процесс, требующий от предприятий отрасли значительных капитальных и эксплуатационных затрат.

В статье рассматриваются различные технологические подходы к очистке карьерных вод, отличающиеся друг от друга экономическими параметрами эксплуатации, а также целесообразностью их применения в зависимости от особенностей таких вод и экологических задач предприятия. Обобщен российский и зарубежный опыт эксплуатации очистных сооружений карьерных вод.

Ключевые слова:

Добыча цветных металлов, карьерные воды, минерализация, защита окружающей среды, известкование, ионный обмен, баромембранная технология.

При разработке карьеров под нужды горнодобывающей промышленности образуются большие объемы рудных вод с высокой степенью минерализации. Технология их очистки зависит от особенностей добываемых в каждом конкретном случае руд цветных металлов и экологических задач предприятия. Так как стремление свести затраты к минимуму является вполне естественным, инженерные компании прибегают к комбинированию различных систем очистки карьерных вод с целью найти их оптимальное сочетание. Тем не менее преимущественно выделяют три метода эффективной очистки — известкование, ионный обмен и баромембранная технология.

Химический состав рудничных вод определяется видом добываемой руды и составом воды водоносных горизонтов, вскрываемых при проведении горных работ. Рудничные воды содержат частицы породы, песок, глину, минеральные соли, тяжёлые металлы, органические вещества, минерализация существенно превышает 1 000 мг/л. Большой объём вод такого состава, преимущественно сбрасываемый в водоёмы без очистки (либо с низким ее качеством), негативно сказывается на состоянии окружающей (водной) среды.

Рассмотрим 3 основных метода очистки карьерных вод.

1. Известкование. Это реагентный метод, достаточно распространенный в России: вода обрабатывается известковым молоком — суспензией гашеной извести — ($Ca(OH)_2$). Известь — наиболее дешёвый и доступный материал, использующийся в качестве коагулянта, осадителя тяжёлых металлов и как химический реагент.

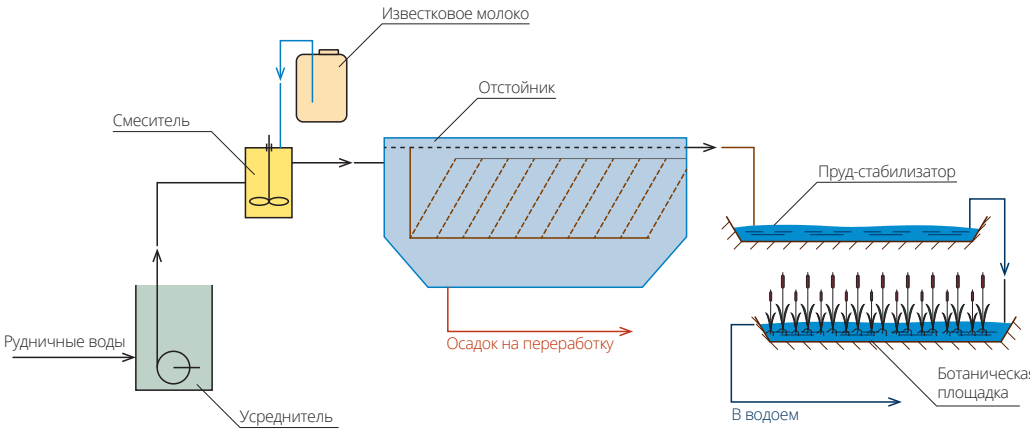


Рис. 1. Очистка рудничных вод известкованием

В рудничные воды вводится определённое количество известкового молока. Это позволяет провести осветление сточных вод, частично удалить из них нефтепродукты и синтетические поверхностно-активные вещества (СПАВ), связать катионы тяжёлых металлов в виде нерастворимых соединений [1]. Интенсификация процесса осветления может быть достигнута путём введения коагулянтов и флокулянтов.

Другим эффектом известкования является связывание сульфат-ионов в нерастворимую форму при перещелачивании сточных вод. Образующийся при этом осадок сульфата кальция может быть использован при получении строительного гипса.

Избыточное количество кальция, вводимое при перещелачивании с известковым молоком, выделяется из воды в виде карбоната кальция при рекарбонизации, которая проводится в пруде-стабилизаторе: при взаимодействии с CO_2 осуществляется осаждение кальция в виде карбонатов, которые могут быть использованы в качестве добавки при производстве строительных материалов [2].

Известь — наиболее дешёвый и доступный материал, использующийся в качестве коагулянта, осадителя тяжёлых металлов и как химический реагент

ПЛЮСЫ И МИНУСЫ ИЗВЕСТКОВАНИЯ

- **Простота технологии.**
- **Доступность и дешевизна основного реагента очистки.**
- **Осадки, получаемые в результате очистки воды, легко выделяются, нетоксичны и могут быть использованы в строительстве.**
- **Низкое энергопотребление оборудования**

- **Технология не позволяет снижать содержание сульфатов в воде до норм сброса в водоёмы рыбохозяйственного назначения.**
- **Требуется отведение больших площадей под пруды-стабилизаторы и ботанические площадки.**
- **Потребность в достаточно большом количестве основного реагента.**
- **Технология не позволяет снизить минерализацию рудничных вод, обусловленную хлорид-ионами, ионами натрия и калия**

Для финальной очистки предусматривается обработка воды на ботанической площадке, заселённой высшими водными растениями, позволяющими снизить концентрацию тяжёлых металлов и сульфатов до нормативов сброса в водоёмы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения. Для очистки 1 м^3/ч сточных вод требуется 120 м^2 площади ботанической площадки [3]. (*Рис. 1*)

Подход эффективен для рудничных вод с преимущественным содержанием ионов кальция, магния и сульфат-ионов при наличии свободных природных или техногенных ландшафтов для устройства прудов-накопителей и ботанических площадок, при условии отведения очищенных рудничных вод в водоёмы хозяйственно-питьевого и культурно-бытового назначения.

2. Ионный обмен. Снижение минерализации рудничных вод, обусловленной хлоридами натрия и калия, возможно только при применении технологий обессоливания. В частности, в России большое распространение в 1990–2000-е гг. приобрел метод ионного обмена, принцип которого заключается в пропускании воды через слой катионита [Кат] в H^+ форме, а затем через слой анионита [Ан] в OH^- форме. При этом катионит обменивает катионы металлов на ионы H^+, а анионит — анионы солей (хлориды, сульфаты) на ионы OH^-:

$$[Кат]\,H + Me^+ + A^- \leftrightarrow [Кат]\,Me + H^+A^-,$$

$$[Ан]\,OH + H^+A^- \leftrightarrow [Ан]\,A + H_2O.$$

Перед подачей на ионообменные фильтры рудничные воды должны быть тщательно очищены от взвешенных, коллоидных, а также органических веществ.

Взвешенные и коллоидные вещества удаляются при осветлении (коагулирование, отстаивание, фильтрация), при этом частично может быть снижено и значение окисляемости воды. Для полного соответствия требованиям по этому показателю (7 мгО/л) должны применяться сорбционные и окислительные методы очистки, характеризующиеся высокими капитальными и эксплуатационными затратами.

Существенной статьёй расхода является приобретение кислоты и щёлочи, требующихся для регенерации ионообменной смолы. Их количество доходит до 120 кг на 1 м^3 ионообменной смолы на одну регенерацию, при этом количество регенераций в сутки может достигать трёх. Количество отработанных регенерационных растворов составляет до 5% от производительности. (*Рис. 2)* Эти растворы подлежат обязательной нейтрализации и последующей утилизации.

Общее количество воды, потребляемое на собственные

Существенной статьёй расхода является приобретение кислоты и щёлочи, требующихся для регенерации ионообменной смолы. Их количество доходит до 120 кг на 1 м^3

ПЛЮСЫ И МИНУСЫ ИОННОГО ОБМЕНА

Относительно малое количество жидких отходов — до 5% от производительности.	**Большая потребность технологии в воде на собственные нужды — до 35% от производительности.**
Отработанная технология.	**Потребность в реагентах для регенерации ионообменной загрузки, проблема утилизации отработанных регенерационных растворов.**
Малые капитальные и энергозатраты	**Сложность технологии (большое количество циклов регенерации).**
	Чувствительность смол к органическим веществами, содержащимся в воде (окисляемость воды, ХПК)

Рис. 2. Участок регенерации ионообменной смолы

нужды, составляет около 35% от производительности: сюда входит исходная осветлённая вода на взрыхление смолы, а также обессоленная вода для получения регенерационных растворов, медленной и быстрой отмывки. В связи с этим требуются достаточно большие ёмкости для обессоленной воды для приготовления и дозирования регенерационных растворов, а также необходим ввод дополнительных комплектов насосного оборудования.

Эксплуатационные расходы технологии ионного обмена растут пропорционально солесодержанию обрабатываемой рудничной воды. Технология оптимальна в случае достаточно малой минерализации (1,5-2,0 г/л), и низкого значения окисляемости.

3. Баромембранная технология. Включает в себя обратный осмос, нанофильтрацию, микро- и ультрафильтрацию. Сочетание мембранных и традиционных технологий (коагулирование, отстаивание, фильтрация через песчаную или иную зернистую загрузку) позволяет решить широкий спектр задач, возникающих как при очистке «соленых» рудничных вод. Данный подход к деминерализации — устоявшаяся зарубежная практика, широко применяемая в Европе, Ближнем Востоке, Китае.

Для удаления из рудничных вод хлорида калия и натрия требуется применение технологии обратного осмоса. В обессоливаемой воде не должно быть взвешенных и коллоидных частиц, растворенных органических веществ, а также большого количества солей жесткости. Эти требования достигаются при предочистке воды с помощью микро- или ультрафильтрации (удаление взвешенных и коллоидных частиц), нанофильтрации (удаление органических растворённых веществ и солей жёсткости). Перед этими стадиями вода потребует осветления для удаления основной массы взвешенных и коллоидных частиц. Именно на этом этапе целесообразно применение коагулирования с последующим отстаиванием, фильтрации на песчаных фильтрах или контактного осветления. (*Рис. 3, 4*)

Образующиеся в процессе очистки жидкие высокоминерализованные растворы и шламы могут быть переработаны до влажности 30-40% с помощью многостадийной выпарной установки, спроектированной специально для

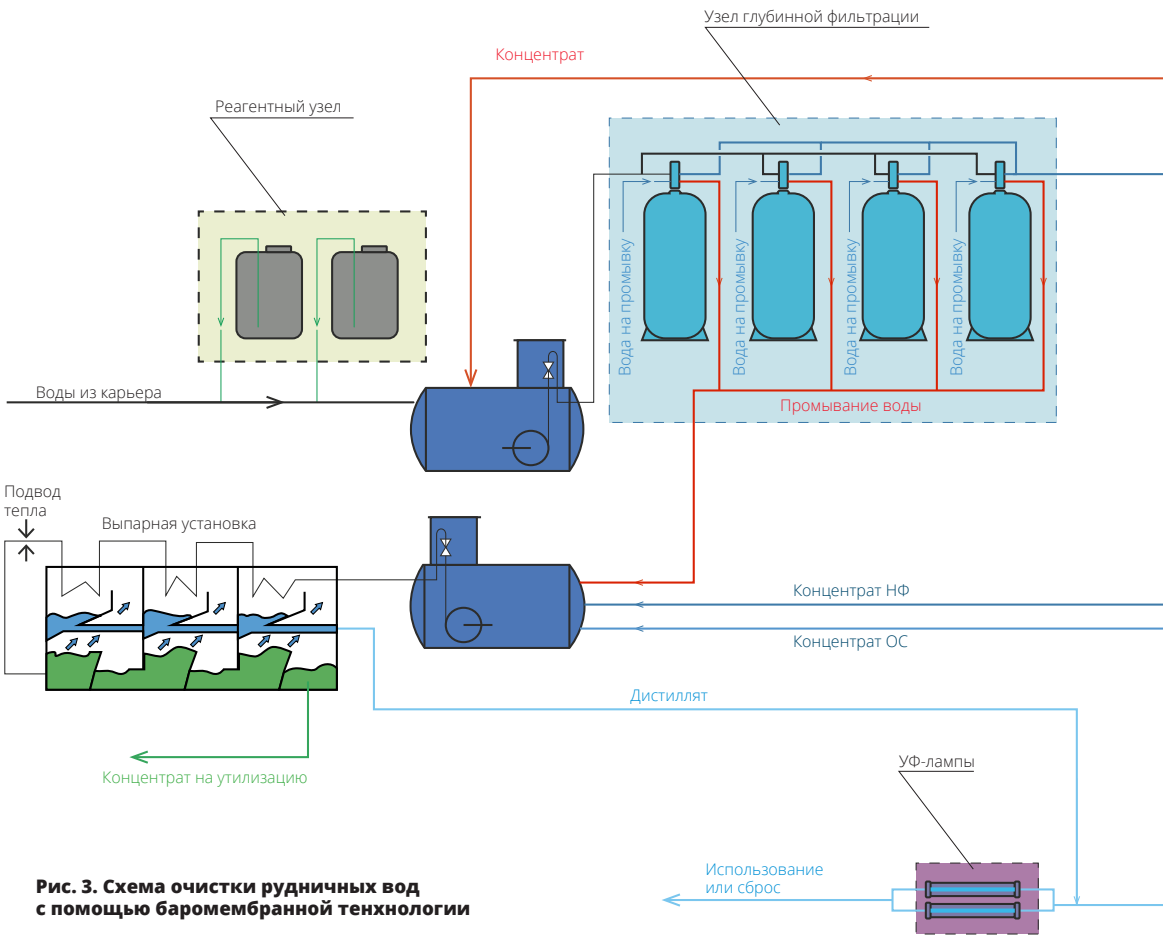


Рис. 3. Схема очистки рудничных вод с помощью баромембранной тенхнологии

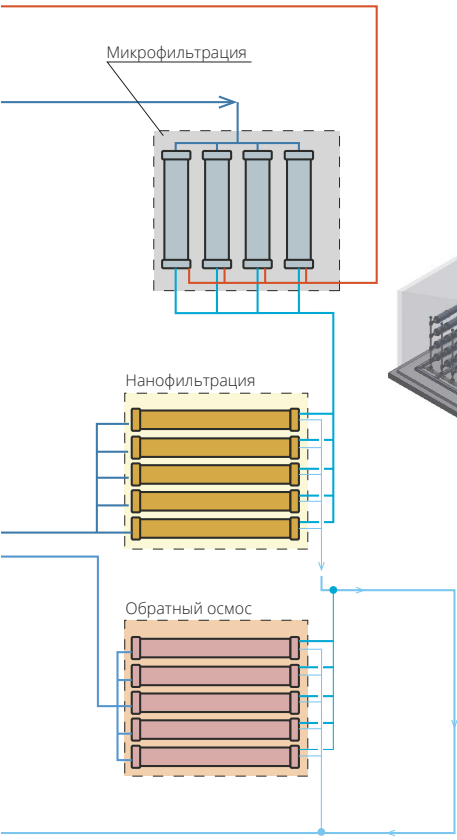
такого типа отходов. Другим способом утилизации высокоминерализованных растворов является получение из них полезных продуктов. Например, известен способ получения сульфата натрия из концентрата стадии обратного осмоса [4]. Шламы процесса осветления в таком случае перерабатываются отдельно.

Применение баромембранных технологий выгодно отличается отсутствием потребности в большом количестве реагентов, при этом полная автоматизация оборудования позволяет существенно сократить трудозатраты обслуживаю-

ПЛЮСЫ И МИНУСЫ БАРОМЕМБРАННОЙ ТЕХНОЛОГИИ

- Малая потребность технологии в реагентах.
- Высокий потенциал автоматизации.
- Высокое и надёжное качество очистки воды от всех загрязнений.
- Компактность основного оборудования

- Проблема утилизации жидких отходов, количество которых может достигать 20-25% от производительности.
- Потребность в периодической замене мембранных элементов.
- Чувствительность схемы к перерывам в работе.
- Относительно высокие энергозатраты



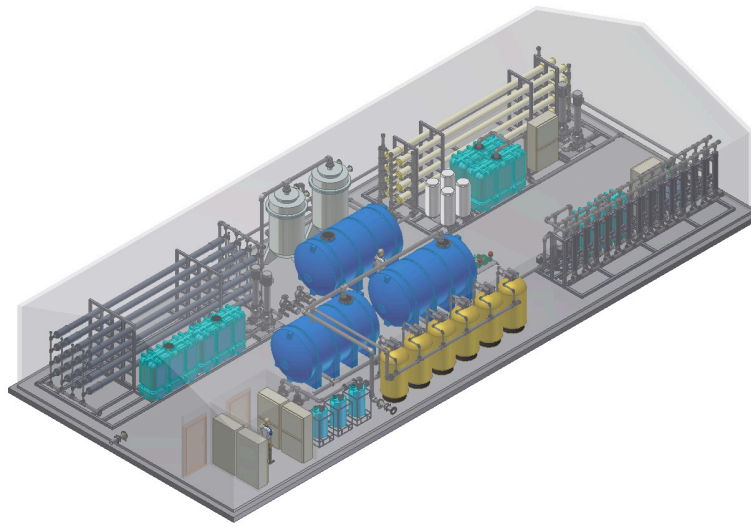


Рис. 4. Общий вид комплекса очистки рудничных вод на базе баромембранной технологии

Применение баромембранных технологий выгодно отличается отсутствием потребности в большом количестве реагентов

щего персонала, а также проводить диагностику и контроль состояния оборудования из удалённого центра. Применение технологии целесообразно при минерализации рудничных вод свыше 2 г/л, обусловленной хлоридами натрия и калия, при необходимости сброса очищенных рудничных вод в водоёмы рыбохозяйственного назначения.

ВЫВОДЫ: первостепенная задача российских инженерных компаний (не являющихся непосредственными производителями основного технологического оборудования) — комплектование систем очистки карьерных вод с оптимальным сочетанием различных методов для достижения необходимого Заказчику экономического и экологического результата с минимальными затратами. В частности, каждая скомплектованная НПП Би-ТЭК система — это инструмент для достижения конкретных целей и задач предприятия, имеющий при этом свои преимущества и недостатки. Ключевым фактором является умение использовать эти инструменты в нужной конфигурации. ■

Литература

1. Милованов Л. В. Очистка и использование сточных вод предприятий цветной металлургии. Изд.: Металлургия. 1971. С. 384.
2. Аксенов В. И., Вараева Е. А. Особенности очистки сточных вод горно-обогатительных комбинатов // Сб. мат. XIII Междунар. научн.— практ. симпозиума и выставки «Чистая вода России». 2015. С. 360-364.
3. Селицкий Г. А. Технологическая схема очистки карьерных и подотвальных вод // Экология производства. 2005. № 9.
4. Десятов А. В. и др. Опыт использования мембранных технологий для очистки и опреснения воды. М.: Химия. 2008. С. 240.