

## МЕНЕДЖМЕНТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШАХТНЫХ ВОД

С.П. Высоцкий<sup>1</sup>, д. т. н., профессор; С.Е. Гулько<sup>2</sup>, к. т. н.

<sup>1</sup> ГОУ ВПО «Донбасская национальная академия строительства и архитектуры»

<sup>2</sup> Институт Донгипрошахт

**Аннотация.** Эксплуатируемые и закрытые шахты создают мировую проблему загрязнения окружающей среды. К вредным воздействиям относятся подтопление территорий и их заболачивание, размыв почв, загрязнение поверхностных вод и неблагоприятное воздействие на здоровье населения. Рассмотрены процессы загрязнения шахтной воды и проблемы менеджмента их использования. При относительно простой обработке шахтные воды могут использоваться в оборотных системах охлаждения, а при использовании обратного осмоса – для получения глубоочищенной воды. Оценены уровни потерь воды в циклах генерации электрической энергии.

**Ключевые слова:** шахтная вода, загрязнение, очистка, генерация энергии, энергоноситель, потери, железо

**Постановка проблемы.** Проблема закрытия шахт и загрязнения окружающей среды сточными водами является общемировой. Например, в Соединенных Штатах Америки закрыто около 557 тысяч шахт. На период завершения прошлого века в этой стране 19 300 км ручьев и рек, и 7200 га озер и водохранилищ были значительно загрязнены шахтными водами [1, 2]. Действующие шахты составляют только небольшую часть по сравнению с закрытыми. В ряде городов Российской Федерации, само название которых связано с шахтами (Шахты, Новошахтинск), шахты полностью закрыты. Аналогичная ситуация существует в Донбассе.

Прекращение откачивания воды из действующих и закрытых шахт вызывает повышение уровня грунтовых вод и увеличивает опасное воздействие на окружающую среду. Указанные воздействия многосторонние. Первое воздействие – подтопление многих территорий, их заболачивание. Размыв почв приведет к массовому обрушению строений [3]. Следующее воздействие – загрязнение почвенных вод, почв, воды в колодцах. И, наконец, подъем уровня воды в затопленных шахтах приведет к вытеснению радона и метана. Эти токсичные и взрывоопасные газы могут скапливаться в подвалах, что может привести к массовым отравлениям или взрывам.

Многие загрязнители шахтных вод являются биологически активными веществами. Высокоактивные в биологическом отношении химические соединения могут вызвать эффект отдаленного влияния на здоровье человека: хронические воспалительные заболевания различных органов, изменение нервной системы, действие на внутриутробное развитие плода, приводящее к различным отклонениям у новорожденных.

Медики установили прямую связь между ростом числа людей, болеющих аллергией, бронхиальной астмой, раком, и ухудшением экологической обстановки в данном регионе. Достоверно установлено, что такие отходы производства, как хром, никель, бериллий, асбест, многие ядохимикаты, являются канцерогенами, то есть вызывающие раковые заболевания. Еще в прошлом веке рак у детей был почти неизвестен, а сейчас он встречается все чаще и чаще. В результате загрязнения появляются новые, неизвестные ранее болезни. Причины их бывает очень трудно установить.

**Целью исследования** является оценка неблагоприятных воздействий действующих и закрытых шахт на окружающую среду и поиск путей минимизации использования пресных вод.

В мире с каждым годом усиливается антипатия сообщества к добыче полезных ископаемых. Существует напряженность отношений между обществом



**Высоцкий  
Сергей Павлович**



**Гулько Сергей  
Евгеньевич**

и представителями государственной или корпоративной собственности, которые неспособны компенсировать нисходящий поток загрязнений и потерь, связанных с добычей и переработкой природных ресурсов. Многолетние сбросы шахтных вод в поверхностные водоемы привели к массовому загрязнению поверхностных вод, изменению экологии рек и целых ландшафтов. Запасы рыбы сократились на 90–100 %, а прибрежные сельскохозяйственные земли деградировали и зачастую выведены из сферы производства. Особо следует отметить возможности использования поверхностных вод на предприятиях и в коммунальной сфере на территориях, расположенных ниже по течению рек, подвергшихся загрязнению. Особенно остро будет стоять проблема обеспечения населения водой приемлемого качества.

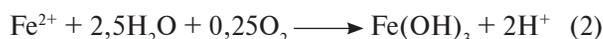
В центре дискуссий или напряженностей, возникающих в мировой практике проблем, до 60 % находятся именно проблемы с водой [4]. Возникает необходимость организации менеджмента шахтных вод – выбора направлений их очистки и использования.

Основные направления организации устойчивого менеджмента приведены на диаграмме [5].

Для правильного выбора направлений необходимо учитывать химизм процесса поступления загрязнений в шахтные воды.

Шахтные воды образуются за счет фильтрации поверхностных вод в подземные горизонты. В процессе просачивания поверхностных вод они насыщаются солями, присутствующими в породах, находящихся над выработками. В существующих схемах откачки шахтных вод и их накопления в прудах-осветлителях происходит многократная циркуляция воды по контуру шахта – пруд – шахта. При этом значительно увеличивается концентрация растворимых солей в шахтной воде.

Во многих случаях происходит загрязнение шахтной воды соединениями сульфат-ионов, железа, а также подкисление воды. При деградации большинства шахтных вод имеют место процессы окисления железосульфидных минералов, таких как пирит  $FeS_2$ . В процессе окисления сульфидов до сульфатов и при окислении и гидролизе двухвалентного железа образуется равное количество ионов водорода по схемам:



Железоокисляющие бактерии увеличивают скорость окисления пирита по двум механизмам: прямое окисление по реакции (1) и окисление двухвалентного железа до трехвалентного, которое в свою очередь является окислителем для сульфидных соединений.

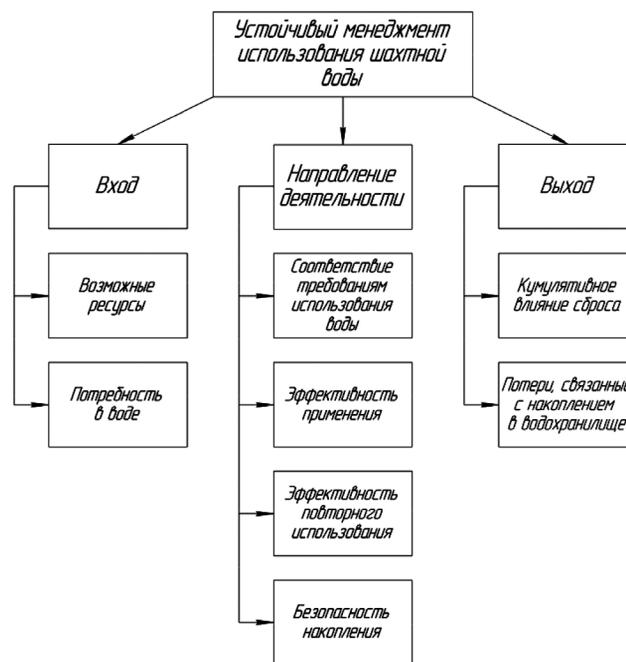


Рис. 1. Виды менеджмента использования шахтных вод

Основной процесс, обеспечивающий начальное закисление среды, является прямое окисление, т. е. процесс гидролиза  $Fe^{3+}$  и образование  $Fe(OH)_3$  является настолько быстрым, что не обеспечивают возможность участия  $Fe^{3+}$  в процессе окисления сульфидсодержащих соединений. При снижении уровня pH скорость абиотического окисления  $Fe^{2+}$  быстро снижается согласно уравнению:

$$-\frac{dFe^{2+}}{d\tau} = k \frac{(O_{r(вод.)})(Fe^{r_k})}{(H^+)^2}, \quad (3)$$

где:  $Fe^{2+}$ ,  $O_{2(вод.)}$ , и  $(H^+)$  – активности веществ,  $k$  – константа скорости реакции,  $\tau$  – время.

Одним из наиболее распространенных загрязнителей шахтных вод являются ферро-ионы  $Fe^{2+}$ . В процессе окисления загрязнений в поверхностных водах  $Fe^{2+}$  окисляется до  $Fe^{3+}$  по реакции (2). Согласно указанному уравнению один моль кислорода обеспечивает окисление четырех молей  $Fe^{2+}$ . Это соответствует окислению 7 мг  $Fe^{2+}$  на 1 мг  $O_2$ . Растворимость кислорода в воде зависит от температуры и давления. Для общепринятой концентрации кислорода 8 мг/дм<sup>3</sup> концентрация железа  $Fe^{2+}$  55 мг/дм<sup>3</sup> может быть окислена без дополнительной аэрации шахтной воды.

Кроме соединений железа, в шахтной воде присутствуют соединения других тяжелых металлов. Основным методом очистки шахтной воды от этих соединений является её обработка известью. Учитывая существенное различие оптимальных уровней pH для их осаждения, для минимизации воздействия на окружающую среду требуется применение много-

ступенчатой (по крайней мере, двухступенчатой) обработки воды раствором извести [6].

Дефицит пресных вод и увеличение их стоимости вызывают необходимость их разумного использования и применения альтернативных источников воды. На многих предприятиях таких отраслей, как энергетика, химия и металлургия, в качестве альтер-

нативного источника используют шахтные воды. Применение современных обратноосмотических технологий позволяет решить проблему многотоннажного использования шахтных вод даже при необходимости глубокой очистки воды. На рис. 2 приведен баланс потоков воды при использовании шахтной воды на концерне «Стирол» (г. Горловка).

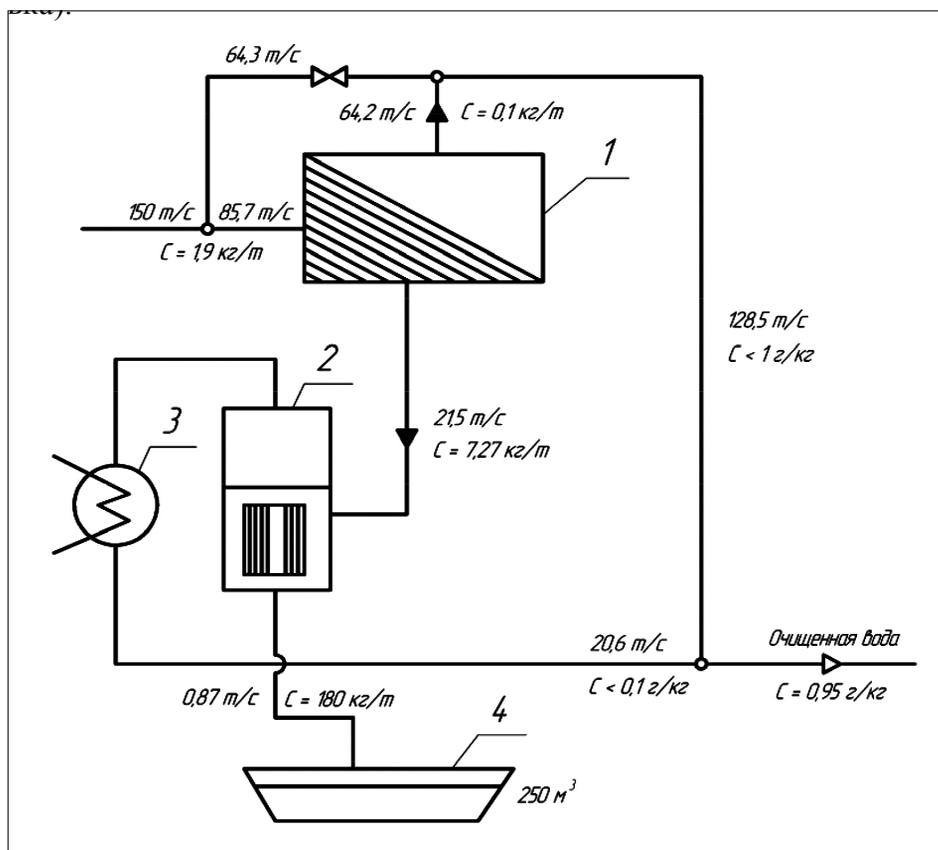


Рис. 2. Баланс потоков воды и концентрация солей в потоках на примере ПО «Стирол»  
1 – обратноосмотическая установка; 2 – испаритель; 3 – конденсатор; 4 – бассейн выдержки

Значительные объемы воды расходуются при добыче и применении различных энергоносителей (табл. 1).

Таблица 1. Расход воды в процессе добычи и применения различных энергоносителей

№ п/п	Тип энергоносителя	Расход энергоносителя, литров воды на МВтч	
		диапазон	среднее значение
1	Сланцевый газ	13–78	39
2	Ядерное топливо	104–182	143
3	Традиционная нефть	104–260	182
4	Синтетический газ (при газификации угля)	143–338	234
5	Уголь энергетический	169–416	299
6	Сланцевое масло	286–728	507
7	Нефтеносный песок	381–884	611
8	Топливный этанол из зерновых	33–378	205
9	Биодизель из сои	182–975	578

Из приведенных в таблице данных следует, что из четырех самых экономичных по потреблению воды видов топлива на эквивалент полученной энергии в МВтч приоритетным является сланцевый газ.

Для ядерного топлива – урана, готового к использованию в реакторах, обогащенного и упакованного в ТВЭЛы, требуется в среднем 143 л/МВтч. Для синтетического газа, полученного путем газификации угля,

требуется 234 л/МВтч. При добыче угля требуется значительное количество воды. Это обусловлено тем, что в некоторых странах (США, ФРГ, Япония) угли обогащают как руду. На эти процессы расходуются дополнительно вода и энергия. При этом зола и ее составляющие, влияющие на экологическую ситуацию, не транспортируются до потребителя.

Следует отметить еще один важный фактор – расходование воды при генерации энергии, использовании приведенного энергетического потенциала носителей. Природный и синтетический газ, а также нефтепродукты позволяют генерировать энергию с использованием комбинированных циклов генерации энергии (КЦГЭ) с КПД 55–58 %. В традиционных энергетических циклах (ТЦГЭ), применяемых на ТЭС Донбасса, КПД составляет не более 33 %. Если учесть потерю тепла с уходящими газами в котлоагрегатах 17 %, то потеря воды на безвозвратное испарение в циркуляционных системах, используемых для конденсации пара, в градирнях или прудах-охладителях сокращается в первом случае в 2 раза.

Это обусловлено тем, что потери энергии на испарение воды в циркуляционных системах для комбинированных циклов генерации энергии составляют около 25 %, а для традиционных циклов – 50 %.

Соответственно, потери воды на испарение в циркуляционных системах в КЦГЭ составляет 0,36 т/МВтч, а в ТЦГЭ – 0,72 т/МВтч.

При генерации электрической энергии в ядерных энергетических установках потери воды на испарение в оборотных системах водоснабжения составляют 1 т/МВтч. Таким образом, эти установки нецелесообразно использовать в регионах, испытывающих дефицит воды.

Эти показатели существенно превышают значения расходования воды, приведенные в таблице, и изменяют показатели приоритетов использования воды при применении различных энергоносителей.

В докладе Гринпис «Великая кража воды: как угольная промышленность углубляет глобальный кризис водных ресурсов» экологи утверждают, что использование угля приводит не только к загрязнению атмосферы и негативному влиянию на климат, но и лишает расходование самого ценного ресурса – воды. Обнаружен факт, характерный и для Донбасса, что угольные предприятия и угольные электростанции расположены, в основном, в регионах, которые уже испытывают проблемы обеспечения пресной водой. При этом нерациональное использование водных ресурсов уже оказывает негативное влияние на экосистемы, а дефицит пресной воды является приоритетным фактором. Регионы с указанными приоритетами включены в «красный список» Гринпис.

Детальный анализ показателей потребления воды на электростанциях, выполненный специалистами Гринпис, и прогнозы Международного Энергетическо-

го Агентства (МЭА) указывают на то, что потребление воды в секторе электроэнергетики может вырасти на 85 % до 2035 года. При этом согласно МЭА увеличение использования воды будет происходить на электростанциях, где намерены применять технологию сокращения эмиссии диоксида углерода (СЭДУ). Учитывая то, что увеличение эмиссии паров воды, связанное с использованием СЭДУ, вызывает повышение парникового эффекта, требуется существенная корректировка программ предотвращения изменения климата.

## ВЫВОДЫ

1. Дефицит и увеличение стоимости пресных вод вызывают необходимость использования альтернативных источников, в качестве которых могут быть применены шахтные воды.

2. Рассмотрены процессы загрязнения шахтных вод солями, соединениями железа, сульфат-ионов и подкисления воды.

3. Выполнена оценка потерь воды в циклах генерации электрической энергии. Основные потери воды происходят в циркуляционных системах охлаждения конденсаторов турбин. В Донбассе существует опыт использования шахтных вод для подпитки циркуляционных систем.

4. Приведены балансы потоков воды при использовании шахтной воды в качестве источника водоснабжения для концерна «Стирол».

## Список литературы:

1. Karletta Chief. *Understanding the Gold King Mine Spill / Karletta Chief, Janick F. Artiola, Sarah T. Wilkinson, Palama Beamer, Raina M. Maier. University of Arizona Support and Research Program, 2016, p. 11.*
2. George R. Watzlaf. *The Passive Treatment of Coal Mine Drainage / George R. Watzlaf, Karl T. Schroeder, Robert L. P. Kleinman, Candau L. Kairies, Robert W. Nairn. US Department of Energy National Energy Technology Laboratory, Pittsburg, p. 71, 2004.*
3. Высоцкий С.П. Риски затопления шахт и использование шахтных вод / С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько, В.В. Лихачева // *Вестник Автомобильно-дорожного института Донецкого национального технического университета, № 1 (18), 2016. – Горловка: АДИ, 2016. – С. 88–95.*
4. S. Jackson and M. Barbor. *Recognizing indigenous water cultures and rights in mine water management: the role of negotiated agreements. World Water Week, Stockholm, Sweden. Aquatic Procedia, 5 (2015), pp. 81–89.*
5. Xiang-feng Zhang. *Evaluating Water Management Practice for Sustainable Mining / Xiang-feng Zhang, Lei Gao, Damian Barrett, Yun Chen. Water 2014, 6, p. 414–433.*
6. Высоцкий С.П. Снижение вредного воздействия горных предприятий на окружающую среду / С.П. Высоцкий, С.Е. Гулько // *Научный вестник НИИГД Респиратор, № 1 (54), 2017. – Донецк, 2017. – С. 65–74.*