

И.В. Пестряк

ОБОСНОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА ЭФФЕКТИВНЫХ МЕТОДОВ КОНДИЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРОТНЫХ ВОД ОБОГАТИТЕЛЬНЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

Аннотация. Разработка и внедрение замкнутых схем водооборота предполагает вовлечение в оборотные воды бытовых и технологических стоков. Снижение в оборотных водах концентрации ионов меди и технических жирных кислот, вызывающих снижение показателей флотации, достигается их осаждением при проведении операции предварительного смешивания потоков сточных вод с регулированием pH. С применением результатов термодинамических расчетов предложены оптимальные режимы водоподготовки, эффективность которых подтверждена результатами промышленных испытаний. Достигаемые результаты обеспечивают снижение концентраций ионов меди и технических жирных кислот в сточных водах, расширяют базу источников оборотной воды и, соответственно, снижают расход свежей природной воды. При этом не происходит снижения технико-экономических показателей обогащения медно-молибденовых руд в условиях применения замкнутых схем водооборота.

Ключевые слова: оборотные воды, кондиционирование, осадительная очистка, катионы меди, жирные кислоты, флотация руд, подземные воды.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-153-159

В условиях замкнутого водооборота на горно-обогажительных предприятиях происходит усложнение ионно-молекулярного состава жидкой фазы пульпы [1, 2]. Основными источниками тяжелых металлов, которые накапливаются в сточных водах, являются стоки хвостохранилища и рудника [3, 4] Это оказывает негативное влияние на технологические показатели процесса флотации. Требования, предъявляемые к составу оборотных вод, предполагают использование дорогостоящих схем и методов очистки стоков [4, 5].

С целью использования загрязненных вод в обогательном переделе одной из задач является вовлечение новых источников оборотной воды. В качестве потенциальных источников оборотной воды на КОО «Предприятия «Эрдэнэт» рас-

сматривались фильтрационные воды хвостохранилища, стоки городских очистных сооружений и золоотвала ТЭЦ.

Фильтрационные воды имеют слабокислую реакцию среды, высокую концентрацию сульфат ионов и заметные концентрации ионов тяжелых металлов [6]. Для бытовых стоков характерны более низкие значения pH среды (7,33), уменьшенные концентрации ионов меди, железа, кальция, но существенно более высокие концентрации органических соединений, которые на 30% представлены непредельными жирными кислотами ряда C17 — C21.

Стоки золоотвала ТЭЦ, сбрасываемые в реку, имеют довольно стабильный ионный состав по сравнению с другими исследованными стоками. Их характеризует повышенная щелочность (8,7–9,0) и

низкое содержание органических соединений. Количественные показатели по кислотным остаткам и щелочноземельным элементам близки к наблюдаемым значениям в стоках хвостохранилища.

Ранее проведенными исследованиями было установлено, что повышенное содержание ионов меди, железа, цинка в оборотной воде ведет к снижению качества товарных медно-молибденовых концентратов вследствие недоизвлечения в концентрат от 1,5 до 2% ценных компонентов. Попадание в оборотную воду, а затем в пульпу, технических жирных кислот также приводит к снижению показателей флотации за счет извлечения в коллективный концентрат кальцийсодержащих породообразующих минералов, в частности, кальцита [7].

Наиболее простым и эффективным способом повышения технологических свойств оборотных вод является применение химического связывания ионов тяжелых металлов в нерастворимые соединения. Такой способ может быть реализован при смешивании потоков оборотной воды с максимальной концентрацией ионов тяжелых металлов и ионов-осадителей, представленных, к примеру, в виде карбонатных, силикатных, жирнокислотных и гидроксильных ионов. Такими потоками в нашем случае являются бытовые стоки, стоки золоотвала и фильтрационные воды.

Для обоснования и выбора наилучших условий протекания реакций осаждения нежелательных ионов, при объединении стоков, необходимо установить их механизмы. В стоках и фильтрах в качестве исходных форм были рассмотрены ионы меди, кальция, магния, двух- и трехвалентного железа, ионно-молекулярные формы угольной и олеиновой кислот, водородные и гидроксильные ионы. В качестве конечных форм — все устойчивые соединения, которые образуются при их взаимодействии. Тер-

модинамически устойчивые формы соединений меди и кальция приведены в работе [8].

Для определения условий образования нерастворимых соединений, а также последовательности протекания реакций был проведен термодинамический анализ процессов взаимодействия ионов меди, кальция, магния, железа с другими компонентами жидкой фазы. Методика расчетов представлена в работах [9, 10].

При моделировании учитывались фактически имеющиеся концентрации ионно-молекулярных компонентов в стоках и требования к оборотной воде при ведении технологического процесса, в котором предполагается использование очищенных вод. Требования к ионному составу оборотной воды в виде предельно допустимых концентраций по ионам меди — 0,4 мг/л и ионам непредельных жирных кислот ряда C17 — C21 — 0,6 мг/л были определены ранее в работе [11].

Результаты термодинамического анализа показали, что образование нормального олеата меди при реальной концентрации олеиновой кислоты 10–5 моль/л происходит в слабощелочной и нейтральной средах. При увеличении pH до слабощелочной реакции среды олеат меди переходит в гидроксидокарбонат меди. Смещение pH в кислую область является нежелательным, поскольку приводит к растворению олеата меди с переходом в раствор катионов меди и молекул олеиновой кислоты.

Произведенные расчеты и проверки состава осадков подтверждают, что в стоках происходит взаимодействие олеат-ионов с ионами кальция и магния, сопровождающееся образованием нерастворимых олеатов этих металлов. Олеат кальция образуется в диапазоне pH от 5 до 9, олеат магния — при изменении pH от 5 до 12 при содержании олеат-ионов — 10^{-4} моль/л. При pH выше 9

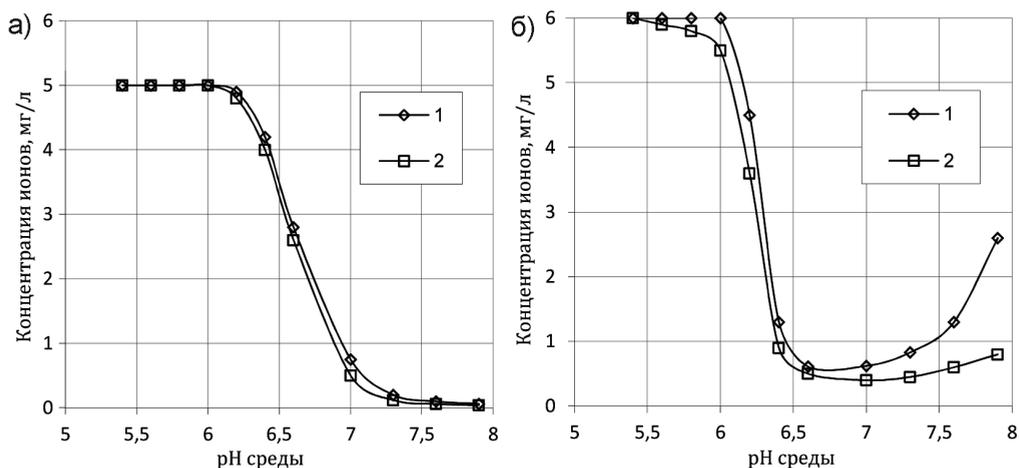


Рис. 2. Зависимости изменения концентраций ионов меди (1) и олеиновой кислоты (2) при регулировании pH объединенных дренажных вод и ХБС с использованием NaOH (а) и Ca(OH)₂ (б)
 Fig. 2. Curves of concentrations of copper ions (1) and oleic acid (2) under pH-based adjustment of mixed drain water and household effluents using (a) NaOH and (b) Ca(OH)₂

ками золоотвала ТЭЦ в весенний период не показывала необходимой устойчивости. Причиной не полного осаждения ионов меди и жирных кислот были колебания дебита и pH входящих водных потоков, существенно изменяющие концентрации ионно-молекулярных компонентов и pH воды.

Вследствие того, что pH в фильтроканале варьировалось от 6,8 до 8, необходимые условия осаждения не вы-

держивались, наблюдался «проскок» в обратное водоснабжение ионов меди и жирных кислот. Кроме того, при повышенном дебите стоков золоотвала наблюдался интенсивный вынос несгоревшего угля, который обуславливал нарушение процессов коллективной и селективной флотации за счет поглощения собирателя.

Для более полного и стабильного улавливания нежелательных ионов было

Таблица 1

Показатели процесса коллективной флотации при использовании в качестве регулятора pH при кондиционировании оборотной воды гидроокиси кальция
Efficiency of bulk flotation in case of recycling water conditioning using calcium hydroxide as pH adjuster

Режим кондиционирования	pH стока фильтроканала	Концентрация ионов меди в ОВ, мг/л	Концентрация жирных кислот в ОВ, мг/л	Содержание меди в коллективном концентрате, %	Извлечение меди в коллективный концентрат, %	Извлечение молибдена в коллективный концентрат, %
Смешивание ФВХ с ХБС	6,2–7,0	0,3–0,85	1,0–3,0	21,5	85,1	47,5
Смешивание ФВХ с ХБС и СЗ ТЭЦ	6,3–7,6	0,15–0,45	0,3–0,8	21,8	85,5	45,0
Смешивание ФВХ с ХБС и СЗ ТЭЦ при добавках извести	7,5–7,8	0,1–0,15	0,2–0,4	22,0	85,9	48,5

Таблица 2

Объем оборотных вод по открытой и замкнутой схемам
Water flow rate in open and closed circulation

Схема водооборота	Объем оборотных вод, млн м ³ /год,	Прирост, %	
		по открытой схеме	по замкнутой схеме
Ранее действующая схема с объединением слива прудка и фильтратов хвостохранилища	74,50	74,5	
Проектная схема с подачей хозяйственно-бытовых стоков в прудок хвостохранилища	79,54	82,04	10,1
Разработанная схема с предварительным смешиванием фильтрата хвостохранилища, хозяйственно-бытовых стоков и стоков шламоотвала ТЭЦ	82,76	87,54	17,5

предложено применить способ их осаждения с использованием гашеной извести, как регулятора среды. Анализ характера зависимостей показывает, что при использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ с повышением pH концентрация ионов меди снижается интенсивнее, чем при использовании NaOH (рис. 2).

Зависимость изменения концентрации олеат-ионов от pH при использовании $\text{Ca}(\text{OH})_2$ носит схожий характер, но имеет более широкий диапазон pH, в котором поддерживается минимум измеряемых концентраций жирных кислот — в области pH от 6,5 до 8, что соответствует результатам термодинамического моделирования условий связывания олеат-ионов в олеат кальция в указанном диапазоне значений pH.

По разработанной технологии предполагается смешивание фильтрационных вод хвостохранилища со стоками городских очистных сооружений и стоками золоотвала ТЭЦ при регулировании pH добавками извести. В результате смешивания таких стоков в пропорции 1:0,8:0,15, и поддержании pH на уровне

6,8—7,5 достигается существенное снижение концентрации ионов меди и жирных кислот и повышение показателей коллективной флотации (табл. 1). Вероятной причиной улучшения показателей флотации также является интенсификация процесса коагуляции и осаждения несгоревших остатков угольного органического вещества.

Общий дебит технической оборотной воды при этом возрастает на 13,04 млн м³ в год, что составляет 17,5% от текущего. Такой прирост дебита технической воды обеспечит увеличение производительности фабрики, что соответствует планам интенсификации производства на КОО «Предприятия Эрдэнэт».

Таким образом, предложенный регламент очистки стоков, включенных в схему оборотного водоснабжения ГОКа «Эрдэнэт», позволяет решить технологическую задачу снижения расхода свежей воды и сокращения потерь ценных компонентов, а также и экологическую задачу уменьшения концентрации загрязнений в приповерхностных водах промышленного узла ГОКа «Эрдэнэт».

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Морозов В. В. Научные основы очистки сточных и кондиционирования оборотных вод горно-обогатительных комбинатов с утилизацией ценных компонентов // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 1999. — № 6. — С. 14—16.

2. Баймаханов М. Т. Бессточная система водооборота обогатительных фабрик цветной металлургии с одновременным совершенствованием их технологии // Цветные металлы. — 2010. — № 4.
3. Chen J., Liu R., Sun W., Qiu G. Effect of mineral processing wastewater on flotation of sulfide minerals // Transactions of Nonferrous Metals Society of China. — 2009. 19(2). — Pp. 454–457.
4. Li Bicaia, He Lianshengb, Meng Ruib, Song Juanjuana. Research of acid mine wastewater treatment technology // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research, 2015, 7(4). Pp. 1011–1017.
5. Вдовина И. В., Сафарова В. И., Шайдулина Г. Ф. Анализ технологических решений по очистке сточных вод горно-обогатительных комбинатов // Безопасность жизнедеятельности. — 2009. — № 7. — С. 43–48.
6. Морозова О. В., Чмыхалова С. В. Применение ионообменных смол для очистки фильтратов хвостохранилища ГОКа «Эрдэнэт» от растворенной меди // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2017. — № 3. — С. 57–60.
7. Мязин В. П., Литвинцева О. В. Обратное водоснабжение обогатительных фабрик. Методы очистки и кондиционирования сточных и оборотных вод. Учебное пособие. — Чита: изд. ЗабГУ, 2011. — 153 с.
8. JANAF Thermochemical Tables. Third Edition. J. Phys. Chem. Ref. Data. 1985. Vol.14. Suppl. 1. — 948 p.
9. Гаррелс Ч., Крайст Г. Растворы, минералы, равновесия. — М.: Мир, 1967. — 407 с.
10. Абрамов А. А. Флотация. Физико-химическое моделирование процессов. Т. 6. — М.: МГУ, 2010. — 607 с.
11. Эрдэнэтуяа О., Пестряк И. В., Морозов В. В. Разработка безреагентного метода кондиционирования оборотных вод горно-обогатительного комбината «Эрдэнэт» // Горный информационно-аналитический бюллетень. — 2012. — № 8. — С. 133–136. **ПЛАБ**

КОРОТКО ОБ АВТОРЕ

Пестряк Ирина Васильевна — кандидат технических наук, доцент,
Институт базового образования НИТУ «МИСиС»,
e-mail: spestryak@mail.ru.

ISSN 0236-1493. Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'. 2018. No. 7, pp. 153–159.

Development and justification of efficient methods for recycling water conditioning at processing plants

Pestryak I.V., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor,
Institute of Basic Education, National University of Science and Technology «MISIS»,
119049, Moscow, Russia, e-mail: spestryak@mail.ru.

Abstract. Closed circulation of recycling water involves household and process effluents. The concentration of copper ions and commercial fat acids worsening flotation efficiency can be reduced by their sedimentation after preliminary mixing of effluent flows to adjust pH. Based on the data of thermodynamic calculations, the optimal modes of water treatment are proposed, and their efficiency is proved in the full-scale tests. The achieved results ensure reduction in concentrations of copper ions and commercial fat acids in effluents, expand recycling water supply and, accordingly, enable saving fresh water. The technical and economic indices of copper–molybdenum ore processing are not reduced in the conditions of closed water circulation.

Key words: recycling water, conditioning, precipitation treatment, copper cations, fat acid, flotation, ground water.

DOI: 10.25018/0236-1493-2018-7-0-153-159

REFERENCES

1. Morozov V.V. Nauchnye osnovy ochistki stochnykh i konditsionirovaniya oborotnykh vod gorno-obogatitel'nykh kombinatov s utilizatsiey tsennykh komponentov [Scientific basis of effluent treatment and

recycling water conditioning with utilization of valuable components at mining and processing plants]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 1999, no 6, pp. 14–16. [In Russ].

2. Baymakhanov M. T. Besstochnaya sistema vodooborota obogatitel'nykh fabrik tsvetnoy metallurgii s odnovremennym sovershenstvovaniem ikh tekhnologii [Closed water circulation and its technological improvement at processing plants in the nonferrous metallurgy]. *Tsvetnye metally*. 2010, no 4. [In Russ].

3. Chen J., Liu R., Sun W., Qiu G. Effect of mineral processing wastewater on flotation of sulfide minerals. *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*. 2009. 19(2). Pp. 454–457.

4. Li Bicaia, He Lianshengb, Meng Ruib, Song Juanjuana. Research of acid mine wastewater treatment technology. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2015, 7(4). Pp. 1011–1017.

5. Vdovina I.V., Safarova V.I., Shaydulina G.F. Analiz tekhnologicheskikh resheniy po ochistke stochnykh vod gorno-obogatitel'nykh kombinatov [Analysis of process solutions connected with treatment of effluents at mining and processing plants]. *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*. 2009, no 7, pp. 43–48. [In Russ].

6. Morozova O.V., Chmykhalova S.V. Primenenie ionoobmennyykh smol dlya ochistki fil'tratov khvostokhranilishcha GOKa «Erdenet» ot rastvorennoy medi [Application of ion-exchange resins in removal of dissolved copper from effluents of tailings ponds at Erdenet Mining and Processing Plant]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2017, no 3, pp. 57–60. [In Russ].

7. Myazin V.P., Litvintseva O.V. *Oborotnoe vodosnabzhenie obogatitel'nykh fabrik. Metody ochistki i konditsionirovaniya stochnykh i oborotnykh vod*. Uchebnoe posobie [Recycling water supply at processing plants. Methods of treatment and conditioning of effluents and recycling water. Educational aid], Chita, izd. ZabGU, 2011, 153 p.

8. JANAF Thermochemical Tables. Third Edition. *J. Phys. Chem. Ref. Data*. 1985. Vol. 14. Suppl. 1. 948 p.

9. Garrels Ch., Krayst G. *Rastvory, mineraly, ravnovesiya* [Solutions, minerals, equilibriums], Moscow, Mir, 1967, 407 p.

10. Abramov A. A. Flotatsiya. Fiziko-khimicheskoe modelirovanie protsessov. T. 6 [Flotation. Physico-chemical modeling, vol. 6], Moscow, MGGU, 2010, 607 p.

11. Erdenetuyaa O., Pestryak I.V., Morozov V.V. Razrabotka bezreagentnogo metoda konditsionirovaniya oborotnykh vod gorno-obogatitel'nogo kombinata «Erdenet» [Reagentless conditioning method for recycling water at Erdenet Mining and Processing Plant]. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten'*. 2012, no 8, pp. 133–136. [In Russ].



РУКОПИСИ, ДЕПОНИРОВАННЫЕ В ИЗДАТЕЛЬСТВЕ «ГОРНАЯ КНИГА»

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ КАРЬЕРА «НЕВЕРОВО» С СИСТЕМОЙ ЗАЗЕМЛЕНИЯ TN-C

(№ 1128/07-18 от 25.04.2018 г.; 12 с.)

Кожевников Никита Андреевич¹ — студент, e-mail: niki-kozhevnik@yandex.ru,

Петров Геннадий Михайлович¹ — кандидат технических наук, профессор,

e-mail: petrovgm@mail.ru,

¹ МГИ НИТУ «МИСиС».

Рассмотрены различные случаи прикосновения человека к аварийному оборудованию в электрической сети с глухозаземленной нейтралью напряжением до 1 кВ. При анализе различных случаев получены аналитические зависимости напряжения прикосновения от различных параметров электрической сети.

Ключевые слова: обогатительные фабрики, короткое замыкание, электрическая сеть с глухозаземленной нейтралью, системы заземления, дробильная установка.

THE STUDY OF ELECTRICAL NETWORKS CAREER «NEVEROVO» WITH GROUNDING SYSTEM TN-C

Kozhevnikov N.A.¹, Student, e-mail: niki-kozhevnik@yandex.ru,

Petrov G.M.¹, Candidate of Technical Sciences, Professor, e-mail: petrovgm@mail.ru,

¹ Mining Institute, National University of Science and Technology «MISIS»,

119049, Moscow, Russia.

Various cases of human contact with emergency equipment in the electric network with a dead-earthed neutral voltage up to 1 kV are considered. In the analysis of various cases, analytical dependences of the contact voltage on various parameters of the electrical network are obtained.

Key words: concentrator, short circuit, mains with earthed neutral system sazemane, crushing plant.