

Т.А. Харламова, А.Ф. Алафердов, В.М. Бахир

ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКАЯ АКТИВАЦИЯ В ТЕХНОЛОГИЯХ ОБОГАЩЕНИЯ И ПЕРЕРАБОТКИ РУД, ВТОРИЧНЫХ СЫРЬЕВЫХ РЕСУРСОВ И ОЧИСТКЕ ВОД

Рассмотрены установки на основе проточных модульных электрохимических реакторов. Установки серий АКВАХЛОР и ЭКОХЛОР позволяют получать на месте потребления из раствора хлорида натрия газообразный хлор, газообразную смесь оксидантов, раствор оксидантов, раствор гипохлорита натрия или калия, раствор гидроксида натрия, газообразный водород. Комплекс установок серии ЭКОХЛОР и ОКСИТРОН-К предназначен для получения из раствора поваренной соли соляной кислоты и раствора гидроксида натрия с максимальной производительностью по 36%-ной соляной кислоте 180 т/месяц; установка ОКСИТРОН-К – для получения раствора соляной кислоты из хлора, водорода и воды; установки серии ОКСИТРОН-М – для проведения процесса гидрохлорирования смесью соляной кислоты с газообразным хлором. Совместное применение модульных установок серии ЭКОХЛОР для производства газообразного хлора из раствора хлорида натрия, установок серии ОКСИТРОН-К для синтеза соляной кислоты из газообразных хлора и водорода, и серии установок ОКСИТРОН-М для синтеза электрохимически активированного раствора соляной кислоты, насыщенной хлором, отбор непрореагировавшего количества хлора и возвращение его в процесс в виде раствора соляной кислоты с помощью установок ОКСИТРОН-К обеспечивает экологически чистую технологию выщелачивания цветных, благородных и редких металлов из руды, шлаков, отвалов горно-обогатительных и горно-химических предприятий гидрохлорированием. Производительность системы установок серии ЭКОХЛОР-ОКСИТРОН-К по хлору составляет 10–10 000 кг/ч. Технология обеспечивает высокую эффективность процесса гидрохлоридного выщелачивания редких, благородных и цветных металлов из руд (природного сырья) и из вторичных сырьевых ресурсов: степень извлечения целевых компонентов (медь, серебро, золото, редкоземельные металлы и др.) достигает 90–99%, процесс технологически полностью замкнут, не продуцирует вредных и токсичных отходов, требует для реализации из расходных компонентов только воду, поваренную соль и электроэнергию.

Ключевые слова: обогащение, электрохимическая активация, экология, гидрохлорирование.

В горно-обогатительной промышленности все большее применение находят электрохимические технологии, позволяющие регулировать селективность разделительных процессов, более полно извлекать из руды ценные компоненты, сокращать расход флотационных реагентов, использовать в оборотном водоснабжении сильнозагрязненные стоки [1]. Влияние электрохимических технологий на эффективность обогатительных про-

цессов в первую очередь обусловлено направленным регулированием ионно-молекулярного состава жидкой фазы пульпы и соответственно физико-химических процессов на поверхности минералов [2]. Весьма перспективным направлением развития электрохимических технологий является применение в обогатительных процессах продуктов электролиза хлоридных растворов.

Компанией ООО «Делфин Аква», которая входит в ассоциацию пред-

приятый «Дельфин групп», организованное серийное производство установок на основе электрохимических проточных модульных реакторов нового поколения для получения хлора, щелочей, надсерной кислоты, пероксида водорода, выщелачивания металлов, деминерализации сточных вод и загрязненных жидкостей, пиролиза прямогонного бензина, обессеривания нефти и др. Ведется работа по созданию полностью автоматизированных установок, которые при минимальном участии человека обеспечат производства необходимыми традиционно агрессивными и опасными продуктами непосредственно у мест их потребления, исключив тем самым все опасности, связанные с их производством, кондиционированием, транспортированием, хранением и применением [3, 4].

Установки нового поколения АКВАХЛОП-М (www.delfin-aqua.com) (рис. 1), отличаются повышенной надежностью, упрощенным и облегченным техническим обслуживанием (не требуется периодическая очистка реакторов раствором соляной кислоты), возможностью регулирования соотношения хлора и диоксида хлора в смеси оксидантов и получения дополнительного количества высокоактивных гидропероксидных оксидантов, возможностью синтеза трех типов анодных продуктов – газообразной смеси оксидантов, раствора оксидантов и раствора гипохлорита концентрацией 5–12%.

Возможность регулирования соотношения между хлором и диоксидом хлора в продуктах анодного окисления является весьма важной при обеззараживании и очистки сточных вод с органическими соединениями и воды поверхностных водоисточников с большим содержанием веществ – предшественников тригалометанов. В связи с возросшей мощностью модульных элементов, модельный ряд

установок АКВАХЛОП-М состоит из установок производительностью 250, 500, 1000 и 1500 г оксидантов в час.

Серийно выпускаемые компанией «Дельфин Аква» установки серии ЭКОХЛОП предназначены для получения газообразного хлора на месте потребления из раствора хлорида натрия, что в настоящее время является актуальным в свете глобального кризиса хлорной промышленности. Установки рассчитаны на различную производительность. Для получения одного килограмма хлора в установке ЭКОХЛОП-10000 затрачивается 1,8 кг хлорида натрия.

Установка ЭКОХЛОП-10000 состоит из восьми модулей ЭКОХЛОП-1500-01 (рис. 2). Основным узлом каждого модуля ЭКОХЛОП-1500-01 представлен электрохимическим реактором МБ-26-03-01 (рис. 3), каждый из которых смонтирован на отдельной унифицированной раме и, вместе с дозирующими насосами, системой охлаждения, устройствами контроля уровня электролита и поддержания давления представляет собой соб-



Рис. 1. Установка АКВАХЛОП-500М



Рис. 2. Установка ЭКОХЛОП-1500-01



Рис. 3. Реактор МБ-26-03-01



Рис. 4. Установка ЭКОХЛОР-1500-02

ственно модуль ЭКОХЛОР-1500-01. Аналогичный по производительности модуль, смонтированный в корпусе, представляет собой установку ЭКОХЛОР-1500-02 (рис. 4).

Реактор МБ-26-03-01 имеет блок электродов из семи катодов, защищенных диафрагмами (катодная сборка) и двадцати четырех охлаждаемых анодов, размещенных таким образом, чтобы каждый катод находился в окружении шести анодов. Электродный блок размещен в трубчатом корпусе из ХПВХ или ПТФЭ, электроды загерметизированы во фланцах, изготовленных из этих же материалов. Длина рабочей части анодов – 800 мм, катодов 750 мм. Данный реактор предназначен для использования в модульных установках ЭКОХЛОР производительностью свыше 1 кг хлора в час. При силе тока 1200 А и напряжении 5 В производительность реактора составляет более 1,5 кг хлора в час. Единичные модули установок ЭКОХЛОР-1500-01 с реакторами МБ-26-03-01, собираются на месте эксплуатации в единую конструкцию из

восьми блоков, образующую промышленную установку ЭКОХЛОР-10000. Один модуль ЭКОХЛОР-10000 производит в час до 10 кг хлора.

Выпускаемые установки серии АКВАХЛОР и ЭКОХЛОР могут быть применены для интенсификации многих процессов в добывающей и перерабатывающих отраслях промышленности. С их помощью можно проводить хлорное, гипохлоритное и щелочного окислительного выщелачивание руд и техногенного сырья, раствор оксидантов может использоваться как реагент для пероксидной или хлоридно-пероксидной предподготовки упорных руд перед бактериальным выщелачиванием. Электрохимически активированная вода и смесь оксидантов являются средством регулирования ОВП в коллоидных системах, что позволяет изменять их устойчивость от создания сверхстойких неразрушающихся длительное время до крайне неустойчивых, поэтому могут быть применены для внутрипластового улучшения вод, нейтрализации кислых стоков, обработки оборотных вод, комплексной обработки буровых растворов [5–7].

Новой разработкой является комплекс установок серии ЭКОХЛОР и ОКСИТРОН-К, который предназначен для получения из раствора поваренной соли соляной кислоты и раствора гидроксида натрия с максимальной производительностью по 36%-ной соляной кислоте (10 модульных установок ЭКОХЛОР-10000) 180 т/месяц. Производство соляной кислоты из хлора и водорода в установке ОКСИТРОН-К не является энергоемким: на получение 1 т хлористого водорода расход энергии составляет не более 3 тыс. кВт.

На рис. 5 изображена принципиальная схема установки ОКСИТРОН-К-01, предназначенной для получения раствора соляной кислоты из хлора, водорода и воды.

Эта реакция обеспечивает получение газообразного хлористого водорода, который после охлаждения в теплообменнике T_1 смешивается со струей дистиллированной воды в водоструйном насосе $НВ$, изготовленном также из кварцевого стекла. Смешивание газообразного хлористого водорода с водой протекает с большим выделением тепла, поэтому немедленно после выхода из насоса газо-водяная смесь поступает в кожухотрубчатый теплообменник T_4 , основные охлаждающие элементы которого выполнены из трубок кварцевого стекла, уста-



78

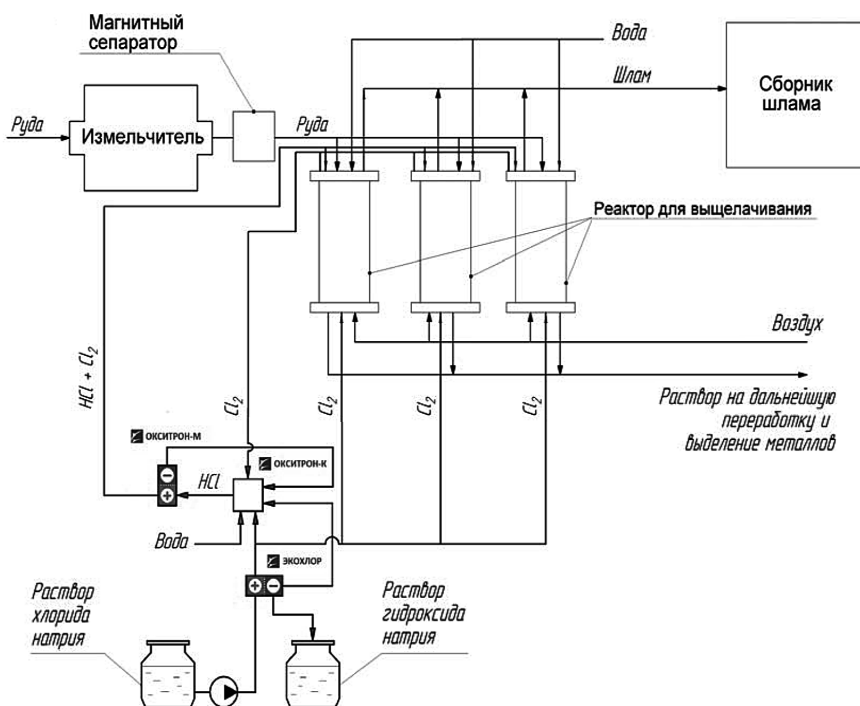


Рис. 6. Принципиальная технологическая схема гидрохлоридного выщелачивания

зано на рис. 5, из общей магистрали водоснабжения установок. При использовании дистиллированной воды в установке ОКСИТРОН-К-01 синтезируется «ХЧ» соляная кислота. При необходимости получения кислоты марки «ЧДА» в схему установки могут быть введены фильтры – уловители влаги из хлора и водорода. При питании контура обычной водопроводной водой, как показано на рис. 5, производится техническая соляная кислота.

Многие современные технологии основаны на процессе гидрохлорирования, т.е. применения смеси соляной кислоты и газообразного хлора, достоинством которого является высокая химическая активность хлора в момент его выделения [6]. Однако недостатками всех предложенных до настоящего времени электрохимических методов получения указанной смеси остаются значительные затраты электроэнергии, проблема утилизации экологически

опасного хлора, отсутствие надежных конструктивных материалов для изготовления оборудования.

Совместное применение модульных установок серии ЭКОХЛОР для производства газообразного хлора, водорода и раствора каустической соды из раствора хлорида натрия, установок серии ОКСИТРОН-К для синтеза соляной кислоты из влажных хлора и водорода, а также серии установок ОКСИТРОН-М для синтеза электрохимически активированного раствора соляной кислоты, насыщенной хлором, отбор непрореагировавшего количества хлора и возвращение его в процесс в виде раствора соляной кислоты с помощью установки ОКСИТРОН-К обеспечивает экологически чистую технологию выщелачивания цветных, благородных и редких металлов из руды, шлаков, отвалов горно-обогатительных и горно-химических предприятий гидрохлорированием (рис. 6) [9].

Исследованы условия процесса регенерации соляной кислоты из газообразных водорода и хлора и продемонстрирована эффективность процесса электрохимического выщелачивания при использовании регенерированной соляной кислоты.

Достоинствами предлагаемой технологии являются низкий расход электроэнергии за счет использования принципиально конструктивно новых электролизеров, в которых используются диафрагменные модульные электрохимические элементы, и исключение возникновения экологической опасности заражения окружающей среды хлором, так как предусмотрено регенерации соляной кислоты из непрореагировавшего хлор-газа и катодного водорода и вовлечение ее повторно в технологический цикл. Производство соляной кислоты из хлора и водорода в установке ОКСИТРОН-К

не является энергоемким: на получение 1 т хлористого водорода расход энергии составляет не более 3 тыс. кВт.

Производительность системы установок серии ЭКОХЛОР-ОКСИТРОН-К-ОКСИТРОН-М по хлору составляет от 10 до 10 000 кг/ч. Технология обеспечивает высокую эффективность процесса гидрохлоридного выщелачивания редких, благородных и цветных металлов из руд (природного сырья) и из вторичных сырьевых ресурсов (шламов, шлаков, кеков, съёмов и пр.): степень извлечения целевых компонентов (медь, серебро, золото, редкоземельные металлы и др.) достигает 90–99%, процесс технологически полностью замкнут, не продуцирует вредных и токсичных отходов, требует для реализации из расходных компонентов только воду, поваренную соль и электроэнергию.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Чантурия В.А., Трофимова Э.А., Двойченкова Г.П., Богачев В.И., Миненко В.Г., Диков Ю.П. Теория и практика применения электрохимического метода водоподготовки с целью интенсификации процессов обогащения алмазосодержащих кимберлитов // Горный журнал. – 2005. – № 4. – С. 51–55.

2. Морозов В.В., Авдохин В.М. Оптимизация обогащения полиметаллических руд на основе контроля и регулирования ионного состава пульпы и оборотных вод // Горный информационно-аналитический бюллетень. – 1998. – № 1. – С. 27–32.

3. Бахир В.М. Электрохимическая активация–2012: новые разработки и перспективы // Водоснабжение и канализация. – 2012. – Май-июнь. – С. 65–76.

4. Бахир В.М. К проблеме поиска путей промышленной и экологической безопасности объектов водоподготовки и водоотведения ЖКХ // Водоснабжение и канализация. – 2009. – № 1. – С. 66–74.

5. Гришков И.А., Козлов И.В., Харламова Т.А. Гипохлорит, хлор, раствор смеси оксидантов: обобщенный сравнительный анализ // Водоподготовка и канализация. – 2013. – № 7–8. – С. 22–31.

6. Горланов В.В., Харламова Т.А. Интенсификация процесса выщелачивания с применением метода гидрохлорирования // Научный вестник МГТУ. – 2013. – № 2 (35). – С. 57. – [Электронный документ]. – Режим доступа: <http://vestnik.msmu.ru/file 2>.

7. Харламова Т.А., Алафердов А.Ф., Колесников А.В., Сарбаева М.Т., Журинов М.Ж. Перспективные электрохимические процессы в технологиях обезвреживания сточных вод: электрохимическая деструкция органических веществ; использование электролиза в технологии воды // Известия национальной АН республики Казахстан. Серия химии и технологии. – 2013. – № 5. – С. 11–18.

8. Чекушин В.С., Олейникова Н.В. Переработка золотосодержащих рудных концентратов (обзор методов) // Известия Челябинского научного центра. – 2005. – Вып. 4 (30). – С. 96–100.

9. Харламова Т.А., Алафердов А.Ф., Бахир В.М. Электрохимические технологии для интенсификации процессов в горной и смежных отраслях промышленности / Инновационные технологии обогащения минерального сырья. Материалы научно-технической конференции 1–3 октября 2013. – Екатеринбург, 2013. – С. 159–164. **ГИАБ**

Харламова Татьяна Андреевна – доктор технических наук, профессор,
e-mail: harlamova tanja@ mail.ru,

Алафердов Алексей Федорович – кандидат технических наук, доцент,
e-mail: a.alaferdov@delfin-agua.com,

МГИ НИТУ «МИСиС»;

Бахир Витольд Михайлович – доктор технических наук, профессор, e-mail: vitold@barhir.ru,
ЗАО «Институт электрохимических систем и технологий Витольда Бахира».

UDC 622.7(075.80)

ELECTROCHEMICAL ACTIVATION IN TECHNOLOGY OF ENRICHMENT UND RECYCLING ORES, SECOND RESOURCES AND WATER PURIFICATION

Kharlamova T.A., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: harlamova tanja@ mail.ru,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
Alafedov A.F., Candidate of Technical Sciences, Assistant Professor, e-mail: a.alaferdov@delfin-agua.com,
Moscow Mining Institute, National University of Science and Technology «MISiS», Moscow, Russia,
Bakhr V.M., Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: vitold@barhir.ru,
Research and Development Department Director at Vitold Bakhr Electrochemical Systems
and Technologies Institute, Moscow, Russia.

Using of products of electrolyze of chloride solution in enrichment processes is a perspective way of development of electrochemical technologies. Authors observe production which is made on the basis of flow modular electrochemical reactors by Russian research and Production Company called «Delfin Aqua» for the purpose of improvement and getting of real possibility of using of new electrochemical technologies.

Aquachlor and Ecochlor equipment allows to get gaseous chlorine, gaseous mixture of oxidants, solution of oxidants, solution of hypochlorite and potassium, solution of sodium hydroxide from sodium chloride at the place of using. Ecochlor and Oxytron-K system is a new decision which can produce muriatic acid and solution of sodium hydroxide from sodium chloride. Maximum capacity for 36% muriatic acid is 180 tons per month. With using of Oxytron-K device muriatic acid production from chlorine and hydrogen is not energy demanding. It demands less than 3 thousand kW to produce 1 ton of hydrogen chloride. The basic scheme of Oxytron-K which is used for producing of solution of muriatic acid from chlorine and hydrogen and water is given.

Oxytron-K is made for realization of process of hydro chlorination with solution of muriatic acid and gaseous chlorine.

Combined using of Ecochlor for producing of gaseous chlorine from solution of sodium chloride, Oxytron-K for synthesis of muriatic acid from gaseous chlorine and hydrogen and Oxytron-M for synthesis of electrochemical activated solution of chlorine rich muriatic acid with using of chlorine residue for reuse as a solution of muriatic acid with using of Oxytron-K provides eco-friendly technology of leaching noble and rare metals from ores, slugs and clumb banks of mining and concentration plans and mining and chemical combines.

Chlorine capacity of highly pointed equipment is from 10 to 10 000 kg/h. Technology provides high effectiveness of process of hydrochloride leaching noble and rare metals from ores and secondary raw materials. Target component degree of extraction achieves 90–99%, process is closed technically, it doesn't produce toxic and hazardous waste, and it demands only water for, sodium chloride and electricity.

Key words: enrichment, electrochemical activation, ecology, hydrochlorination.

REFERENCES

1. Chanturiya V.A., Trofimova E.A., Dvoichenkova G.P., Bogachev V.I., Minenko V.G., Dikov Yu.P. *Gornyi zhurnal*. 2005, no 4, pp. 51–55.
2. Morozov V.V., Avdokhin V.M. *Gornyi informatsionno-analiticheskii byulleten'*. 1998, no 1, pp. 27–32.
3. Bakhr V.M. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya*. 2012, May-June, pp. 65–76.
4. Bakhr V.M. *Vodosnabzhenie i kanalizatsiya*. 2009, no 1, pp. 66–74.
5. Grishkov I.A., Kozlov I.V., Kharlamova T.A. *Vodopodgotovka i kanalizatsiya*. 2013, no 7–8, pp. 22–31.
6. Gorlanov V.V., Kharlamova T.A. *Nauchnyi vestnik MGGU*. 2013, no 2 (35), pp. 57, available at: <http://vestnik.msmu.ru/file.2>.
7. Kharlamova T.A., Alafedov A.F., Kolesnikov A.V., Sarbaeva M.T., Zhurinov M.Zh. *Izvestiya natsional'noi AN respubliki Kazakhstan. Seriya khimii i tekhnologii*. 2013, no 5, pp. 11–18.
8. Chekushin V.S., Oleinikova N.V. *Izvestiya Chelyabinskogo nauchnogo tsentra*. 2005, issue 4 (30), pp. 96–100.
9. Kharlamova T.A., Alafedov A.F., Bakhr V.M. *Innovatsionnye tekhnologii obogashcheniya mineral'nogo syr'ya. Materialy nauchno-tekhnicheskoi konferentsii 1–3 oktyabrya 2013* (Innovation technologies of enrichment of mineral raw materials. Publications of research and technology conference 1–3 October 2013), Ekaterinburg, 2013, pp. 159–164.