

Анализ зарубежного опыта показывает, что, например, предельные капитальные вложения при подземном выщелачивании урана в США в 4-5 раз ниже, чем при традиционных методах его добычи (80% капитальных затрат уходит на традиционные методы рудоподготовки), а стоимость единицы продукции ниже в 2,6 раза. При кучном выщелачивании меди в США себестоимость цементационной меди в 2-5 раз ниже себестоимости меди, полученной по традиционной технологии.

При использовании геотехнологических методов значительно возрастает производительность труда. Показано, что при отработке медно-никелевого месторождения геотехнологическим методом производительность труда в 5 раз выше, чем при шахтном способе.

Помимо положительных технико-экономических результатов применение подземного и кучного выщелачивания руд сопровождается заметным социальным эффектом: исключается опасный труд человека под землей, появляется возможность полной автоматизации технологических процессов, исключается необходимость отвода больших земельных площадей под горные предприятия, не нарушается природный ландшафт. Переработка отвалов, использование оставленных рудных блоков уменьшают нагрузку на окружающую среду, позволяют ускорить рекультивацию земель, занятых отходами горно-обогатительного производства.

Литература.

1. Бубнов В.К., Спирин Э.К., Сытников А.М. Теория и практика добычи полезных ископаемых для комбинированных способов выщелачивания. Астана. – Изд-во Жана Арка. – 1992 г. – 546 с.
2. Спирин Э. К. , Мальчик А. Г. О возможности попутного выделения концентратов рубидия и цезия при радиометрической сортировке руд // Технологическая платформа «Твердые полезные ископаемые»: технологические и экологические проблемы отработки природных и техногенных месторождений: доклады научно-практической конференции, Екатеринбург, 1-3 Октября 2013. - Екатеринбург: ИГД УрО РАН, 2013
3. Мечев В. В. и др. Малоотходные комбинированные процессы в схемах переработки труднообогатимых руд цветных металлов //Новые процессы в комбинированных схемах обогащения полезных ископаемых.–М.: Наука. – 1989.
4. Каренов Р. С. Эколого-экономическая и социальная эффективность геотехнологических методов добычи полезных ископаемых: Монография. – 2011.
5. Трубецкой К. Н. Основные направления и пути решения проблем ресурсосбережения при комплексном освоении недр с земной поверхности //Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2011. – №. S1.

ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРО-ФЭНТОН ПРОЦЕССА В ОЧИСТКЕ СТОЧНЫХ ВОД

А.В. Филонов М.Ф. Аламов С.В. Стаценко

Юргинский технологический институт (филиал) Национального исследовательского

Томского политехнического университета

652055, Кемеровская обл., г. Юрга, ул. Ленинградская, 26

E-mail: znaesh007@yandex.ru

Аннотация: Инновационные окислительные процессы еще очень малоизучены. Одним из мощных процессов разложения большинства органических соединений, включая токсичные и не поддающихся биохимическому разложению является электро-Фентон процесс. В статье дан обзор возможности применения процесса а также предлагаются пути его развития и дальнейших исследований в области применения процесса в очистке сточных вод, пути увеличения эффективности очистки с помощью электро-Фентон процесса.

Abstract: As a novel advanced oxidation process, electro-Fenton process is powerful for degrading most organic compounds including toxic and non-biodegradable ones, and so has attracted great attention. The article review of the application possibilities of the process and its development, further research in the field of application in wastewater treatment, ways to improve efficiency on account of of the Electro-Fenton process.

В связи с увеличением видов и количества токсичных и трудноразлагаемых биоорганических загрязнителей в сточных водах, большое внимание было уделено одному из передовых процессов окисления.

Реакция электро-Фентона названа в честь Генри Фентона, открывшего в 1894 году способность некоторых металлов иметь специфические особенности переноса электрона. Процесс электро-Фентона происходит на поверхности обычного анода и графитном катоде. По сравнению с обычным

процессом Фентона, процесс электро-Фентона имеет преимущество позволяющее лучше контролировать процесс и избежать накопления и транспортировки пероксида водорода. Кроме того, в процессе используется, электричество - экологически чистый источник энергии, так что суммарный процесс не создает вторичные загрязняющие вещества.

До настоящего времени было проведено множество исследований применения электро-Фентон процесса в очистке сточных вод. Эффективность процесса была подтверждена экспериментально разными авторами для очистки сред, содержащих фенол [1], анилин [2], азотокрасители [3;4], уксусную кислоту [5] и 2,4-Д [6]. Кроме того, было определено, что эффективность процесса улучшается при воздействии лучей ультрафиолета или видимым светом в процессе электролиза (Касадо и др., 2005). Комбинированный метод процесса электро-Фентона и облучение ультрафиолетом был назван Фотоэлектро-Фентон процессом. Фотоэлектро-Фентон процесс был впервые предложен и применен при очистке от 4-хлорфенола испанскими учеными. [7].

В процессе электро-Фентона, пероксид водорода образуется в результате восстановления растворенного кислорода на поверхности катода. Пероксид водорода затем реагирует с добавленным Fe^{2+} , в результате образуется гидроксид-радикал и эта реакция является реакцией Фентона.

Гидроксид-радикал обладает высоким окислительным потенциалом, выше которого только фтор, и полностью вступает в реакцию с большинством органических загрязнителей. Кроме того, регенерация Fe^{2+} из восстановленного Fe^{3+} на катоде имеет решающее значение для электро-Фентона процесса [6,8].

Таким образом, единственные реагенты, необходимые для получения гидроксид-радикала являются кислород и электрическая энергия [9].

Типичный механизм электро-Фентон процесса представлен на рисунке 1.

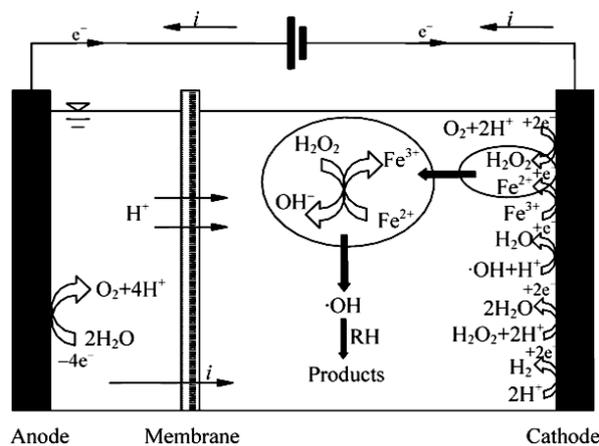


Рис. - 1 Иллюстрация механизма реакции электро-Фентон процесса [10]

Факторы влияющие на ход процесса очистки:

- **электролитическая система.** Трехмерная электродная система, состоит из гранул или других фракций являющимися материалом рабочего электрода, который заполняет области между обычными двумерными электродами. Поверхность рабочих электродных материалов заряжается и на поверхности происходит электрохимическая реакция. В трехмерной электродной системе, вследствие небольшого расстояния между рабочими гранулами, может быть достигнута высокая эффективность массопереноса, особенно при низкой проводимости очищаемой воды. Таким образом, может быть преодолен основной недостаток традиционной системы электродов: ограничение удельной площади поверхности электрода;

- **материал электродов.** Катод является рабочим электродом в системе процесса электро-Фентона, поэтому эффективность катода имеет решающее значение для системы. Платиновый катод успешно используется для разложения гербицидов и пестицидов вследствие его стабильной и отличной передачи электронов [2,6,9,11]. Тем не менее, платиновый катод мало используется при очистке сточных вод на практике из-за его высокой стоимости, поэтому, широко используется анод из железа. Платина и железо являются основными анодными материалами в электро-Фентон процессе. Кроме того, появились новые материалы, например, алмаз легированный бором [12,13]. Однако этот электрод является более дорогим, чем платиновый;

- **аэрация.** В электро-Фэнтон процессе, пироксид водорода образуется в результате восстановления кислорода. Эффективность аэрации важна не только для образования пироксида водорода, но и для эксплуатационных затрат. Существуют два подхода к улучшению производства пироксида водорода. Одним из них является выбор катода с большой площадью поверхности, а другой - повышение эффективности аэрации. Кислород вводится в систему главным образом, с помощью аэрации. Газодиффузионный электрод показал очевидные преимущества по сравнению с другими видами аэрации, а также многообещающими являются композитные электроды с высокой эффективностью и низкой стоимостью.

Доказано, что реакция Фентона является цепной реакцией. В лабораторных условиях были изучены различные загрязняющие вещества, чтобы определить оптимальные условия применения процесса в очистке.

Параметры эксплуатации электро-Фэнтон процесса применительно очистки сточных вод в промышленных масштабах:

- **водородный показатель,** это один из важных факторов, влияющих на электро-Фэнтон процесс. Было подтверждено, что оптимальное значение pH составляет 2-4;

- **приложенные напряжения и ток.** Некоторые исследователи предполагают, что плотность тока в электро-Фэнтон процессе должна быть не больше, чем 10 A/m^2 , в то время как другие считают, что верхнее предельное значение должно быть $6,4 \text{ A/m}^2$ [14];

- **расстояние между электродами.** Можно сделать вывод о том что, чем ближе электроды, тем лучше производительность процесса. Тем не менее, необходимо соблюдать соответствующее расстояние между электродами для предотвращения короткого замыкания между анодом и катодом;

- **соотношение концентрации Fe^{2+} и H_2O_2 .** Поззо [15] была найдена оптимальная концентрация ионов железа, она оказалась в пределах 50-150 мг/л. Ионы железа и пироксид водорода должны содержаться в равном количестве по причине возникновения нежелательных побочных реакций;

- **вспомогательный электролит.** В качестве вспомогательного электролита как правило, используется сульфат натрия. Такой электролит улучшает проводимость раствора и ускоряет перенос электронов, таким образом, улучшая реакцию электро-Фентона.

Электро-Фэнтон процесс широко используется для очистки небиоразлагаемых или стойких органических соединений таких как красители, гербициды, пестициды и лизиметрическая вода, с относительно небольшими затратами энергии [2].

В настоящее время электро-Фэнтон процесс изучен в основном в лабораторных условиях, и требуется много усилий, для того, чтобы сделать его доступным в сфере очистки сточных вод.

Благодаря своим окислительным характеристикам, электро-Фэнтон процесс может использоваться для предварительной обработки и снижения токсичности трудноразлагаемых веществ. Однако, окислительная эффективность пироксида водорода может быть существенно повышена за счет комбинирования метода с УФ-излучением [7]. Процесс разложения может быть ускорен с помощью фотолиза комплексов Fe^{3+} а так же путем повышения Fe^{2+} в результате восстановления Fe^{3+} . Таким образом, для улучшения очистки сточных вод следует проводить исследования, сочетая электро-Фэнтон процесс с другими технологиями.

Кроме того, в механизме реакции Фентона требуется разобраться более подробно, а также должна быть создана математическая модель количественного выхода H_2O_2 для того, чтобы применять этот процесс с заранее предсказуемыми результатами. Реакции в процессе электро-Фентона очень сложны, так что одна из целей дальнейших исследований является выяснение механизмов, регулирующих данный процесс, для того, чтобы избежать нежелательных побочных реакций, портящих гидроксид-радикал.

Литература

1. Fockedey E. Coupling of anodic and cathodic reactions for phenol electro-oxidation using three-dimensional electrodes/ E. Fockedey, A.V. Lierde, // Water Research. – 2002. – № 16. – P. 4169-4175.
2. Brillas E. Aniline degradation by electro-Fenton and peroxi-coagulation processes using a flow reactor for wastewater treatment/ E. Brillas, J. Casado // Chemosphere – 2002. – № 3. – P. 241-248.
3. Guivarch E. Removal of organophosphorus pesticides from water by electrogenerated Fenton's reagent / E. Guivarch, N. Oturan, M.A. Oturan // Environ. Chem. Lett – 2003. – № 1. – P. 165-168.
4. Lahkimi A. Removal of textile dyes from water by the electro-Fenton process / A. Lahkimi, M.A. Oturan, N. Oturan, M., Chaouch // Environ. Chem. Lett – 2007. – №5. – P. 35-39.

5. Casado J. Mineralization of aromatics in water by sunlight-assisted electro-Fenton technology in a pilot reactor / J. Casado, J. Fornaguera, M.I. Galan // *Environmental Science and Technology* – 2005. – № 6. – P. 1843-1847.
6. Brillas E. Mineralization of 2,4-D by advanced electrochemical oxidation processes / E. Brillas, J.C. Calpe, J. Casado // *Water Research* – 2000. – № 8. – P. 2253-2262.
7. Brillas E. Degradation of 4-chlorophenol by anodic oxidation, electro-Fenton, photoelectro-Fenton, and peroxi-coagulation processes / E. Brillas, R. Sauleda, J. Casado // *Journal of The Electrochemical Society* – 1998. – № 3. – P. 759-765.
8. Oturan M.A. Hydroxylation by electrochemically generated OH· radicals. Mono- and polyhydroxylation of benzoic acid: products and isomers' distribution / M.A. Oturan, J. Pinson // *The Journal of Physical Chemistry* – 1995. – № 38. – P. 13948-13954.
9. Oturan M.A. An ecologically effective water treatment technique using electrochemically generated hydroxyl radicals for in situ destruction of organic pollutants: Application to herbicide 2,4-D / M.A. Oturan, // *Journal of Applied Electrochemistry* – 2000. – № 4. – P. 475-482.
10. Chen Z. Influence of pH and current concentration on electrochemical-generated hydroxyl radical for degradation and decolorization of dye wastewater / Z. Chen, X. Chen, X. Zheng, R.Y. Chen, Z.H. Lin, Y.F. Chen, Y.K. Zhang // *Research of Environmental Sciences* – 2002. – № 15. – P. 42-52.
11. Brillas E. Aniline mineralization by AOP's: anodic oxidation, photocatalysis, electro-Fenton and photoelectron-Fenton processes / E. Brillas, E. Mur, R. Sauleda, L. Sánchez, J. Peral, X. Domènech, J. Casado // *Applied Catalysis B: Environmental* – 1998. – № 1 – P. 31-42.
12. Brillas E. Electro chemical destruction of chlorophenoxy herbicides by anodic oxidation and electro-Fenton using a boron-doped diamond electrode / E. Brillas, B. Boye, I. Sirés, J.A. Garrido, R.M. Rodríguez, C. Arias, P.L. Cabot, C. Comninellis // *Electrochimica Acta* – 2004. – № 25. – P. 4487-4496.
13. Flox C. Electro-Fenton and photoelectro-Fenton degradation of indigo carmine in acidic aqueous medium / C. Flox, S. Ammar, C. Arias, E. Brillas, A.V. Vargas-Zavala, R. Abdelhedi // *Applied Catalysis B: Environmental* – 2006. № 2. – P. 93-104.
14. Zhang F. Study status and progress in wastewater treatment by electro-Fenton method / F. Zhang, G.M. Li, X.H. Zhao, H.K. Hu, J.W. Huang // *Industrial Water Treatment* – 2004. – № 24. – P. 9-13.
15. Pozzo A.D. Oxidation efficiency in the electro-Fenton process / A.D. Pozzo, P. Ferrantelli, C. Merli, E. Petrucci // *Journal of Applied Electrochemistry* – 2005. – № 4. – P. 391-398.

ЛИКВИДАЦИЯ АВАРИИ НА ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

П.Д. Сорокин, Е.А. Каржавин, студенты группы 17Г30, П.В. Родионов, ст. преподаватель

Юргинский технологический институт (филиал) ФГАОУ ВО

«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,

652055, Кемеровская область, г. Юрга, ул. Ленинградская, 26, тел. (38451)-6-44-32

E-mail: rodik-1972@yandex.ru

Аннотация: Авария на Чернобыльской АЭС по своему размеру, нанесенному ущербу и негативным последствиям для населения, окружающей природной среды, экономики и социальной среды – самая крупнейшая техногенная катастрофа на Земле за всю историю человечества.

Введение

26 апреля 1986 года разрушился четвёртый энергоблок атомной электростанции Чернобыля, располагающийся в то время на территории Украинской ССР. Разрушение имел взрывной характер, реактор был полностью разрушен, и в окружающую среду было выброшено большое количество радиоактивных веществ. Авария - самая крупнейшая за всю историю ядерной энергетики, как по предполагаемому количеству погибших и пострадавших от её последствий людей, так и по экономическому ущербу. В то время Чернобыльская АЭС была самой мощной в СССР.

Основная часть

В 1986 году, а именно 25 апреля была запланирована остановка блока на средний ремонт. Перед тем как осуществить ремонт, нужно было испытать турбогенератор №8 в режиме выбега с нагрузкой собственных нужд. Целью этих испытаний являлось проверить способность турбогенератора в момент полного отключения энергоснабжения станции подавать эл. энергию за малый срок до того, как резервные дизельные генераторы смогут подавать энергию в аварийных условиях. Из-за этого испытания произошла авария.