

## ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА АКТИВИРОВАННЫХ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ

В.С. Корко, канд. техн. наук, доцент (БГАТУ)

### Аннотация

*Рассмотрены физико-химические процессы и электротехнологические схемы производства активированных растворов. Приведены основные свойства и характеристики анолитов и католитов, особенности их применения в технологических процессах, методика расчета параметров электрохимического реактора.*

*The physicochemical processes and the production of electro circuit activated solutions have been examined. The main features and characteristics of the anolyte and catholyte, peculiarities of their use in industrial processes, the method for calculating the parameters of the electrochemical reactor have been given.*

### Введение

Сущность электротехнологической активации заключается в том, что жидкость, протекающая через диафрагменный электролизер, при воздействии электрического поля переходит в метастабильное (активированное) состояние с аномально высокими окислительными (у анолита) и восстановительными (у католита) свойствами. При этом энергия неравновесного электрохимического воздействия может накапливаться и сохраняться в жидкости в форме внутренней потенциальной энергии, которая реализуется в различных каталитических реакциях в период релаксации жидкости (переход в неактивированное состояние) [1].

В настоящее время накоплен определенный опыт применения технологий электроактивации в различных отраслях (промышленности, медицине, сельском хозяйстве) [2-5].

Цель работы – разработка электротехнологических основ производства и применения активированных водных растворов в технологических процессах.

### Основная часть

Процесс электротехнологической активации представляет собой гетерогенную реакцию ионного обмена между полупроницаемой мембраной (к которой можно также отнести клеточную мембрану дисперсной частицы [5]) и жидкой фазой, скорость которых выражается уравнением

$$\mathcal{G} = kS_{\text{yo}} \Delta C \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (1)$$

где  $\mathcal{G}$  – скорость реакции, моль/(с·м<sup>3</sup>);

$k$  – коэффициент массопередачи, с<sup>-1</sup>;

$S_{\text{yo}}$  – удельная площадь реакционной поверхности, м<sup>2</sup>/м<sup>3</sup>;

$\Delta C$  – разность концентраций активных ионов по обе стороны мембраны, моль/м<sup>2</sup>;

$E_a$  – энергия активации химической реакции,

Дж/моль;

$R$  – универсальная газовая постоянная, Дж/(моль·К);

$T$  – температура, К.

Коэффициент массопередачи  $k$  для гетерогенных процессов зависит от константы скорости реакции  $k_1$ , коэффициента диффузии  $d$  ионов из объема раствора в зону реакции  $k = f(k_1, d)$ .

Константа скорости реакции  $k_1$  определяется из уравнения Аррениуса

$$k_1 = k_0 \exp\left(-\frac{E_a}{RT}\right), \quad (2)$$

где  $k_0$  – константа скорости данной реакции, с<sup>-1</sup>.

Если в электродной ячейке установить ионитовую мембрану и пропустить постоянный электрический ток, то на основании закона Фарадея можно определить изменение концентрации ионов в объеме раствора, моль/м<sup>3</sup> за счет разряда на электродах

$$\Delta C_{i,j} = \eta_{i,j} \frac{I\tau}{FV_p}, \quad (3)$$

где  $\eta_{i,j}$  – выход по току реакции на аноде или катоде;

$I$  – электрический ток, А;

$\tau$  – время, с;

$F$  – постоянная Фарадея, Кл/моль;

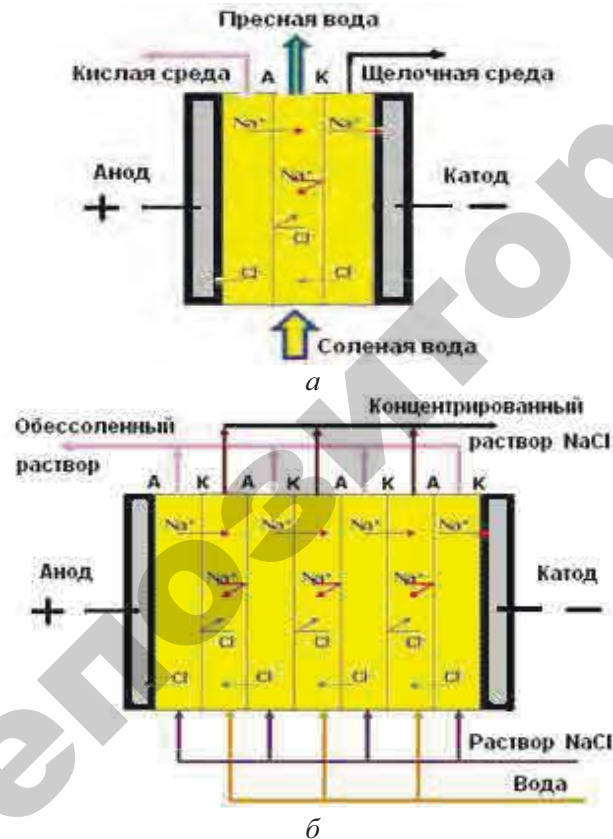
$V_p$  – объем раствора в анодной или катодной зоне, м<sup>3</sup>.

Таким образом, под действием электрического тока через мембрану происходит перенос ионов каждого знака к противоположным по знаку электродам,

в результате чего происходит изменение концентрации ионов в анодной и катодной зонах.

Изменения концентраций ионов в растворах по обе стороны ионитовых мембран используют в различных технологических процессах, например, для предварительной очистки воды для теплоэнергетических установок, при очистке сточных вод перерабатывающих предприятий, их обессоливания, для опреснения, концентрирования различных жидких сред, содержащих ценные компоненты, перед их последующим извлечением и т.п.

При использовании неселективных ионопроницаемых мембран можно разделять электролиты и неэлектролиты. Применяя селективные (катионообменные или анионообменные) мембраны, в электрохимическом реакторе можно повысить или понизить концентрацию раствора электролита [6]. Селективные мембраны проницаемы только для ионов определенного знака (А – для анионов, К – для катионов), поэтому в средней камере реактора (рис. 1а) вода опресняется, в анодной – подкисляется, а в катодной – подщелачивается. В многокамерном электрохимическом реакторе чередуется большое число (до нескольких сотен) катионообменных и анионообменных мембран, расположенных между двумя электродами (рис. 1б).



А - анионообменные мембраны;  
К - катионообменные мембраны  
Рисунок 1. Схемы электротехнологических процессов:  
а – опреснения воды; б - снижения концентрации  
раствора соли

Электроактивированные растворы (анолиты и католиты) в общем случае синтезируют из разбавленных (от 0,05 до 5,0 г/л) растворов неорганических веществ, в качестве которых чаще всего используют водный раствор хлорида натрия. В простейшем проточном электрохимическом реакторе (рис. 2) вода с небольшим содержанием солей поступает в анодную и катодную камеры. Если через электролит протекает электрический ток, то процессы восстановления у катода, так же как и процессы окисления у анода, приводят к протеканию электрохимических реакций, в результате которых образуются новые вещества и изменяется вся система межмолекулярных взаимодействий, в том числе структура воды как растворителя.

В упрощенной форме основные процессы, происходящие в электролизере, можно представить следующим образом [1...3]: окисление воды на аноде  $2H_2O - 4e \rightarrow 4H^+ + O_2$ ; восстановление воды на катоде  $2H_2O + 2e \rightarrow H_2 + 2OH^-$ ; образование на аноде газообразного хлора  $2Cl^- - 2e \rightarrow Cl_2$ ; образование в анодной камере высокоактивных окислителей  $Cl_2O$ ,  $ClO_2$ ,  $ClO^-$ ,  $HClO$ ,  $Cl^*$ ,  $O_2^*$ ,  $O_3$ ,  $HO_2$ ,  $OH^*$ ; образование в катодной камере высокоактивных восстановителей  $OH^-$ ,  $H_3O_2^-$ ,  $H_2$ ,  $HO_2^-$ ,  $O_2^-$ .

В результате катодной обработки вода приобретает щелочную реакцию (до pH=7,5...12,0). Ее окислительно-восстановительный потенциал (ОВП) резко понижается (до -300... -800мВ). При анодной обработке кислотность воды увеличивается до pH=6,0...2,0, ОВП – от +300мВ до +1200мВ.

С помощью электрохимических реакторов получают несколько разновидностей активированных растворов [2]: К – католит щелочной; А – анолит кислый, АН – анолит нейтральный; АНК – анолит нейтральный катодный; АНД – анолит нейтральный диафрагменный.

Принципиальная гидравлическая схема получения кислого анолита типа А и щелочного католита типа К изображена на рис. 2б. Водопроводная вода смешивается в водоструйном насосе Н с концентрированным раствором поваренной соли, подача которого из емкости Э регулируется вентилем В, и поступает в анодную и катодную камеры электрохимического реактора (ЭХР). На выходе реактора соответственно получают анолит А и католит К. Анолит А имеет pH<5; ОВП =+800...+1200 мВ. Применение анолита А ограничено из-за высокого содержания свободного хлора, что увеличивает коррозионную активность и токсичность анолита.

Для получения анолита типа АН [2] приготовление исходного водно-солевого раствора осуществляется так же, как и в схеме на рис. 2б. Основной объем исходного раствора подается в анодную камеру ЭХР (рис. 3а), давление в которой в процессе работы должно быть выше, чем в катодной, что обеспечивается гидравлическим со-

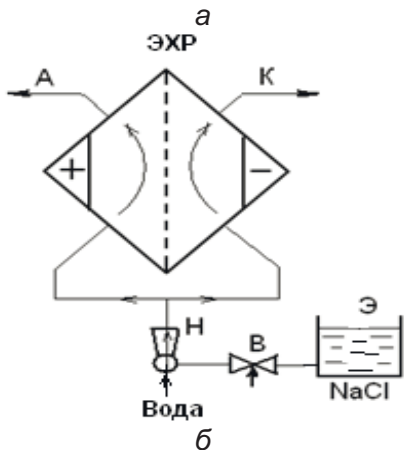


Рисунок 2. Схема электрохимического реактора (а) и принципиальная гидравлическая схема (б) установки для получения анолита и католита

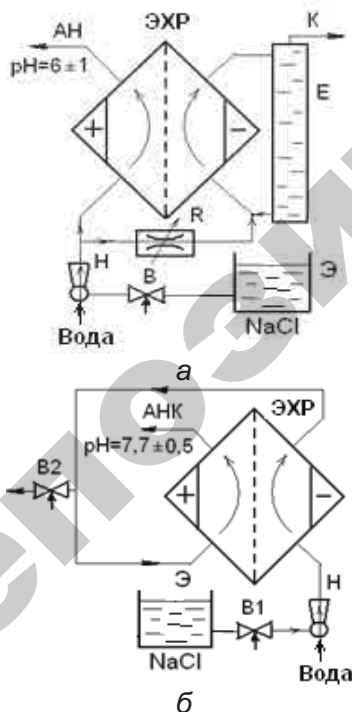


Рисунок 3. Принципиальные гидравлические схемы получения:  
а – анолита АН; б – анолита АНК

противлением  $R$ . Катодная камера соединена с циркуляционной емкостью, которая образует циркуляционный контур вспомогательного электролита.

Основным источником пополнения циркуляционного контура является анодная камера. Жидкость из анодной камеры поступает в катодную камеру через диафрагму за счет перепада давления. Анолит АН имеет  $pH=5,0...7,0$ ;  $ОВП=+600...+900$  мВ. Основным активным компонентом анолита является хлорноватистая кислота  $HClO$ . Анолит АН не обладает резким запахом свободного хлора, как анолит А, так как раствор практически не содержит свободного хлора.

Для получения анолита АНК исходный водно-солевой раствор подается последовательно в катодную, а затем в анодную камеры ЭХР (рис. 3б). В отличие от предыдущих схем, здесь анодной обработке подвергается не водно-солевой раствор, а католит. В связи с тем, что анолит АНК получают из католита, он обладает моющими свойствами и, таким образом, он более активен по сравнению с анолитом АН в условиях высокой загрязненности обрабатываемых поверхностей органическими соединениями. Анолит АНК имеет  $pH=7,0...8,2$ ;  $ОВП=+250...+800$  мВ и так же как и анолит АН, практически не содержит свободного хлора.

Система для получения анолита АНД состоит из двух диафрагменных проточных электрохимических реакторов, соединенных гидравлически параллельно. В отличие от предыдущей схемы, здесь анолит АНК подвергается анодной обработке в анодной камере. Анолит типа АНД имеет  $pH=6,8...7,8$ ,  $ОВП=+700...+1200$  мВ и по бактерицидному эффекту аналогичен анолиту АНК [2].

При расчете параметров электрохимического реактора силу тока в ячейке  $I$  можно определить из закона Фарадея:

$$I = \frac{Fq_v(C_n - C_k)}{\eta}, \quad (4)$$

где  $q_v$  – расход воды,  $m^3/c$ ;

$\eta$  – выход по току. В диапазоне концентрации  $C_k$  от 0,01 до 0,5 моль/ $m^3$  выход по току  $\eta$  находится в пределах 0,89...0,80 [2, 6].

Напряжение на электродах  $U$  определяется составляющими:

$$U = U_o + nE_m(1 + jR), \quad (5)$$

где  $U_o$  – падение напряжения на электродах, В;

$n$  – количество последовательно соединенных ячеек, шт;

$E_m$  – мембранный потенциал ячейки, зависящий от температуры, концентрации солей в исходном растворе и активированных растворах, В;

$j$  – плотность тока,  $A/m^2$ ;

$R$  – сопротивление ячейки, Ом.

Допустимую напряженность электрического поля  $E_{дон}$ , В/м, выбирают по электрической прочности  $E_{np}$  материала с учетом коэффициента запаса  $k_3$ ,

$$E_{дон} = \frac{E_{np}}{k_3}. \text{ Величина } E_{дон} \text{ определяет межэлектродное}$$

расстояние

$$l = \frac{U}{E_{дон}} = \frac{U}{j_{дон} \rho_t}, \quad (6)$$

где  $j_{дон}$  – допустимая плотность тока на электродах, А/м<sup>2</sup>;

$\rho_t$  – удельное сопротивление раствора при рабочей температуре, Ом·м.

Максимальная плотность тока

$$j_{max} = \frac{k_n I_t}{S}, \quad (7)$$

не должна превышать  $j_{дон}$ .

В уравнении (9):  $k_n = 1, 1, \dots, 1, 4$  – коэффициент неравномерности плотности тока по поверхности электрода;  $I_t$  – сила рабочего тока при конечной температуре, А;  $S$  – площадь активной поверхности электрода, м<sup>2</sup>.

Растворы при электрохимической активации проявляют свойства окислительно-восстановительного и кислотно-основного катализатора в химических и биохимических процессах. Низкая концентрация продуктов электрохимической активации и релаксация получаемых растворов определяют их экологическую чистоту. Наличие в анолите достаточного количества сильных окислителей и свободных радикалов превращает его в раствор с сильно выраженными биоцидными свойствами. Катодит, насыщенный восстановителями, приобретает высокую адсорбционно-химическую активность, а также сильные моющие свойства. Он относится к малотоксичным соединениям 4 класса опасности; не оказывает раздражающего действия, не обладает кожно-резорбтивным действием, не обладает мутагенным и тератогенным действием [1...3]. Катодит имеет моющие свойства по отношению к различным загрязненным и зажиренным поверхностям.

Анолит кислый (АК) обладает бактерицидным, вирулицидным, спороцидным, фунгицидным и дезодорирующим действием. Анолит нейтральный катодный (АНК), помимо свойств кислого анолита, одновременно характеризуются и моющими свойствами. Показатели растворов, обеспечивающие моющий и дезинфицирующий эффект: анолит кислый АК – рН=3,0...4,0, ОВП= +1150±50мВ, концентрация активного хлора 100...600 мг/л; анолит нейтральный катодный АНК – рН=7,0...8,0, ОВП= +1000 ± 50 мВ, концентрация активного хлора 100...500 мг/л; катодит К – рН=9,0...12,0, ОВП= – 850 ± 50 мВ [2].

В связи с тем, что анолит АНК получают из католита, он обладает моющими свойствами и, таким образом, он более активен по сравнению с анолитом АН в условиях высокой загрязненности обрабатываемых поверхностей органическими соединениями.

### Заключение

Скорость электроактивации растворов электролитов в условиях заданной конструкции определяется, в основном, их концентрацией, площадью электродов и разделительных мембран, температурой в зоне реакции, а также количеством электричества, прошедшего через электролит.

В зависимости от применяемой гидравлической схемы, определяющей последовательность обработки раствора в анодной и катодной камерах, можно получить широкий спектр различающихся по основным свойствам анолитов (А, АН, АНК, АНД) и католит. Показателем их активности являются: уровень кислотности или щелочности (рН) и значение окислительно-восстановительного потенциала (ОВП), которые, в свою очередь, определяются видом и концентрацией получаемых в процессе активации химических веществ (окислителей и восстановителей). С учетом их разнообразия, высокой физико-химической, биологической активности, экологической безопасности, низкой себестоимости, открываются широкие возможности их применения в различных процессах, в частности для стерилизации, обеззараживания приборов, оборудования, кожных покровов животных, стимуляции биологических процессов.

Предложенная методика расчета позволяет по заданным начальной и конечной концентрациям раствора определить основные параметры электродных камер электроактиватора.

### ЛИТЕРАТУРА

1. Электрохимическая активация: история, состояние, перспективы / В.М.Бахир и [др.]. – М.: ВНИИИМТ, 1999. – 256 с.
2. Некоторые аспекты получения и применения электрохимически активированного раствора – анолита АНК / В.М.Бахир [и др.] // Электрохимическая активация в медицине, сельском хозяйстве, промышленности: 3-й Междунар. симпозиум: тезисы докладов и краткие сообщения. – Москва, 2002. – С. 3-25.
3. Инструкция по применению электрохимически активированных водно-солевых растворов оксидантов (ЭАВРО), получаемых на установках СТЭЛ и Аквахлор в ветеринарии и животноводстве: утв. МСХиП Респ. Беларусь в 2005 г. – Минск: ПЧУП «Бизнесофсет», 2005. – 10 с.
4. Каптур, З.Ф. Применение электромембранной технологии в животноводстве и кормопроизводстве. Рациональные технологии заготовки высококачественных кормов и эффективного их использования / З.Ф.Каптур. – Жодино, 1988. – 262 с.

5. Заяц, Е.М. Электрохимическое изменение свойств органических дисперсных гидросистем / Е.М. Заяц, В.С. Корко // Материалы междунар. научно-технич. конф. «Энергосбережение – важнейшее условие инновационного развития АПК». – Мн.: БГАТУ, 2009. – С. 151-154.

6. Шапошник, В.А. Необратимая диссоциация молекул воды на межфазной границе ионообменной мембраны и раствора электролита при электролизе / В.А. Шапошник, А.С. Кастючик, О.А. Козадерова // Электрохимия. – 2008, т. 44. – №9. – С. 1155-1159.

## Электрогидравлический обкаточно-тормозной стенд

*Предназначен для холодной и горячей обкатки двигателей внутреннего сгорания (ДВС) и создания тормозной нагрузки при обкатке коробок переменных передач и ведущих мостов.*



### Основные технические данные

Мощность электрического двигателя для холодной обкатки, кВт, до	11
Тип тормозного устройства	гидравлический
Мощность торможения, кВт, до	100
Диапазон регулирования частоты вращения вала электродвигателя, об/мин	500 - 3000
Диапазон частоты вращения гидравлического тормоза (при г/о), об/мин	1200 - 2900
Диапазон измерения частоты вращения, об/мин	
- магнитоиндукционным тахометром	до 3000
- электронным тахометром	до 9999
Рекуперация механической тормозной энергии	в тепловую
Устройство рекуперации	Кожухотрубчатый теплообменник
Диапазон измерения давления масла, МПа	0 - 40
Диапазон измерения температуры масла, °С	0 - 150
Масса стенда, кг	200
Занимаемая площадь, м <sup>2</sup> , не более	1,5

Применение электрогидравлического обкаточно-тормозного стенда обеспечивает:

- снижение более чем в 10 раз металлоемкости и более чем в 7 раз стоимости в сравнении с электрическими стендами;
- рекуперацию механической энергии в тепловую;
- импортозамещение.