

УДК 669.054.8:669.053.4

**ПОЛУЧЕНИЕ «АКТИВНОГО ХЛОРА»  
ПУТЕМ ЭЛЕКТРОХИМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ РАСТВОРОВ  
ХЛОРИДОВ НАТРИЯ**

**Фёдорова Ю.С., Жерякова К.В., Нигматуллина Л.И.**

*Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова, Магнитогорск,  
e-mail: kvg\_1992@mail.ru*

В данной статье проведен анализ влияния исходной концентрации хлорид-ионов в растворе на эффективность протекания процесса электролиза растворов хлорида натрия с целью получения «активного хлора». Представлены основные процессы, протекающие на электродах при электрообработке растворов хлорида натрия. Проведен анализ влияния материала анода на эффективность протекания процесса. Установлено влияние исходной концентрации хлорид-ионов на удельный расход электроэнергии.

**Ключевые слова:** растворы, хлорид натрия, электролиз, концентрация, «активный хлор», параметры

**GETTING «ACTIVE CHLORINE» BY ELECTROCHEMICAL PROCESSING  
OF SOLUTIONS OF CHLORIDES OF SODIUM**

**Fyodorova Y.S., Jeryakova K.V., Nigmatullina L.I.**

*Nosov Magnitogorsk State Technical University, Magnitogorsk, e-mail: kvg\_1992@mail.ru*

In this article the analysis of the influence of the initial concentration of the chloride ions in the solution on the efficiency of the process of the electrolysis of solutions of sodium chloride with the aim of obtaining «active chlorine». The main processes occurring at the electrodes during electro braid solutions of sodium chloride. The analysis of the influence of anode material on the efficiency of the process. The influence of the initial concentration of the chloride ions on specific energy consumption.

**Keywords:** solutions, sodium chloride, electrolysis, the concentration of «active chlorine», options

В настоящее время для обеззараживания воды применяется широкий спектр химических реагентов. Самый распространенный и давно применяемый – это «активный хлор», а также вещества, содержащие в своем составе хлор, такие как гипохлорит натрия и кальция, диоксид хлора, хлорамины [4]. Хлор является сильно действующим ядовитым веществом. В случае его утечки существует опасность не только для обслуживающего персонала, но и для населения, проживающего на территории, прилегающей к водоочистному сооружению. Также применяются повышенные требования к перевозке и хранению хлора. Поэтому на сегодняшний день все чаще стали вводить в практику обеззараживания альтернативные хлору химические соединения. Наиболее широкое применение находит гипохлорит натрия – «активный хлор», получаемый на месте потребления электролизом раствора поваренной соли [7, 8].

Целью работы являлось установление влияния исходной концентрации хлорид-ионов в растворе на эффективность протекания процесса электролиза растворов хлорида натрия с целью получения «активного хлора».

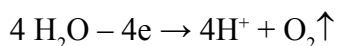
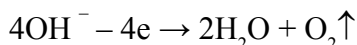
Лабораторные исследования по получению электролизного раствора «активно-

го хлора», проводились на электролизере бездиафрагменного типа. Материал анода, используемый в работе электролизера, был выбран нами на основании проведенного анализа литературных источников, которые показали, что для получения хлора и его кислородных соединений электрохимическим наибольшее распространение находят малоизнашивающиеся аноды на титановой основе [1, 2]. В качестве активного покрытия рекомендуются: магнетит, сплавы на серебре, платиново-иридиевые, оксиды железа, свинца, марганца, кобальта и палладия. Но к настоящему времени наибольшее распространение нашли окисно-рутениевые покрытия [5, 6].

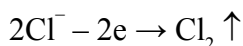
Методика проведения эксперимента на лабораторной электролизной установке заключалась в следующем: модельный раствор заливался в электролизер и далее с помощью блока электропитания задавалась необходимая плотность тока на электродах и проводилась электролизная обработка раствора. По окончании процесса электролиза в полученном растворе определяли: концентрацию «активного хлора» в растворах йодометрическим методом; остаточную концентрацию хлорид-ионов в исследуемых растворах методом объемного титрования [3]; pH исследуемых водных систем, на иономере И-160.

При работе электролизера в процессе электролиза растворов хлорида натрия на аноде выделяется [9, 10]:

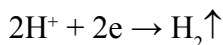
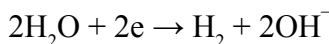
– молекулярный кислород, в результате разложения гидроксид-ионов и молекул воды:



– молекулярный хлор, при разряде хлорид-ионов, который затем в слабокислой и нейтральной среде гидролизует, образуя хлорид-ионы и кислородсодержащие соединения хлора – «активный хлор»:

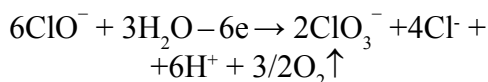
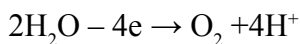


На катоде в основном происходит образование молекулярного водорода и гидроксид-ионов в результате разрядки молекул воды и восстановления катионов водорода:

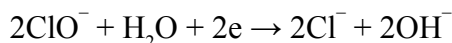


Наряду с основными реакциями, как на электродах, так и в объеме электролита возможно протекание и побочных реакций, снижающих выход основных веществ по току:

– на аноде разряжение молекул воды и ионов гипохлорита по реакциям:



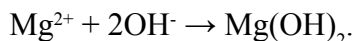
– на катоде частичное восстановление ионов гипохлорита до хлорид-иона по реакции:



В объеме электролита при повышенных температурах может протекать реакция химического образования хлорат-иона:



Также необходимо отметить, что при электрохимическом получении растворов гипохлорита натрия из натрий-хлоридных рассолов концентрация в прикатодном слое электролита происходит выпадение трудно растворимых гидроксидов щелочноземельных металлов:  $\text{Ca}^{2+} + 2\text{OH}^- \rightarrow \text{Ca}(\text{OH})_2$ ,



В присутствии бикарбоната выпадает трудно растворимая соль карбоната кальция:



Основная часть нерастворимых соединений уносится электролитом из электролизера, но некоторое их количество осаждаются на катоде, что приводит к постепенному росту напряжения на электролизере и расхода электроэнергии на получение 1-го кг «активного хлора» ( $\text{ClO}^-$ ) [7].

Исследование влияния исходной концентрации хлорид-ионов в растворе на эффективность протекания процесса электролиза растворов хлорида натрия с целью получения «активного хлора» проводили на модельных растворах с содержанием хлорида натрия: 5 г/дм<sup>3</sup> ( $C_{\text{Cl}^-} = 3150$  мг/дм<sup>3</sup>); 10 г/дм<sup>3</sup> ( $C_{\text{Cl}^-} = 6410$  мг/дм<sup>3</sup>); 20 г/дм<sup>3</sup> ( $C_{\text{Cl}^-} = 12700$  мг/дм<sup>3</sup>).

Рабочая плотность тока на анодах составляла 100, 200 и 300 А/м<sup>2</sup>; электролизную обработку системы проводили в течение 5 минут. Значения pH исходных необработанных модельных растворов колебались в пределах 3,0 – 4,5, после электрохимической обработки значения pH составляли 6,8 – 7,7.

Полученные результаты эксперимента представлены на рис. 1 и 2.

Зависимости, отображенные на рис. 1 показали, что при равных параметрах режимах работы электролизера, выход по току «активного хлора» с увеличением исходной концентрации хлорида натрия в растворе незначительно возрастает, причем, увеличение концентрации свыше 10 г/дм<sup>3</sup> практически не влияет выхода потока «активного хлора».

Зависимости, представленные на рис. 2, свидетельствуют о том, что увеличение концентрации хлорида натрия в исходном растворе приводит к снижению удельного расхода электроэнергии на получение 1 кг «активного хлора». Причем, изменение исходной концентрации NaCl в растворе от 10 до 20 мг/дм<sup>3</sup> незначительно влияет на изменение энергозатрат процесса.

Таким образом, анализ полученных данных позволяет сделать вывод, что процесс электролизного получения гипохлоритных растворов более эффективно протекает при исходной концентрации хлорида натрия 10 г/дм<sup>3</sup>, при этом концентрация хлоридов в растворе составит 6, 41 г/дм<sup>3</sup>. Режим работы электролизера можно быть как проточным, так и статическим. При этом необходимо будет предусмотреть введение в технологическую линию дополнительной емкости для хранения полученных растворов.

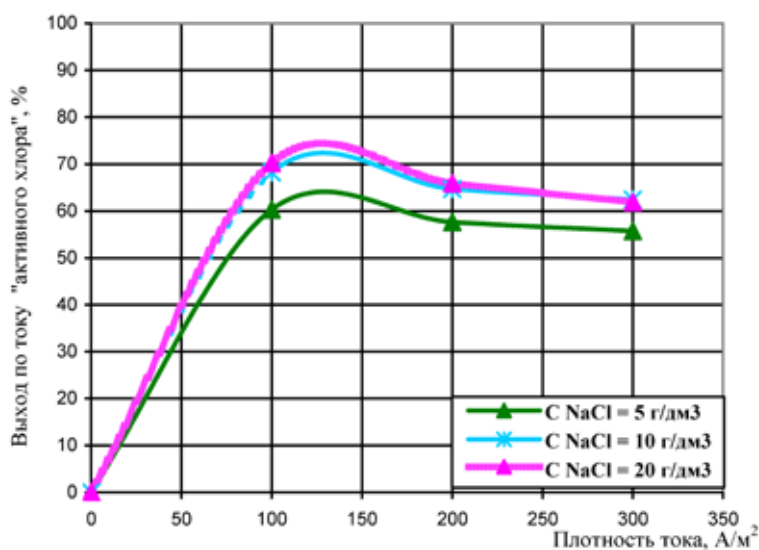


Рис. 1. Влияние исходной концентрации хлорид-ионов на выход по току «активного хлора»

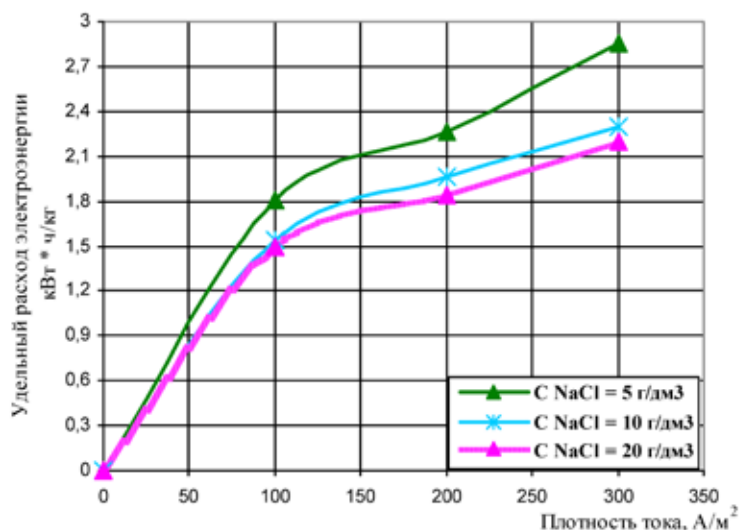


Рис. 2. Влияние исходной концентрации хлорид-ионов на удельный расход электроэнергии

### Список литературы

1. Калиновский Е.А., Жук А.П., Бондарь Р.У. Стойкие аноды для электрохимического хлорирования морской воды // Журнал прикладной химии, 1980, Т.3, № 10. – С. 2233 – 2237.
2. Краснобородько И.Г., Яковлев С.В. Технология электрохимической очистки воды. – Л.: Стройиздат, Ленингр. Отд-е, 1987. – 312 с.
3. Лурье Ю.Ю. Аналитическая химия промышленных сточных вод. – М.: Химия, 1984. – 448 с.
4. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Деманганация сточных вод растворами хлорной извести // Альманах современной науки и образования. – 2013. – № 9 (76). – С.115 – 118.
5. Мишурина О.А. Технология электрофлотационного извлечения марганца в комплексной переработке гидротехногенных георесурсов медноколчеданных месторождений. – автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук // Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова. Магнитогорск, 2010.
6. Мишурина О.А., Муллина Э.Р. Химические закономерности процесса селективного извлечения марганца из техногенных вод // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г.И. Носова. 2012, № 3. С. 58-62.
7. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Особенности химических способов извлечения марганца из технических растворов // Молодой учёный. – 2013. – № 5. – С.84 – 86.
8. Мишурина О.А., Чупрова Л.В., Муллина Э.Р. Химические превращения кислородсодержащих ионов хлора растворов при разных значениях диапазона рН // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2014, № 2-2. С. 43-46.
9. Никитин И.В. Химия кислородных соединений галогенов. – М.: Наука, 1986. – 104 с.
10. Туманова Т.А. Исследование окислительных свойств водных растворов хлора и его кислородных соединений в связи с отделкой целлюлозы. – Дисс. ... д-ра хим. наук. – Л.: ЛТА им. Кирова, 1974. – 519 с.