На правах рукописи

Гаджиева Аида Меджидовна

ЭЛЕКТРОЛИЗ ВОДНЫХ РАСТВОРОВ ХЛОРИДА КАЛЬЦИЯ: ЗАКОНОМЕРНОСТИ ПРОТЕКАНИЯ ЭЛЕКТРОДНЫХ РЕАКЦИЙ И СИНТЕЗ КАЛЬЦИЙСОДЕРЖАЩИХ СОЕДИНЕНИЙ

02.00.04 – Физическая химия

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
кандидата химических наук

МАХАЧКАЛА 2004

Работа выполнена на кафедре экологической химии и технологии Дагестанского государственного университета

Научные руководители: - **доктор технических наук, профессор Алиев З.М.**
- кандидат химических наук доцент Гусейнов М.А.

Официальные оппоненты: - **доктор химических наук, профессор Гасаналиев А.М.**
- кандидат технических наук, доцент Харламова Т.А.

Ведущая организация: **Институт проблем геотермии ДНЦ РАН**

Защита диссертации состоится 30 июня 2004 г. в 14^{00} часов на заседании диссертационного Совета К 212.053.02 по химическим наукам при Дагестанском государственном университете по адресу: 367025, г. Махачкала, ул. М. Гаджиева, 43а, химический факультет, аудитория 28.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Дагестанского государственного университета.

Автореферат разослан 29 мая 2004 г.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор химических наук, профессор Магомедбеков У.Г.

2007-4
17017

2521704

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Практически во всех природных водах содержатся соединения кальция в тех или иных концентрациях. Большие количества хлористого кальция образуются в виде отходов при получении соды, гидролизе хлорсодержащих органических соединений и в других производственных процессах.

Соединения кальция в настоящее время находят ограниченное применение.

Известные химические и электрохимические методы переработки хлорида кальция обладают существенными недостатками: разложение хлорида кальция при температуре 950-1000^0 С требует использования специальных конструкционных материалов и больших энергетических затрат; при электролизе же растворов хлорида кальция на катоде отлагается нерастворимый осадок (mCa(OH)$_2$ · nCaCl$_2$) и со временем прохождение электрического тока через систему прекращается.

Переработка хлорида кальция в более ценные продукты, используя его в качестве нового вида сырья для получения соляной кислоты, хлора, хлорсульфоновых кислот и хлористого алюминия в органическом и фармацевтическом производстве, является актуальной проблемой.

Особенно перспективными для этих целей являются электрохимические методы, позволяющие проводить синтезы химических продуктов без применения реактивов, используя электроокислительные и электровосстановительные процессы.

Выбор объектов исследования в диссертационной работе определялся, с одной стороны, ценностью конечных продуктов, а с другой стороны, возможностью использования в качестве сырья - хлорида кальция – многотоннажного отхода промышленных производств, переработка которого способствует охране окружающей среды от вредных промышленных выбросов.

Цель работы. Изучение закономерностей протекания электродных реакций и получение кальцийсодержащих соединений из водных растворов хлорида кальция.

Достижение поставленной цели потребовало решения следующих задач:

РОС. НАЦИОНАЛЬНАЯ БИБЛИОТЕКА
СПЕЦХРАНЕНИЕ
7

- изучить анодную реакцию выделения хлора из водных растворов хлорида кальция на различных электродных материалах;

- установить кинетику и механизм протекания электродных реакций в водных растворах хлорида кальция, нитрата кальция, ацетата кальция и смеси хлорида кальция с сахарозой;

- определить оптимальные параметры электрохимического синтеза кальцийсодержащих соединений: плотности тока, концентрации электролитов, выходы целевых продуктов по току.

Научная новизна:

-создана научная основа технологии и прогрессивные технологические решения электролиза водных растворов, содержащих ионы кальция;

- изучены закономерности протекания анодных и катодных реакций получения кальцийсодержащих соединений на различных электродных материалах.

Практическое значение работы:

- впервые, используя в качестве сырья хлорид кальция - синтезированы такие ценные химические соединения, как ацетат кальция, сахарат кальция, нитрат кальция, диоксид углерода, газообразные хлор и водород.

Апробация работы. Работа выполнена в рамках гранта Министерства образования РФ по программе "Научные исследования высшей школы по приоритетным направлениям науки и техники", подпрограммы - "Экология и рациональное природопользование", раздела - "Проблемы техногенных образований и использование промышленных и бытовых отходов 2001-2002 гг.".

Основные результаты докладывались и обсуждались на XIV совещании по электрохимии органических соединений "Новости электрохимии органических соединений" (г. Новочеркасск, 1998), на Всероссийской научно-практической конференции "Химия в технологии и медицине" (г. Махачкала, 2002), на Международной научно-технической конференции, посвященной 70-летию Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий (Санкт-Петербург, 2001), Международной конференции "Современные проблемы органической химии, экологии и биотехнологии" (г. Луга, 2001), на итоговых Всероссийс-

ких конференциях "Экология и рациональное природопользование" (Санкт-Петербург, 2001 и 2002).

Публикации. По теме диссертации опубликовано 11 работ в виде статей и тезисов докладов.

Объем и структура диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, трех глав, выводов и списка литературы, включающего 111 наименований. Работа изложена на 100 страницах машинописного текста, включает 36 рисунков и 6 таблиц.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, а также основные положения диссертации, вынесенные на защиту.

Глава 1. Литературный обзор

Первая глава посвящена проведению критического анализа известных химических методов утилизации хлорида кальция. Рассмотрены достоинства и недостатки этих способов. Показана незавершенность исследований данной проблемы и необходимость совершенствования старых и создание новых способов утилизации жидких и твердых хлорсодержащих отходов.

Приводятся опубликованные данные по электрохимическому получению и применению сахаратов кальция, газообразного хлора, диоксида углерода.

Обсуждены закономерности протекания электрохимических процессов в природных водах, содержащих ионы кальция.

На основании анализа литературных данных обоснована целесообразность проведения исследований с использованием электрохимических процессов для получения ценных кальцийсодержащих химических соединений.

Глава 2. Методы исследования

Во второй главе показано методологическое и инструментальное обеспечение исследований.

Для изучения закономерностей протекания электродных реакций в водных растворах хлорида кальция в диссертационной работе использованы такие методы получения вольтамперных за-

висимостей как потенциодинамический и гальванического электролиза.

Результаты были получены с помощью потенциостатов П-5827М и Пи-50-1 в комплексе с регистрирующими приборами в стандартной электрохимической ячейке ПСЭ-2 с разделенным электродными пространствами. В качестве рабочих электродов использовались точечные платиновый, графитовый и ОРТА электроды.

Для проведения препаративных синтезов был сконструирован электролизер из фторопласта, разделенный диафрагмой на катодную и анодную камеры.

Даны схемы ячеек и электролизеров, используемых для электрохимического синтеза. Анализ и идентификация образовавшихся продуктов проведены различными методами: газообразный хлор определяли йодометрическим методом, для определения содержания кальция применяли трилонометрический метод. В работе проведена математическая обработка результатов измерений.

Глава 3. Экспериментальные данные и их обсуждение

3.1. Закономерности протекания электродных реакций в растворе хлорида кальция на различных электродных материалах

Учитывая большой объем отходов, содержащих хлорид кальция, их переработка с целью получения ценных конечных продуктов является актуальной производственной и экологической проблемой.

Исходя из этого, были проведены экспериментальные исследования по электрохимическому синтезу ряда химических кальцийсодержащих соединений.

Изучены закономерности протекания электродных реакций и синтезированы целевые продукты электролизом различных систем.

3.1.1. Кинетика образования газообразного хлора при электролизе раствора хлорида кальция

В качестве электродных материалов для изучения анодных процессов были использованы платина, графит и ОРТА.

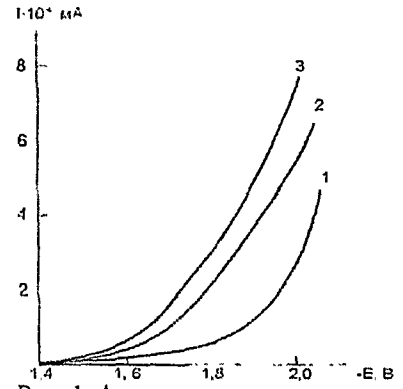

Рис. 1. Анодные вольтамперные кривые выделения хлора на платине, C_{CaCl_2}: 1 – 0,1М; 2 – 0,25М; 3 – 0,5М.

На рис. 1 представлены анодные вольтамперные кривые, полученные в водных растворах хлорида кальция различных концентраций на платиновом электроде. Скорость развертки потенциала 40 мВ/с.

Как видно из рис. 1, увеличение концентрации хлорида кальция приводит к смещению вольтамперных кривых в область менее положительных значений анодного потенциала, что объясняется снижением перенапряжения выделения хлора и смещением его равновесного потенциала в отрицательную сторону.

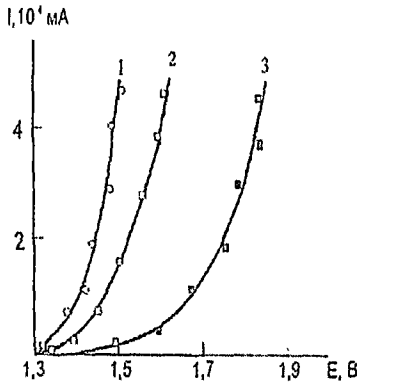

Рис. 2. Анодные вольтамперные кривые выделения хлора в 2М растворе $CaCl_2$: 1 – ОРТА, 2 – графит, 3 – платина.

Учитывая, что при практическом проведении электролиза хлоридов вместо дорогостоящей платины применяют графит и ОРТА, нами были сняты вольтамперные кривые на этих электродных материалах. Сравнение вольтамперных кривых выделения хлора на платине, графите и ОРТА (рис. 2) показывает, что на ОРТА в растворах хлорида кальция наблюдается наиболее низкий потенциал выделения хлора. Такая же закономерность наблюдается на этом электроде

и в растворе хлорида натрия. На указанных электродах также сохраняется тенденция снижения анодного потенциала с увеличением концентрации хлорид-иона.

В 2,0 М растворе хлорида кальция на электродах из платины, графита и ОРТА рассчитаны коэффициенты уравнения Тафеля: коэффициент переноса (α) и ток обмена (i_0) (табл. 1).

Таблица 1

Параметры электрохимического выделения хлора из 2М раствора хлорида кальция на платине, графите и ОРТА

Электрод	α	i_0, мА/см^2
платина	0,155	$9,1 \cdot 10^{-5}$
графит	0,272	$1,04 \cdot 10^{-6}$
ОРТА	0,107	$6,4 \cdot 10^{-2}$

Как показывают сравнительные данные табл. 1, выделение хлора на ОРТА происходит с более низким перенапряжением и относительно высокой скоростью, чем на платине и графите.

Кроме того, учитывая, что при высоких анодных потенциалах графит разрушается, более целесообразно применение электрода из ОРТА при получении газообразного хлора электролизом хлорида кальция.

3.1.2. Препаративные аспекты электролиза водного раствора хлорида кальция

Нами была экспериментально изучена возможность получения гипохлорита кальция электролизом водного раствора хлорида кальция в бездиафрагменном электролизере. Выходы по току $Ca(ClO)_2$ сравнимы с выходами по току NaClO, образующегося при электролизе хлорида натрия. Однако, с течением времени при прохождении тока напряжение на электролизе возрастает в результате образования нерастворимого осадка на катоде ($mCa(OH)_2 \cdot nCaCl_2$).

Синтез гипохлорита кальция электролизом имеет некоторые перспективы при замене катодной реакции выделения водорода на какую-либо другую, предотвращающую образование осадка, например, на реакцию получения сахарата, нитрата и ацетата кальция.

3.2. Особенности протекания электродных реакций в системе ($CaCl_2$ + сахароза +H_2O) на различных электродных материалах

Для связывания гидроксида кальция, образующегося при электролизе в катодном пространстве, использованы кислоты (азотная, уксусная) и сахароза.

Катодные вольтамперные кривые при добавлении в раствор хлорида кальция сахарозы смещаются в положительную область потенциалов, что указывает на отсутствие нерастворимого осадка на электроде.

Сахарат кальция образует с гидроксидом кальция соединение, регулирующее pH среды и участвующее в формировании защитной пленки на металле.

Проведение электролиза дистиллярной жидкости или раствора хлорида кальция в электролизере, содержащем в катодном пространстве раствор сахарозы, является наиболее перспективным способом электрохимической переработки хлорида кальция.

При проведении электролиза раствора хлорида кальция в диафрагменном электролизере, в катодной камере которого содержится 7-10 % -ный раствор сахарозы, протекают электродные реакции, характерные для водных растворов хлоридов.

На аноде образуется хлор

$$2Cl^- - 2e^- \rightarrow Cl_2$$

на катоде – водород и гидроксид кальция

$$2H_2O + 2e^- \rightarrow 2OH^- + H_2$$

$$Ca^{2+} + 2OH^- \rightarrow Ca(OH)_2$$

Образующийся гидроксид кальция взаимодействует с сахарозой по различным схемам:

$$Ca(OH)_2 + C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow CaC_{12}H_{20}O_{11} + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + 2C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow Ca(C_{12}H_{21}O_{11})_2 + 2H_2O$$

$$Ca(OH)_2 + C_{12}H_{22}O_{11} \rightarrow Ca(OH)C_{12}H_{21}O_{11} + H_2O$$

Введение в раствор хлорида кальция сахарозы оказывает деполяризующее действие на катодный процесс на платиновом электроде (рис. 3). Прямолинейные участки, соответствующие образованию водорода в растворе хлорида кальция и смеси $CaCl_2$ с

сахарозой, с увеличением потенциала резко расходятся, что объясняется экранированием поверхности электрода плотным нерастворимым осадком состава $mCa(OH)_2 \cdot nCaCl_2$, образующимся при электролизе раствора хлорида кальция без добавок сахарозы (рис. 3). Во всем интервале потенциалов ток восстановления ионов водорода в растворе [$CaCl_2$ + сахароза] больше, чем в чистом $CaCl_2$.

Преимуществом применения сахарозы для связывания гидроксида кальция является и то, что при нагревании раствора сахарата кальция в осадок выпадает $Ca(OH)_2$, раствор сахарозы при этом можно повторно использовать для проведения электролиза раствора хлорида кальция. В другом варианте пропусканием в раствор сахарата кальция диоксида углерода можно связать ионы кальция в виде нерастворимого осадка карбоната кальция.

При практическом проведении процесса электросинтеза сахарата кальция в диафрагменном электролизере использо вание платины в качестве катодного материала делает данный процесс неконкурентоспособным из-за его дороговизны. Исходя из этого, изучены закономерности протекания катодных реакций в системе [$CaCl_2$ + сахароза] на электродах из графита, меди и титана.

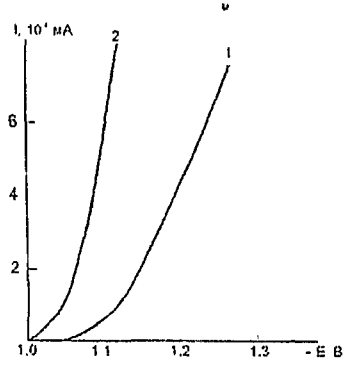

Рис. 3. Катодные вольтамперные кривые на платине. 1 – 2М $CaCl_2$, 2 – 2М $CaCl_2$+0,44 сахарозы

Рассмотрено также влияние концентрации сахарозы на скорость выделения водорода. Незначительное смещение потенциалов выделения водорода в область менее отрицательных значений с увеличением концентрации сахарозы в растворе $CaCl_2$ на платиновом электроде, на наш взгляд, объясняется изменением pH среды околоэлектродного пространства.

Однако, в случае электрода из графита увеличение концентрации сахарозы не приводят к заметному снижению перенапряжения процесса выделения водорода, т.е. концентрация сахарозы

оказывает лишь незначительное влияние на протекание катодного процесса. Такой ход поляризационных кривых связан, по нашему мнению, с различной хемосорбционной способностью платины и графита по отношению к соединениям, содержащимся в растворе. Для медного и титанового электродов введение в раствор сахарозы также не приводит к существенному смещению потенциала электрода.

Отсюда можно сделать вывод, что сахароза в растворе хлорида кальция оказывает лишь незначительное влияние на кинетику процесса выделения водорода. Однако, применение сахарозы при длительном проведении электролиза в растворе хлорида кальция не приводит к накоплению плотного осадка на катодных материалах и увеличению напряжения на электролизере.

При проведении электрохимического синтеза сахарата кальция целесообразно применять в качестве катодного материала платину или графит. Из них предпочтительным является графит, из-за его доступности и дешевизны.

Таким образом, анализ вольтамперных кривых позволяет утверждать, что скорость выделения водорода в системе ($CaCl_2$ + сахароза) на платиновом электроде выше, чем в чистом растворе хлорида кальция, и при электролизе в растворе хлорида кальция, содержащего сахарозу, экранирование поверхности катодного материала нерастворимым осадком соединений кальция не наблюдается, что позволяет проводить синтезы длительное время и получать ценные химические соединения: сахарат кальция, хлор и водород.

3.2.1. Закономерности протекания электродных реакций в системе [$CaCl_2$ + сахароза + $Ca(OH)_2$ + H_2O]

При электролизе водного раствора хлорида кальция образуется гидроксид кальция, экранирующий катод; механическое соскабливание осадка гидроксида кальция с поверхности катода и вибрирование катода не позволяют создать приемлемую для практического осуществления технологию электрохимического разложения хлорида кальция.

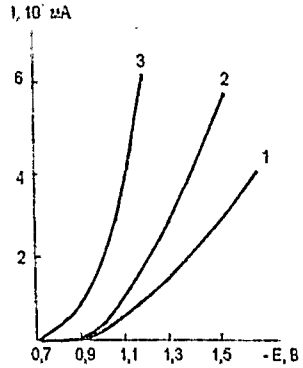

Рис. 4. Катодные вольтамперные кривые на платине V=40 мв/с, 1 – 0,15М $Ca(OH)_2$, 2 – 0,15М $Ca(OH)_2$ + сахароза, 3 – 0,15 М $Ca(OH)_2$ + 2 М $CaCl_2$+0,44М сахароза.

Учитывая, что при электролизе в чистых растворах хлорида кальция и в присутствии сахарозы со временем происходит подщелачивание раствора в катодном пространстве, рассмотрены закономерности протекания электродных реакций на платиновом электроде в системе [$CaCl_2$ + сахароза + $Ca(OH)_2$].

На рис. 4 представлены катодные вольтамперные кривые на платиновом электроде в растворах, содержащих гидроксид кальция, хлорид кальция и сахарозу. Как видно из рис. 4, сахароза оказывает деполяризующее действие как в чистом растворе гидроксида кальция, так и в системе [$CaCl_2$ + $Ca(OH)_2$]. В обоих случаях в присутствии сахарозы потенциал электрода смещается в положительную область.

3.3. Закономерности протекания электродных реакций в системе [$CaCl_2$ + HNO_3 + $Ca(NO_3)_2$+H_2O]

В связи с тем, что нитрат кальция находит широкое применение в качестве жидкого удобрения, проведены исследования по синтезу этого соединения электролизом в двухкамерном электролизере, используя в качестве анолита раствор хлорида кальция, католита – раствор азотной кислоты.

Как известно из литературных данных, азотная кислота на катоде восстанавливается до азотистой. При электролизе в катодной камере при содержании раствора HNO_3 образуется раствор [$Ca(NO_3)_2$ + $Ca(NO_2)_2$], в результате переноса ионов кальция из анодного пространства в катодное и реакции восстановления нит-

рат-ионов до нитрит-ионов. Окислением раствора $Ca(NO_2)_2$ за пределами электролизера можно получить нитрат кальция.

Методом вольтамперометрии исследованы закономерности протекания анодных и катодных реакции в растворе, содержащем нитрат кальция.

3.3.1. Анодный процесс

На рис. 5 представлена вольтамперная кривая на платиновом электроде в растворе нитрата кальция. Как видно из рис. 5, при потенциале 0,6 В наблюдается пик окис ления ионов NO_3^- с образованием оксидов азота. В растворе появляется резкий запах двуокиси азота.

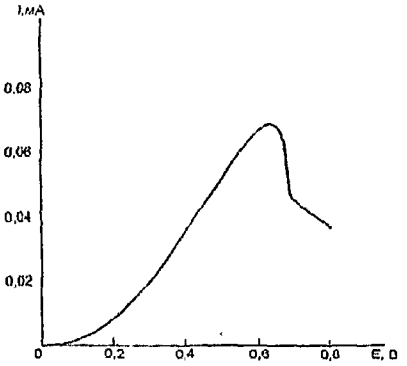

Рис. 5 Анодная поляризационная кривая на платиновом электроде в 0,5 М растворе нитрата кальция. V = 10 мВ/с.

Известно, что окисление нитрат-ионов в водных растворах на платиновом электроде протекает с образованием оксидов азота и кислорода по схеме

$$NO^-_3 - e \rightarrow NO^{\bullet}_3$$
$$2NO^{\bullet}_3 \rightarrow N_2O_6$$
$$N_2O_6 \rightarrow N_2O_5 + \tfrac{1}{2} O_2$$

Наличие перегиба на вольтамперной кривой при потенциале 0,6 В позволяет утверждать, что процесс окисления NO_3^--ионов протекает как электрокаталитическая реакция с участием оксидов платины.

Таким образом, при практической реализации процесса, электролиз необходимо проводить при менее положительных потенциалах, чем 0,6 В (х.с.э.).

3.3.2. Катодный процесс

При электролизе смеси раствора $Ca(NO_3)_2$ и карбоната кальция ионы кальция переходят из анодного пространства в катодное,

образующаяся при этом в анодной камере азотная кислота разлагает карбонат кальция с образованием диоксида углерода и нитрата кальция. В катодной камере при этом образуется сахарат кальция в результате взаимодействия сахарозы и гидроксида кальция.

Изучена кинетика протекания катодного процесса в водных растворах нитрата кальция на платине и графите. На платиновом электроде наблюдается восстановление нитрата кальция до нитрита, который легко окисляется кислородом воздухом до исходного соединения. Установлено, что скорость восстановления нитратионов зависит от концентрации электролита и материала электрода.

3.3.3. Электрохимическое получение диоксида углерода

Изучен сопряженный электрохимический процесс разложения карбоната кальция и получение сахарата кальция электролизом системы $Ca(CO_3)_2$+ $Ca(NO_3)_2$+H_2O. Электролиз проводили в диафрагменном электролизере (керамическая диафрагма), в анодную камеру которого наливают смесь 4М раствора нитрата и карбоната кальция, в катодную – раствор сахарозы.

Таким образом, впервые проведена реакция разложения карбоната кальция с использованием электрохимического процесса.

В табл.2 представлены данные по зависимости выхода по току диоксида углерода от плотности тока при электролизе 4М нитрата кальция +20г карбоната кальция при t=75^{0}C на платиновом электроде. В качестве мембраны использовали МК – 40.

Таблица 2

Зависимость выхода по току диоксида углерода от плотности тока на платиновом электроде

Исх. состав	i, А/см^2	U, В	ВТ, %
4М $Ca(NO_3)_2$ + $CaCO_3$	0,01	7	90
	0,05	10	95
	0,1	11	92
	0,2	13	90

Как видно из данных табл.2, наиболее высокие выходы по току наблюдаются при средних плотностях тока (0,05 А/см^2). Осуществление реакции разложения карбоната кальция электролизом

обладает рядом преимуществ: отпадает необходимость применения высоких температур, связанная с большими затратами энергии для разложения карбоната кальция; при электролизе, кроме диоксида углерода, образуются ценные химические соединения – водород, кислород и сахарат кальция.

3.4. Электрохимическое получение ацетата кальция

3.4.1. Особенности катодного процесса при электросинтезе ацетата кальция на различных электродных материалах

Одним из химических соединений, применяемых для получения ацетона является ацетат кальция, который получают по известной реакции - взаимодействием гидроксида кальция с уксусной кислотой.

Так как синтез уксуснокислого кальция осуществляется в катодной камере электролизера, рассмотрен катодный процесс выделения водорода из водных растворов ацетата кальция и уксусной кислоты.

Установлено, что на платиновом электроде в интервале потенциалов от – 0,35 до – 0,6 В идет преимущественное восстановление ацетат ионов. Однако, восстановление ацетат ионов является нежелательным процессом, приводящим к снижению выходов конечного продукта по току.

Исходя из этого, в целях минимизации потерь синтезируемого ацетата кальция за счет его восстановления и исключения платины как дорогостоящего материала, катодный процесс изучен с использованием других электродных материалов.

Сравнение и анализ вольтамперных кривых показывает, что наиболее подходящим в качестве катодного материала для процесса электросинтеза ацетата кальция является медь, так как на данном электроде наблюдается относительно невысокое перенапряжение выделения водорода.

3.4.2 Препаративные аспекты электросинтеза ацетата кальция

Была исследована зависимость выхода по току ацетата кальция от плотности тока в интервале 0,001 - 0,016 А/см^2 и продолжи-

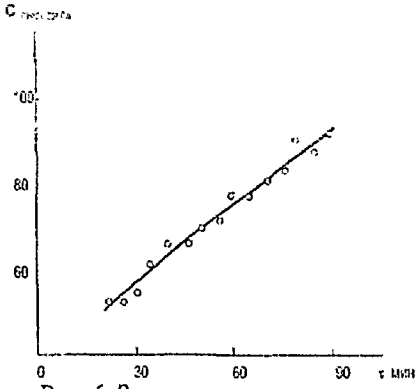

Рис. 6. Зависимость концентрации ацетата кальция от продолжительности электролиза при i = 0,014 А/см^2

тельности электролиза. При плотности тока 0,014 А/см^2 наблюдается наибольший выход уксуснокислого кальция.

В ходе процесса как побочные продукты выделяются ценные вещества – водород и хлор. Линейная зависимость концентрации ацетата кальция при одной и той же плотности тока от продолжительности электролиза показывает, что в системе протекает одна реакция – выделение водорода (рис. 6).

Положительным эффектом является и то, что не происходит экранирование поверхности электрода гидроксидом кальция и смещение потенциала электрода в отрицательную сторону.

Выводы

1. Показана возможность использования электрохимических методов для утилизации хлорида кальция - многотоннажного промышленного отхода.

2. Изучены закономерности протекания анодных и катодных реакций в различных системах ($CaCl_2$+H_2O), ($CaCl_2$+сахароза + H_2O), ($CaCl_2$ + сахароза + $Ca(OH)_2$ + H_2O), ($CaCl_2$ + HNO_3 + $Ca(NO_3)_2$+H_2O). Определены оптимальные условия протекания электрохимических процессов в указанных системах.

3. Установлено, что использование раствора сахарозы в качестве католита в диафрагменном электролизере предотвращает экранирование катодного материала осадком, состоящим из гидроокиси и хлорида кальция.

4. Изучена кинетика выделения водорода в водном растворе $CaCl_2$ + сахароза. Показано, что потенциал выделения водоро-

да зависит от концентрации хлорида кальция и сахарозы. Оптимальными условими выделения водорода являются: 2М - $CaCl_2$, 0,44М - сахароза, катодная плотность тока 0,01 А/см^2.

5.Используя электролиз растворов $CaCl_2$, синтезированы такие ценные химические соединения, как ацетат кальция, нитрат кальция, диоксид углерода, сахарат кальция.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Гаджиева А.М., Алиев З.М. Получение сахарата кальция электролизом // Вестник ДГУ. Естетвенные науки №4(29), 1998. - С.79-80.

2. Гаджиева А.М., Гуссйнов М.А. Электрохимический синтез сахарата кальция // Сб. тез. докл. "Новости электрохимических органических соединений". - Новочеркасск: ЮРГТУ (НПИ),1998. - С. 100.

3. Гаджиева А.М. Алиев З.М. Закономерности протекания электрохимических процессов в водных системах, содержащий ионы кальция // Межвузовский сборник научных работ аспирантов (Естественные науки). - Махачкала: ДГПУ, 2000. - С. 46-48.

4. Гаджиева А.М. Алиев З.М. Использование кальцийсодержащих соединений для получения диоксида углерода электролизом / /Материалы всероссийской научно-практической конференции "Химия в технологии и медицине". - Махачкала, 2002. - С. 14-15.

5. Гаджиева А.М., Гусейнов А.А., Алиев З.М. Электрохимический синтез ацетата кальция // Материалы всероссийской научно-практической конференции "Химия в технологии и медицине". - Махачкала, 2002. - С. 15-17.

6. Гаджиева А.М., Гусейнов А.А., Алиев З.М. Утилизация промышленных отходов, содержащих хлорид кальция. // Записки горного института. Наука в Санкт-Петербургском государственном институте. - Санкт-Петербург: СПБГГИ (ТУ), 2001. - С.193-195.

7. Гаджиева А.М. Исследование электродных реакций, происходящих в водных системах содержащих ионы кальция // Сборник научных трудов преподавателей и сотрудников технологического фа-

культета. "Совершенствование технологических процессов в пищевой и легкой промышленности". - Махачкала: ДГТУ, 2002. - С. 110-116.

8. Гаджиева А.М. Закономерности протекания электрохимических процессов в водных системах, содержащих ионы кальция. // Международная научно-технологическая конференция, посвященная 70-летию Санкт-Петербургского государственного университета низкотемпературных и пищевых технологий "Низкотемпературные и пищевые технологии в XXI веке". - Санкт-Петербург, 2001. - С. 108-110.

9. Гаджиева А.М. Каймаразова Ф.Г., Алиев З.М. Исследования электродных реакций, происходящих в водных системах, содержащих ионы кальция. Деп. в ВИНИТИ - №246-В2002 - 7 с.

10. Гаджиева А.М. Каймаразова Ф.Г. Алиев З.М. Утилизация хлорида кальция // Сборник тезисов докладов 1-ой Международной конференции "Современные проблемы органической химии экологии и биотехнологии". Экология и рациональное природопользование. - Луга: Крестьянский ГУ им. Кирилла и Мефодия, 2001. - С. 63-64.

11. Гаджиева А.М., Гусейнов М.А., Алиев З.М. Разработка технологии электрохимических процессов утилизации хлорида кальция - многотоннажного промышленного отхода// Записки горного института. Наука в Санкт-Петербургском государственном институте. - Санкт-Петербург: СПБГГИ (ТУ), 2003 - С. 168-170.

Формат 60/84 1/16. Гарнитура «Таймс». Бумага офсетная.
Тираж 100 экз.Размножено на дупликаторе ПБОЮЛ «Бисултанова»

РНБ Русский фонд

2007-4
17017