АННОТАЦИЯ
диссертации на соискание доктора философии (PhD) по специальности 6D072000 – «Химическая технология неорганических веществ»
Молайган Сержан
«Разработка способа получения водорода из воды в присутствии катализатора»

Общая характеристика работы. Диссертационная работа посвящена разработке способов получения водорода из воды с использованием катализатора. Впервые показано, что в присутствии ионов ртути алюминий вступает в реакцию с водой, в результате которой образуются водород и гидроксид алюминия. Определены оптимальные условия для процесса выделения водорода из воды при комнатной температуре с применением алюминиевого электрода и катализатора, что позволяет создать генератор водорода, функционирующий в автономных условиях.

В работе подробно исследованы различные параметры эксперимента, включая влияние катионов и анионов, присутствующих в воде, а также зависимость скорости выделения водорода от концентрации катализатора. Также анализируется процесс выделения водорода в присутствии различных металлов-деполяризаторов (Pd, Ni, Fe) и графита, находящихся в контакте с алюминием. Для сравнения рассмотрены процессы взаимодействия алюминия с водой в присутствии гидроксида натрия и некоторых кислот.

Актуальность темы исследования.

В настоящее время в мире сохраняются экологические проблемы, связанные с изменением климата, разрушением озонового слоя и с другими техногенными явлениями, отрицательно действующими на качество жизни. Одной из актуальных задач современных научно-технических исследований является разработка и совершенствование способов получения доступных, экологически чистых, дешевых видов топлива.

Способность водорода к каталитическому окислению при низких температурах и преобразование при этом химической энергии окисления в электрическую открывает путь к широкому применению водородной энергетики. Однако состояние водородных технологии и способы получения водорода на сегодняшний день не обеспечивает возможность полной замены традиционных источников энергии. Причиной тому являются: водорода в свободном состояний на земле нет, а для его получения необходимы доступное химическое сырье и доступные источники энергии.

Получение водорода из обычной воды в автономных условиях является актуальной проблемой, так как эта проблема не решена во всем мире. Водород является легко окисляющимся газом, в основном применяется в качестве топлива, его сжигают с целью получения тепла. Кроме того, водород применяется в двигателях внутреннего сгорания и для получения электрической энергии в топливных элементах. Водород является самым лучшим топливом, обладающим значительными преимуществами перед другими видами топлива. При сжигании водорода не происходит загрязнение

окружающей среды, так как при этом образуется вода – вещество, свойственное естественному составу природной среды ($2H_2 + O_2 \rightarrow 2H_2O$).

Таким образом, из вышеизложенного следует, что разработка способов получения водорода является актуальной проблемой современности.

Цель работы: разработка способа получения водорода при взаимодействии воды с алюминием в присутствии катализатора, а также при контактировании алюминия с различными металлами-деполяризаторами.

Задачи исследования:

- Исследование влияния катализатора на скорость взаимодействия алюминия с водой, определение характера влияния температуры, площади алюминиевого электрода на скорость выделения водорода;
- Исследование влияния анионов и катионов на скорость выделения водорода из воды в присутствии катализатора;
- Исследование процесса выделения водорода на поверхности алюминиевой пластины в растворах гидроксида натрия и некоторых минеральных кислот (фосфорной, серной);
- Исследование характера изменения потенциала алюминия при его взаимодействии с водой в присутствии катализатора;
- Исследование процесса взаимодействия алюминия с водой при контакте алюминия с различными металлами-деполяризаторами и графитом.

Методы исследования. Исследование влияния различных параметров на скорость выделения водорода при химическом взаимодействии алюминия с водой в присутствии катализатора, измерение pH, химический анализ продуктов реакции, измерение потенциала алюминиевого электрода, снятие потенциодинамических поляризационных кривых на потенциостате CS 120 Potentiostat (CorrTest Instruments, Китай) с применением термостатированной трехэлектродной ячейки (Metrohm (Herisau, Швейцария) модель 663 VA стенд) кривые записывались с помощью установленной на ноутбуке (Словакия подготовлено для Lenovo, Китай) программы CS Studio5, рентгенофазовый и элементный анализ образующихся осадков на приборах: дифрактометр Дрон – 4-07 и установленная на сканирующем электронном микроскопе JSM 6610 LV (JEOL, Япония) рентгено-флуоресценционной спектроскопии энергия-дисперсионной системе.

Объекты исследования: водород, алюминий, вода, катализатор (нитрат ртути), металлы-деполяризаторы (палладий, никель, железо), графит, водно-щелочные растворы, растворы кислот (фосфорная, серная), хлорид натрия.

Предмет научного исследования: реакция взаимодействия алюминия с водой в присутствии катализатора (нитрата ртути), а также при контактировании алюминиевого электрода с металлами-деполяризаторами (палладием, железом, никелем) и графитом.

Основные положения, выносимые на защиту:

1) В системе «алюминий – вода - ртуть» за счёт разности электродных потенциалов между Al и Hg^{2+} протекает окислительно-восстановительный процесс с образованием металлической ртути и ионов Al^{3+}. При этом

формируется амальгама, которая разрушает естественную оксидную плёнку, переводит алюминий в активное состояние и обеспечивает его взаимодействие с водой с выделением водорода. При увеличении концентрации Hg^{2+} в системе «алюминий – вода – ртуть» с 0,5 до 2,5 г/л скорость выделения водорода возрастает более чем в 100 раз.

2) При введении в систему «алюминий – вода - ртуть » металла-деполяризатора (Pd, Ni, Fe) или графита скорость выделения водорода возрастает в 1,4–2,4 раза вследствие снижения перенапряжения реакции выделения водорода на их поверхности и ускорения катодного восстановления воды.

3) В системе «алюминий – вода – ртуть», образующаяся при восстановлении Hg^{2+} металлическая ртуть многократно амальгамирует алюминий, повторно разрушает оксидную плёнку и инициирует новый цикл его взаимодействия с водой.

Научная новизна

- Установлено, что при введении в раствор нитрата ртути, благодаря разности потенциалов, происходит оксилительно-восстановительная реакция между алюминием и ионами ртути, образуются ионы алюминия и ртуть в элементном виде. В результате поверхность алюминия претерпевает электрохимическую коррозию, образуется амальгама (обладающая отрицательным потенциалом), то есть алюминий освобождается от оксидной пленки, становится активным и, как отрицательный металл, взаимодействует с водой с выделением водорода. Отмечаем, что в обычных условиях алюминий с водой не взаимодействует из-за прочной оксидной пленки, постоянно присутствующей на его поверхности;
- Установлено, что образование амальгамы алюминия и выделение водорода имеет циклический характер, то есть катализатор не расходуется, но участвует вновь в реакции образования водорода и электрохимической реакции взаимодействия воды с алюминием. Реакция протекает с образованием водорода до полного растворения алюминиевого электрода ;
- Впервые показано, что объем и скорость выделения водорода зависит от концентрации катализатора (ионов ртути), природы металла-деполяризатора, находящегося в контакте с алюминием. Установлено, что при использовании металлов и графита, перенапряжение выделения водорода на которых ниже, чем перенапряжение выделения водорода на алюминии и на его амальгаме, скорость выделения водорода увеличивается в 1,4–2,4 раза.

Теоретическая ценность диссертационной работы

Результаты проведенных исследований расширяют знания и научные сведения в области водородной энергетики, в том числе разработки способов выделения водорода из воды, расширяют сведения о возможности получения водорода в автономных условиях в присутствии катализатора и при контактировании алюминия с металлами-деполяризаторами.

Практическая ценность диссертационной работы

Создание нового способа получения водорода способствует решению проблемы получения водородного топлива в автономных условиях. При

сжигании водорода образуется вода – вещество, свойственное естественному составу природной среды. К тому же, при этом в атмосферу не выбрасываются загрязнители, оказывающие отрицательное действие на качество жизни человека и его здоровье. При сжигании водорода скорость расапространения пламени в 8 раз выше, чем скорость распространения пламени при сжигании углеводородного топлива. Результаты данного исследования вносят значительный вклад в водородную энергетику и в развитие способов получения водорода в автономных условиях. Кроме того, водород, являясь легким химическим элементом, применяется во многих химических технологиях в качестве восстановителя, в этой связи с каждым годом спрос на водород возрастает. Водород применяется при глубокой переработке нефти, а в химической промышленности для получения аммиака и азотных удобрений, в черной металлургии широко применяется в качестве восстановителя.

Связь темы исследования с планами научно-исследовательских работ. Данная тема, связана с актуальными в мире программами, посвященными разработке способов получения водорода из возобновляемых источников энергии, особенно интересны автономные способы получения водорода. В Послании Президента РК Касым-Жомарта Токаева народу Казахстана от 1 сентября 2021 года «Единство народа и системные реформы – прочная основа процветания страны» поставлена задача достичь углеродной нейтральности к 2060 году. Подчеркивая необходимость перехода к атомной энергетике, Президент отметил перспективность производства «зеленого» водорода, развития водородной энергетики в целом.

Диссертационная работа выполнена в качестве поискового исследования на кафедре общей и неорганической химии Казахского национального университета имени аль-Фараби в связи с поставленными в Послании Президента и в других указанных документах, задачами.

Личный вклад докторанта заключается в постановке задач исследования, проведении экспериментов, в сборе литературных данных, обобщении полученных результатов.

Основные итоги диссертационного исследования опубликованы в 12 научных трудах, а именно, в одной статье в международном научном журнале, имеющем по данным информационной базы компании Скопус (Scopus) и Web of Science, процентиль 39, квартиль Q3; в трех статьях в журналах, рекомендованных Комитетом по контролю в сфере образования и науки Министерства высшего обоазования и науки Республики Казахстан, в одной статье в Международном научно-практическом журнале «Глобальная наука и инновации 2020, в шести статьях и тезисах в сборниках международных конференции, в дальнем и ближнем зарубежье, получен один патент Республики Казахстан на полезную модель (ПМ № 6276 опубл. 30.07.2021;

Описание вклада докторанта в подготовку каждой публикации

1. Bayeshova A., Bayeshov A., Molaigan S. Obtaining hydrogen by aluminum interaction with water // Journal of Chemical Technology and Metallurgy. – 2019. – Vol. 54(3). – P. 639–642 – выполнение экспериментов, сбор литературы, обработка результатов, описание, оформление, редактирование.

2. Баешова А. К., Молайган С., Баешов А. Б. Сутекті судан алудың кейбір белгілі және жаңа әдістерінің салыстырмалы сипаттамасы // Абай атындағы ҚазҰПУ-нің Хабаршысы «Жаратылыстану-география ғылымдары» сериясы, 2018. – № 2 (56). – 2018. – Б. 22-27. – выполнение экспериментов, сбор литературы, обработка результатов, описание, оформление, редактирование.

3. Bayeshova A.K., Molaigan S., Bayeshov A.B. Hydrogen energetics current state and hydrogen production methods //Известия НАН РК. Серия химии и технологии. – 2018. – №. 5. – С. 107–116 – выполнение экспериментов, сбор литературы, обработка результатов, описание, оформление, редактирование.

4. Баешов А., Баешова А. К., Молайган С. Турлыбекова М.Н., Леска Б. Роль деполяризаторов в процессах выделения водорода из воды на поверхности амальгамы алюминия // News of the of Sciences of the Republic of Kazakhstan JSC «D. V. Sokolsky institute of Fuel, catalysis fnd Electrochemistry», series Chemistry and Technology, 2023. –№ 1(454). – P.15-26 – выполнение экспериментов, сбор литературы, обработка результатов, описание, оформление, редактирование.

5. Баешова А.К., Молайган С., Баешов А., Исследование процесса выделения водорода из водных растворов при растворении алюминия в присутствии катионов // Сборник статей по итогам Международной научно-практической конференции 12 мая 2018 г. Стерлитамак, Российская федерация, Агентство международных исследований, 2018 г. – С.83-85 – выполнение экспериментов, сбор литературы, обработка результатов, описание, оформление, редактирование.

6. Баешова А.К., Баешов А., Молайган С. Сутекті алюминий мен суды әрекеттестіру арқылы алу әдісін түрлендіру // Материалы Международной научно-практической конференции «Наука, образование и производство в условиях четвертой промышленной революции». – Караганды – 2018. – С.154-156 – выполнение экспериментов, обработка результатов, описание, оформление, редактирование.

7. Молайган С., Баешова А. К. Алюминий мен судың әрекеттесуінің термодинамикалық мүмкіндіктерін қарастыру // Международный научно-практический журнал «Глобальная наука и инновации 2020», № 5(10). Август 2020, серия «Химические науки». – С.17-21 – выполнение экспериментов, сбор литературы, обработка результатов, описание, оформление, редактирование.

8. Баешова А. К., Баешов А., Турлыбекова М. Н., Молайган С. Способ получения водорода / Патент Республики Казахстан № 6276 на полезную модель по заявке № 2021/0284.2. Опубл. 30.07.2021 – выполнение экспериментов, патентный поиск, обработка результатов, подготовка заявки, оформление.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа состоит из введения, литературного обзора, пяти глав, заключения, а также из списка 163 использованных источников. Работа изложена на 139 страницах, содержит 61 рисунка и 18 таблиц, приложения.