

Министерство науки и высшего образования РФ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»

«УТВЕРЖДАЮ»

Проректор по научной работе
д.т.н. проф. Драгунов В.К.



_____ 2022 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА
специальной дисциплины 1.4.6. Электрохимия

Москва 2022

Программа составлена на основе паспорта специальности научных работников и программы - минимум кандидатского экзамена по специальности «Электрохимия» в действующей редакции и в соответствии с Положением о подготовке научных и научно- педагогических кадров в аспирантуре (адъюнктуре), утвержденным постановлением Правительства Российской Федерации от 30 ноября 2021г. № 2122.

ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Целью дисциплины является изучение специальных разделов электрохимии, относящихся к электрохимическим процессам в энергетике для последующего применения полученных знаний при разработке технологии создания химических преобразователей энергии.

Задачами дисциплины являются:

- познакомить обучающихся с электрохимическими основами функционирования химических источников тока и электролизеров, с их классификацией;
- познакомить обучающихся с термодинамическими и кинетическими закономерностями работы химических преобразователей энергии;
- познакомить обучающихся с физико-химическими принципами технологии изготовления функциональных и конструкционных материалов для химических преобразователей энергии;
- научить создавать новые электрохимические системы с повышенной энергетической эффективностью;
- научить производить расчеты и эскизное проектирование новых электрохимических преобразователей энергии.

МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ПРОГРАММЫ АСПИРАНТУРЫ

Специальная дисциплина в структуре программы аспирантуры входит в Блок 2 «Образовательный компонент. Общая трудоемкость составляет 7 зачетных единиц (з.е.).

Формула специальности

Электрохимия – раздел химической науки, изучающий термодинамические и транспортные свойства конденсированных ионных систем и процессы на границах раздела фаз с участием заряженных частиц. К конденсированным ионным системам относятся растворы и расплавы электролитов, твердые электролиты, химические системы в сверхкритическом состоянии. В круг объектов исследования электрохимии входят: границы раздела между разными ионными системами, в том числе образованные ионными системами и разделяющими их мембранами; границы раздела между указанными ионными системами и металлами, полупроводниками или диэлектриками (электродными материалами); материалы (фазы) переменного

состава, образование которых индуцировано процессами на заряженных межфазных границах. Электрохимия изучает ионные системы, электродные материалы, границы раздела фаз и процессы на этих границах как в состоянии равновесия, так и в динамических условиях при прохождении постоянного и/или переменного токов. Теоретическую основу электрохимии составляют теория электролитов, теория двойного электрического слоя и теория элементарного акта переноса электрона. Электрохимия использует теоретические методы математической и квантовой химии с учетом специфики поведения систем, содержащих заряженные частицы и заряженные границы раздела фаз, аппарат теоретической электродинамики и электростатики, методы статистической физики, химической термодинамики и кинетики.

Области исследований

1. Термодинамические и транспортные свойства ионных систем, электрон- или ионпроводящих полимеров, интеркаляционных соединений; гомогенные химические реакции с переносом заряда.

2. Структура заряженных межфазных границ. Теория двойного электрического слоя. Динамика процессов на межфазных границах (макрокинетика электродных процессов, кинетика адсорбционных и хемосорбционных процессов, теория переноса электрона и ионов через границу раздела фаз, электрохимическая интеркаляция). Электрокатализ.

3. Механистические и молекулярные аспекты многостадийных электродных процессов с участием неорганических, металлоорганических и органических веществ; синтетические приложения.

4. Электрохимическая генерация, передача и хранение энергии; оптимизация электролитов, электродных материалов, сепараторов и мембран.

5. Равновесные и динамические явления на полупроводниковых электродах, в сенсibilизированных наноразмерных системах и наногетерогенных композициях. Фотоэлектрохимические процессы и устройства.

6. Электрохимические аспекты коррозии и защиты от коррозии; пассивность; теория и приложение процессов образования и растворения фаз (электроосаждение, электрополировка, электрохимическое формообразование, микро- и наноструктурирование).

7. Фундаментальные и прикладные аспекты процессов, составляющих основу электрохимических производств.

8. Теория, исследование и моделирование химических источников тока и топливных элементов, суперконденсаторов, электрохромных систем, электрохимических сенсоров, электролизеров, электродиализаторов и др. устройств и реакторов.

9. Редокс-процессы с участием компонентов биологических систем; электрохимия биомембран и их моделей; электрохимические биосенсоры; приложения электрохимических методов в биологии и медицине.

10. Микро- и наноэлектрохимия, электрохимическая нанотехнология. Электросинтез функционального назначения.

11. Теоретические основы электрохимических, электроаналитических и комбинированных методов.

Отрасль науки

- технические науки;
- химические науки;
- физико-математические науки.

Введение

В основу настоящей программы положены следующие дисциплины: теория электролитов, основы термодинамики гетерогенных электрохимических систем, теория двойного электрического слоя и явлений адсорбции на межфазных границах, кинетика электродных процессов, прикладная электрохимия.

Программа разработана экспертным советом Высшей аттестационной комиссии Министерства образования Российской Федерации по химии (по неорганической химии) при участии химического факультета МГУ им. М.В.Ломоносова, Института электрохимии РАН и Института физической химии РАН.

Общие вопросы

Предмет и структура современной электрохимии. Место электрохимии среди других наук. Основные исторические этапы развития электрохимии. Области применения электрохимии и перспективы ее дальнейшего развития.

Равновесные и неравновесные свойства электролитов

Ион-дипольное взаимодействие и причины устойчивости ионных систем. Термодинамические и модельные методы расчета энергии сольватации. Химическая и реальная энергии сольватации. Энтропия сольватации ионов. Динамическая теория сольватации и понятие об отрицательной гидратации. Термодинамика растворов электролитов. Коэффициенты активности ионов и методы их определения. Равновесия в растворах электролитов. Методы определения констант равновесия. Теория кислот и оснований. Виды ион-ионного взаимодействия в растворах электролитов, ассоциация ионов. Вывод уравнений теории Дебая-Хюккеля для потенциала ионной атмосферы и для коэффициента активности. Применение теории Дебая-Хюккеля к растворам сильных и слабых электролитов. Современное состояние теории растворов электролитов. Типы растворителей и их свойства. Корреляционные подходы к сравнению свойств растворителей. Спектроскопические методы исследования растворов электролитов. Состояние ионов в растворе.

Неравновесные явления в растворах электролитов: диффузия, миграция и ионные реакции. Уравнения Нернста-Эйнштейна и Нернста-Планка. Диффузионный потенциал. Понятие удельной и эквивалентной электропроводности. Закон Кольрауша. Числа переноса и методы их

определения. Подвижности отдельных ионов, их определение и зависимость от ионного радиуса, концентрации электролита и от температуры раствора. Аномальная подвижность. Влияние вязкости среды на транспортные явления в растворах. Интерпретация явлений электропроводности с точки зрения теории Дебая-Хюккеля (электрофоретический и релаксационный эффекты; уравнение Онсагера; эффекты Вина и Дебая-Фалькенгагена). Представление о структуре и электропроводности неводных растворов, расплавов и твердых электролитов. Полимерные электролиты. Растворы, содержащие сольватированные электроны.

Основы термодинамики гетерогенных электрохимических систем

Понятие об электрохимическом потенциале. Условие электрохимического равновесия на отдельной межфазной границе и в электрохимической цепи. Скачки потенциала на границах раздела фаз; разности потенциалов Гальвани и Вольта. Понятие электродного потенциала; стандартный электродный потенциал. Уравнение Нернста. Концепция электронного равновесия на границе электрод-раствор. Взаимные превращения химической и электрической энергии в электрохимической системе. Термодинамика гальванического элемента; уравнение Гиббса-Гейлмгольца. Методы определения коэффициентов активности, констант равновесия ионных реакций и чисел переноса на основе измерений электродвижущих сил. Электрохимическое равновесие на границе двух несмешивающихся жидкостей, на мембранах и ион-селективных электродах. Принцип работы стеклянного электрода. Электрохимические сенсоры.

Двойной электрический слой и явления адсорбции на межфазных границах

Механизм образования и принципы экспериментальных методов изучения двойного электрического слоя. Электрокапиллярные явления на жидких и твердых электродах. Поверхностный избыток, адсорбционное уравнение Гиббса. Вывод и проверка общего уравнения электрокапиллярности. Зависимость пограничного натяжения от потенциала, состава раствора, температуры и природы металла. Понятие о полном и свободном заряде электрода. Потенциалы нулевого свободного и нулевого полного заряда; методы их определения. Термодинамическая теория поверхностных явлений на металлах, адсорбирующих водород и кислород. Проблемы Вольта и абсолютного скачка потенциала. Импеданс электрода и эквивалентные электрохимические схемы. Емкость двойного электрического слоя; ее зависимость от потенциала электрода, состава раствора и его концентрации. Роль металлической обкладки в строении двойного электрического слоя. Методы изучения двойного слоя на металлах группы платины: адсорбционный метод, методы кривых заряжения, вольтамперометрии, изоэлектрических сдвигов потенциала, радиоактивных индикаторов. Оптические и рентгеновские методы изучения границы раздела электрод-раствор. Физические методы *ex situ*. Сканирующая туннельная микроскопия и спектроскопия и другие зондовые методы. Сканирующая

электрохимическая микроскопия. Двойной слой на границе раствор-воздух. Модельные теории двойного слоя. Вывод уравнений для заряда электрода в теориях Гуи-Чапмена, Штерна и Грэма. Эффект Есина-Маркова. Явление частичного переноса заряда при адсорбции ионов. Гидрофильность поверхности. Методы изучения и теория обратимой адсорбции органических соединений на электродах. Двумерные фазовые слои и фазовые переходы в поверхностных слоях. Методы изучения и характерные особенности адсорбции органических веществ на металлах платиновой группы.

Строение двойного слоя на оксидных и полупроводниковых электродах. Двойной электрический слой на границе электрод/расплав и электрод/твердый электролит.

Кристаллографическая структура поверхности и ее роль и строении двойного электрического слоя. Понятие о фрактальных поверхностях. Методы определения величины истинной поверхности электродов.

Кинетика электродных процессов

Общая характеристика электродных процессов и понятие лимитирующей стадии. Механизмы массопереноса: диффузия, миграция и конвекция. Стационарная диффузия при разряде ионов на одноименном металле, на ртути и на амальгаме и роль явлений миграции в этих процессах. Теория конвективной диффузии. Вращающийся дисковый электрод и его использование для изучения электрохимической кинетики. Вращающийся дисковый электрод с кольцом. Нестационарная диффузия к плоскому и сферическому электродам при постоянном потенциале. Теория полярографического метода. Полярографические максимумы и их теоретическая интерпретация. Вольтамперометрия. Осциллографическая полярография. Диффузионный импеданс. Различные виды полярографии на переменном токе. Хронопотенциометрия. Основные принципы и блок-схемы релаксационных методов изучения электрохимической кинетики (импульсный потенциостатический метод, импульсный и двухимпульсный гальваностатические методы, кулоностатический метод, методы фарадеевского импеданса и фарадеевского выпрямления). Электрохимическая импедансная спектроскопия. Тонкослойные методы. Ультрамикроэлектроды. Метод кварцевого микровзвешивания. Представления о работе пористого электрода, суспензионных и флюидизированных электродов.

Основные положения теории замедленного разряда. Ток обмена. Зависимость скорости реакции от температуры. Идеальная и реальная энергии активации. Влияние структуры двойного электрического слоя и природы электрода на скорость стадии разряда. Процессы электровосстановления ионов гидроксония и анионов на электродах с высоким перенапряжением выделения водорода. Роль работы выхода электрона в кинетике электродных процессов. Фотоэмиссия электронов из металла в раствор. Электрохимическая генерация сольватированных электронов. Особенности электрохимической кинетики на полупроводниковых электродах. Теория и методы изучения электрохимических процессов, включающих гомогенные или гетерогенные

химические стадии.

Кинетические и каталитические токи. Влияние комплексообразования на кинетику электродных реакций. Стадийный перенос электронов в электрохимических реакциях. Механизм реакции выделения водорода и электровосстановления кислорода на различных электродах. Роль адсорбции поверхностно-активных веществ в электрохимической кинетике. Кинетика электрохимических реакций с участием органических веществ. Общие методы установления механизма сложной электрохимической реакции. Методы определения природы интермедиатов электродных процессов. Кинетика разложения амальгам и ее связь с перенапряжением водорода на ртути в кислых и щелочных растворах.

Электрокатализ. Сорбция и адсорбция водорода электродными материалами. Важнейшие типы электродных материалов.

Термодинамика и кинетика электрохимической нуклеации. Механизм реакций, протекающих с образованием новой фазы. Методы изучения начальных стадий электрокристаллизации. Перенапряжение при образовании двумерных и трехмерных зародышей. Теория поверхностной диффузии адатомов. Электроосаждение металлов.

Электрохимическая теория коррозии металлов. Сопряженные реакции в процессе растворения металлов. Стационарные потенциалы. Пассивация металлов и полупроводников. Механизмы роста оксидных пленок. Типы локальной коррозии. Методы защиты металлов от коррозии и методы коррозионного контроля.

Теоретические представления об элементарном акте переноса электрона в гомогенных и гетерогенных редокс-процессах. Типы гомогенных ионных реакций. Методы изучения ионных реакций в растворах электролитов. Сходство и различие гомогенных и электродных реакций переноса электрона. Соотношение Бренстеда. Трактовка элементарного акта на основе теории Гориучи-Поляни и теории реорганизации растворителя. Квантово-механическая теория Левича-Догонадзе-Кузнецова. Экспериментальные подходы к проверке этой теории. Обычный, безбарьерный и безактивационный разряд. Физический смысл коэффициента переноса в рамках современной квантово-механической теории элементарного акта электродных реакций. Квантово-химические подходы к расчету скоростей реакций переноса электрона.

Фундаментальные аспекты электрохимии проводящих полимеров. Явление электрохимической интеркаляции. Электрохимические свойства интеркалированных материалов. Фотоэлектрохимия. Лазерная электрохимия.

Периодические и хаотические явления в электрохимических системах.

Проблемы биоэлектрохимии. Редокс-процессы в биосистемах; электрохимия биомембран и их моделей.

Электрохимические производства

Химические источники тока. Топливные элементы. Свинцовые аккумуляторы. Серебряно-цинковые аккумуляторы. Кадмий-никелевые аккумуляторы и их аналоги. Металл-воздушные системы. Литиевые источники тока. Суперконденсаторы.

Гальванотехника. Типы гальванических покрытий. Рассеивающая способность электролитов. Электрохимическое оксидирование металлов и сплавов. Электрохимическая размерная обработка. Наводороживание и водородная хрупкость. Функциональная гальванотехника.

Гидроэлектросталлургия. Электрохимическое производство хлора, щелочей, окислителей. Электрохимический синтез органических веществ.

Электролиз расплавленных соединений. Производство алюминия. Производство щелочных и щелочно-земельных металлов. Электрорафинирование.

Электрохимические преобразователи информации и электрохимические электронные устройства. Электрохромные устройства.

Электрохимические технологии для микроэлектроники. Нанозлектрохимия и нанотехнология. Теория электрохимических реакторов. Экологические аспекты электрохимических технологий. Электрохимические методы очистки воды.

Вопросы для самоконтроля:

1. Как доказать, что наблюдаемый предельный ток имеет диффузионную природу?
2. Для какого типа электрода и для какого режима его работы справедливо уравнение конвективной диффузии?
3. Какие параметры и коэффициенты, вычисленные из вольтамперных характеристик, характеризуют электрокаталитическую активность электродов?
4. Напишите известные вам электрохимические процессы, которые протекают в диффузионном режиме.
5. По каким формулам можно рассчитать коэффициент переноса и ток обмена?
6. Как можно повысить скорость электрохимических процессов, протекающих в диффузионном режиме?
7. Какие механизмы катодного восстановления водорода вам известны?
8. В каком случае скачок потенциала в эквипотенциальной точке выражен более резко: а) слабая кислота титруется сильным основанием, б) сильная кислота титруется сильным основанием?
9. Какова зависимость измеряемого предельного тока от потенциала электрода и концентрации анализируемого вещества?
10. Как найти число электронов, участвующих в электродном процессе?
11. В чем заключается метод снятия кривых заряжения? Какие параметры электрода можно определить этим методом?

12. Почему различаются количества электричества, затраченные на катодную поляризацию и на окисление сорбированного водорода?
13. Что такое разрядная (зарядная) характеристика аккумулятора?
14. Что такое величина емкости электрода и от каких факторов она зависит?
15. Какие стадии анодного и катодного процессов могут быть лимитирующими?
16. Каковы причины, обуславливающие различие вольт- амперных характеристик ХИТ при различных температурах?

Вопросы, включенные в билеты для проведения экзамена:

1. Термодинамика растворов электролитов. Коэффициенты активности ионов и методы их определения. Равновесия в растворах электролитов.
2. Основные положения теории замедленного разряда. Ток обмена. Зависимость скорости реакции от температуры. Влияние структуры двойного электрического слоя и природы электрода на скорость стадии разряда.
3. Аккумуляторы с неводными растворами электролитов.
4. Теория кислот и оснований. Виды ион- ионного взаимодействия в растворах электролитов, ассоциация ионов. Применение теории Дебая-Хюккеля к растворам сильных и слабых электролитов.
5. Понятие о полном и свободном заряде электрода. Потенциалы нулевого свободного и нулевого полного заряда; методы их определения.
6. Свинцовые аккумуляторы.
7. Понятие электродного потенциала; стандартный электродный потенциал. Уравнение Нернста. Концепция электронного равновесия на границе электрод-раствор.
8. Основные положения теории замедленного разряда. Ток обмена. Зависимость скорости реакции от температуры.
9. Литий - полимерный аккумулятор.
10. Механизм образования и принципы экспериментальных методов изучения двойного электрического слоя. Электрокапиллярные явления на жидких и твердых электродах. Поверхностный избыток, адсорбционное уравнение Гиббса.
11. Механизм реакции выделения водорода и электровосстановления кислорода на различных электродах. Роль адсорбции поверхностно-активных веществ в электрохимической кинетике.
12. Топливные элементы.
13. Современное состояние теории растворов электролитов. Типы растворителей и их свойства. Корреляционные подходы к сравнению свойств растворителей.
14. Электрокатализ. Сорбция и адсорбция водорода электродными материалами. Важнейшие типы электродных материалов.
15. Суперконденсаторы.
16. Модельные теории двойного слоя. Вывод уравнений для заряда электрода в теориях Гуи- Чапмена, Штерна и Грэма. Эффект Есина - Маркова.
17. Фундаментальные аспекты электрохимии проводящих полимеров.

Явление электрохимической интеркаляции. Электрохимические свойства интеркалированных материалов.

18. Нанозлектрохимия и нанотехнология.

ПРОМЕЖУТОЧНАЯ АТТЕСТАЦИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Промежуточная аттестация проводится в форме экзамена.

Требования и критерии оценивания ответов экзамена

В процессе экзамена оценивается уровень научно-исследовательской компетентности аспиранта, что проявляется в квалифицированном представлении результатов обучения.

При определении оценки учитывается грамотность представленных ответов, стиль изложения и общее оформление, способность ответить на поставленный вопрос по существу.

Критерии выставления оценки на экзамене:

Оценка «ОТЛИЧНО» выставляется аспиранту, который показал при ответе на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, что владеет материалом изученной дисциплины, свободно применяет свои знания для объяснения различных явлений и решения задач.

Оценка «ХОРОШО» выставляется аспиранту, в основном правильно ответившему на вопросы экзаменационного билета и на дополнительные вопросы, но допустившему при этом непринципиальные ошибки.

Оценка «УДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который в ответах на вопросы экзаменационного билета допустил существенные и даже грубые ошибки, но затем исправил их сам

Оценка «НЕУДОВЛЕТВОРИТЕЛЬНО» выставляется аспиранту, который:

- а) не ответил на вопросы экзаменационного билета
- б) при ответе на дополнительные вопросы обнаружил незнание большого раздела экзаменационной программы.

Данные критерии указаны Инструктивном письмом И-23 от 14 мая 2012 г.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Основная литература:

1. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2001 (см. также литературу в этом учебнике).
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Электрохимия. М.: Высш. шк., 1987.
3. Делахей П. Двойной слой и кинетика электродных процессов / Под

ред. А.Н. Фрумкина. М.: Мир, 1967.

4. Корыта И., Дворжак И., Богачкова В. Электрохимия. М.: Мир, 1977.
5. Кришталик Л.И. Электродные процессы. Механизм элементарного акта. М.: Наука, 1979.
6. Прикладная электрохимия / Под ред. А.Л. Ротиняна. 3-е изд. Л.:Химия, 1974.
7. Прикладная электрохимия / Под ред. Н.Т. Кудрявцева. 2-е изд. М.:Химия, 1975.
8. Робинсон Р., Стоке Р. Растворы электролитов. М.: Изд-во иностр. лит., 1963.
- 9.Феттер К. Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1967.
10. Фрумкин А.Н. Потенциалы нулевого заряда. М.: Наука, 1982.
11. С. А. Гаврилов, А. Н. Белов. Электрохимические процессы в технологии микро- и нанoeлектроники. М.: Юрайт, 2014. - 254 с.
12. Смирнов С.Е., Пуцылов И.А. Теоретическая электрохимия. Лабораторный практикум. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.- 26 с.
13. Смирнов С.Е., Пуцылов И.А. Теоретическая основы химических источников тока. Лабораторный практикум. М.: Издательский дом МЭИ, 2017.- 32 с.

Дополнительная литература:

1. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981.
2. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А. Введение в электрохимическую кинетику. 2-е изд. М.: Высш. шк., 1983.
3. Гамбург Ю.Д. Электрохимическая кристаллизация металлов и сплавов. М.: Янус-К, 1997.
4. Мямлин В.А., Плесков Ю.В. Электрохимия полупроводников. М.: Наука, 1965.
5. Укше Е.А., Букун Н.Г. Твердые электролиты. М.: Наука, 1977.
6. Смирнов С.Е. Полимерные электролиты литиевых источников тока. Москва. Изд-во «Компания Спутник+».2007.64 с.
7. Смирнов С.Е., Пуцылов И.А., Смирнов С.С. Твердофазные литиевые источники тока. Москва. Изд-во «Компания Спутник+».2010. 77 с .
8. Кулешов Н.В., Григорьев С.А., Фатеев В.Н. Электрохимические энергоустановки для водородной энергетики, МЭИ, 2007.67с.
9. Коровин Н.В. Топливные элементы и электрохимические энергоустановки. Москва, МЭИ, 2005, 278 с.
10. Пуцылов И.А, Смирнов К.С., Егоров А.М., Смирнов С.Е. Перспективные электродные материалы литиевых источников тока. М.2015. Изд-во «Компания Спутник+».88 с.

Лицензионное и свободно распространяемое программное обеспечение:
(программное обеспечение, на которое кафедра или МЭИ имеет лицензию, а также свободно распространяемое программное обеспечение)

Интернет-ресурсы, включая профессиональные базы данных и информационные справочные системы:

Университетская информационная система «РОССИЯ»
<https://uisrussia.msu.ru>

Справочно-правовая система «Консультант+» <http://www.consultant-urist.ru>

Справочно-правовая система «Гарант» <http://www.garant.ru>

База данных Web of Science <https://apps.webofknowledge.com/>

База данных Scopus <https://www.scopus.com>

Портал открытых данных Российской Федерации <https://data.gov.ru>

База открытых данных Министерства труда и социальной защиты РФ
<https://rosmintrud.ru/opendata>

База данных Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU
<https://elibrary.ru/>

База данных профессиональных стандартов Министерства труда и социальной защиты РФ <http://profstandart.rosmintrud.ru/obshchiy-informatsionnyy-blok/natsionalnyy-reestr-professionalnykh-standartov/>

Базы данных Министерства экономического развития РФ
<http://www.economy.gov.ru>

База открытых данных Росфинмониторинга <http://www.fedsfm.ru/opendata>

Электронная база данных «Издательство Лань» <https://e.lanbook.com>

Федеральная государственная информационная система «Национальная электронная библиотека» <https://нэб.рф>

Национальный портал онлайн обучения «Открытое образование»
<https://openedu.ru>

Электронная база данных "Polpred.com Обзор СМИ"
<https://www.polpred.com>

Официальный сайт Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии <http://protect.gost.ru/>

Электронная библиотека МЭИ <https://ntb.mpei.ru/e-library/index.php>.

ПРОГРАММУ СОСТАВИЛ:

Профессор кафедры химии и электрохимической энергетики
д.т.н., профессор

С.Е. Смирнов

Заведующий кафедрой химии и электрохимической энергетики
д.т.н., профессор

Н.В. Кулешов

И.о. директора ИЭВТ
к.т.н., доцент

И.А. Щербатов