



«1» сентября 2015 г.
 Декан факультета фундаментальной
 физико-химической инженерии
 МГУ имени М.В.Ломоносова
 академик С.М. Алдошин

Рабочая программа дисциплины

1. **Наименование дисциплины** - «Электрохимические источники энергии»
2. **Уровень высшего образования** – аспирантура.
3. **Направление подготовки, направленность:** 04.06.01 «Химические науки»
4. **Место дисциплины в структуре ООП:** относится к вариативной части ОПОП, является обязательной к освоению дисциплиной на 1 году обучения (1-2 семестр), которую учащийся должен освоить для сдачи экзамена кандидатского минимума.
5. **Планируемые результаты обучения по дисциплине, соотнесенные с планируемыми результатами освоения образовательной программы (компетенциями выпускников)** в соответствии с Картами компетенций выпускников программ аспирантуры МГУ

Формируемые компетенции (код компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине, характеризующие этапы формирования компетенций
ПК-4: способность самостоятельно осуществлять научно-исследовательскую деятельность в области электрохимических процессов,	31 (ПК-4) Знать теоретические основы электрохимических процессов, протекающих в различных электрохимических источниках энергии,

протекающих в различных электрохимических источниках энергии.	включая строение двойного электрического слоя, термодинамику и кинетику этих процессов, коррозионные процессы, типы электрохимических источников тока, историю их развития, принципы работы, конструкционные особенности, материалы и электролиты, используемые в этих устройствах У1 (ПК-4) Уметь использовать теоретические знания для описания работы и причин деградации электрохимических источников энергии, изготовить мембранно-электродный блок ТОТЭ, измерять рабочие характеристики ТОТЭ.
	В1 (ПК-4) Владеть методами линейной и циклической вольтамперометрии, хроноамперометрии и хронопотенциометрии, методами исследования проводимости твердых и полимерных электролитов, методами исследования электрохимических источников энергии, методами термогравиметрического (ТГ) и дифференциального термического анализа (ДТА) электродных материалов ТОТЭ, методами исследования коэффициента теплового и химического расширения электродных материалов ТОТЭ, методами исследования коэффициента ионной диффузии, а также константы поверхностного обмена в электродных материалах ТОТЭ, методом

	времяпролетной вторично-ионной масс-спектрометрии образцов, прошедших изотопный обмен, методами изготовления мембранно-электродных блоков ТОТЭ.
--	---

6. Объем дисциплины в зачетных единицах с указанием количества академических или астрономических часов, выделенных на контактную работу обучающихся с преподавателем (по видам учебных занятий) и на самостоятельную работу обучающихся:

Объем дисциплины составляет 6 зачетных единицы, всего 216 часов, из которых 96 часов составляет контактная работа обучающегося с преподавателем (42 часа занятия семинарского типа, 48 часов занятия лекционного типа, 6 часов приходится на зачетные занятия), 120 часов составляет самостоятельная работа обучающегося.

7. Входные требования для освоения дисциплины предварительные условия (если есть): необходимо освоить программу специалитета или магистратуры по данному направлению подготовки.

8. Образовательные технологии (отметить если применяется электронное обучение и дистанционные технологии): отсутствуют.

9. Содержание дисциплины, структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических или астрономических часов и виды учебных занятий

Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины	Всего (часы)	В том числе				
		Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем) (часы)			Самостоятельная работа обучающегося (часы)	
		Занятия лекционного типа	Занятия семинарского типа	всего	домашние задания	всего

Фундаментальные представления о физикохимии электродных процессов. Электролиты. Электроды.	114	24	21	45	69	69
Электрохимические источники энергии	96	24	21	45	51	51
Промежуточная аттестация: экзамен	6	-	-	-	-	-
	216	48	42	96	120	120

10. Учебно-методические материалы для самостоятельной работы аспирантов.

Основная литература:

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.
2. Багоцкий В.С., Скундин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
3. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2006. 672 с.

Дополнительная литература:

4. Bockris J. O'M., Reddy A.K.N. Modern electrochemistry. Fundamentals of electrochemistry. Volume 1. Volume 2A. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2002. V.1. 770 p. V. 2A. 1534 p.
5. Advances in Electrochemical Science and Engineering // Eds. H. Gerischer, C. W. Tobias. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1992. Volumes 1-4.
6. Brett Ch., Brett A. Electrochemistry. Principles, methods, and applications. Oxford University Press. 1994. 444 p.
7. Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical methods. Fundamentals and applications. 2nd ed. Wiley. 2001. 850 p.
8. Bagotsky V.S. Fundamentals of electrochemistry. 2nd ed. Wiley. 2006. 719 p.
9. Alkire R.C., Kolb D.M. (Eds.) Advances in Electrochemical Science and Engineering. V.07. Wiley. 2001. 355 p.

10. Yu A., Chabot V., Zhang J. *Electrochemical Supercapacitors for Energy Storage and Delivery: Fundamentals and Applications*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. 373 p.
11. Bagotsky V.S., Skundin A.M., Volkovich Yu.M. *Electrochemical Power Sources: Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors*. N.-Y.: Wiley, 2015. - 400 p.
12. Balbuena P.B., Wang Y. (eds.) *Lithium-Ion Batteries: Solid-Electrolyte Interphase*. World Scientific Publishing Company, 2004. - 424 p.
13. Dahlin G.R., Strom K.E. *Lithium Batteries: Research, Technology and Applications*. Nova Science Pub Inc, 2010. 226 p.
14. Glaize Ch., Genies S. *Lithium Batteries and Other Electrochemical Storage Systems: Lithium, Sodium-sulfur, Nickel Chloride and Redox Flow*. London, UK: ISTE Ltd., Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013. XVIII, 354 p.
15. Nazri G.-A., Pistola G. *Lithium Batteries: Science and Technology*. Springer, 2009. 716 p.
16. Pistoia G. *Battery Operated Devices and Systems: From Portable Electronics to Industrial Products*. Elsevier, first edition 2009. 408 p.
17. Schlögl R. (Ed.) *Chemical Energy Storage*. De Gruyter, 2013. XX, 479 p.
18. Дасоян М.А., Агуф И.А. Основы расчёта, конструирования и технологии производства свинцовых аккумуляторов. Л.: Энергия, 1978. - 152 с.
19. Каменев Ю.Б., Чезлов И.Г. *Современные химические источники тока. Гальванические элементы, аккумуляторы, конденсаторы. Учебно-справочное пособие*. Санкт-Петербург, СПбГУКиТ, 2009. — 90 с.
20. Коровин Н.В., Скундин А.М. *Химические источники тока*. М.: МЭИ, 2003. — 740 с.
21. Кромптон Т. *Первичные источники тока*. Перевод с англ. М.: Мир, 1986. — 328 с.
22. Bagotsky V.S. *Fuel Cells: Problems and Solutions*. 2nd ed. Wiley, 2012. 394 p.
23. Barbir F. *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*. Elsevier, 2005. 433 p.
24. Barclay F.J. *Fuel Cells, Engines and Hydrogen: An Exergy Approach*. John Wiley & Sons Inc., 2006. 200 p.
25. Bocarsly A., Mingos D.M.P. (eds.) *Fuel Cells and Hydrogen Storage*. Springer, 2011. 216 p.
26. Corbo P., Migliardini F., Veneri O. *Hydrogen Fuel Cells for Road Vehicles*. Springer, 2011. 254 p.
27. Corti H. R., Gonzalez E. R. (Eds.) *Direct Alcohol Fuel Cells: Materials, Performance, Durability and Applications*. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2014, IX, 370 p.
28. Eikerling M., Kulikovskiy A. *Polymer Electrolyte Fuel Cells: Physical Principles of Materials and Operation*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. XL, 541 p.
29. Franco A.A. (Ed.) *Polymer Electrolyte Fuel Cells: Science, Applications, and Challenges*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. XVIII, 588 p.
30. Hoogers G. *Fuel cell technology handbook*. CRC Press, 2003. — 360 p.

31. Huang B., Yutong Qi. Dynamic Modelling and Predictive Control in Solid Oxide Fuel Cells: First Principle and Data-Based Approaches. John Wiley & Sons Ltd., 2013. XXI, 323 p.
32. Irvine J.T.S., Connor P. (Eds.) Solid Oxide Fuels Cells: Facts and Figures: Past Present and Future Perspectives for SOFC Technologies. Springer London Heidelberg New York Dordrecht, 2013. VIII, 230 p.
33. Javaid Zaidi S.M., Matsuura Takeshi (Ed.) Polymer Membranes for Fuel Cells. Springer, 2009. 431 p.
34. Ladewig B., Jiang S.P. Materials for Low-Temperature Fuel Cells. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2015. XXII, 251 p.
35. Jiang S.P. Materials for High-Temperature Fuel Cells. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA, 2013. 394 p.
36. Page K.A., Soles C.L., Runt J.P. Polymers for energy storage and delivery: polyelectrolytes for batteries and fuel cells. Oxford University Press, Inc., 2012. — 308 p.
37. Stolten D., Emonts B. Fuel Cell Science and Engineering. Volume 1: Materials, Processes, Systems and Technology. Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, 2012. XXVI, 1242 p.
38. Yuan X-Z., Song C., Wang H., Zhang J. Electrochemical Impedance Spectroscopy in PEM Fuel Cells: Fundamentals and Applications. Springer-Verlag London Limited, 2010. 420 p.
39. Zhang J. (Ed.) PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers: Fundamentals and Applications. Springer, 2008. 1147 p.
40. Zhang J., Wu J., Zhang H. PEM Fuel Cell Testing and Diagnosis. 1st Edition. — Elsevier B.V., 2013. XIV, 375 p.
41. Архангельский И.В. и др. Низкотемпературные топливные элементы с протонпроводящей полимерной мембраной: теоретические основы, материалы и конструкции. Методическое руководство. - Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. - 84 с.
42. Феттер, К., Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1987. 856 с.
43. Хойтинк Г. Ц. Электрохимия металлов в неводных растворах / Пер. с англ. под ред. ЯМ Колотыркина. 1974. 440 с.
44. Джирард Дж.Е. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 640 с.

Методические указания для самостоятельного освоения дисциплины (модуля).

В процессе самостоятельной работы должны формироваться самостоятельность мышления, способности к саморазвитию (самопознанию, самоопределению, самообразованию, самосовершенствованию, самореализации, саморегуляции), умения по поиску и использованию справочной и специальной литературы, а также других источников информации.

В рамках курса "Электрохимические источники энергии" предполагается самостоятельная работа аспиранта по поиску периодической и освоению отдельных разделов основной и дополнительной литературы к курсу с контролем и обсуждением усвоенного материала на семинарских занятиях.

Самостоятельное изучение разделов дисциплин.

№ раздела	№ вопроса	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	1	Электрохимические реакции на границе электрод/раствор. Электрохимический потенциал [1], с.24 -28, с. 33-50.	22
	2	Лимитирующие стадии процесса на электроде [1], с.263 -277, 296-303, [6] с.70-102	22
	3	Материаловедение электрохимических систем [1], с.209 -221, [2] с. 82-97	23
2	4	Аккумуляторы с воздушными электродами. Редокс-батареи [2], с.108 -154, [11] с. 11-27	23
	5	Методы исследования электрохимических источников энергии [7], с.156 -260, [39] с. 965-997	20

Выходные данные источников соответствующих номеров приведены в основной и дополнительной литературе к курсу.

Контактные часы с преподавателем

Общие аудиторные часы

Наименование раздела	Дата	Содержание раздела
Фундаменталь- ные представления о физикохимии электродных	03.10.2014	2 часа Введение в курс "Электрохимические источники энергии". Альтернативная энергетика. Электрохимические источники энергии. Общие представления.

процессов. Электролиты. Электроды	10.10.2014	4 часа
	17.10.2014	Представление о строении межфазной границе в электродной системе. Структура межфазной границы заряженный металл/раствор электролита. Поверхностные и межфазные слои. Электрическое строение межфазных слоев. Адсорбция в электрохимических системах. Избыточная поверхностная энергия. Смачивание. Структура двойного электрического слоя. Платиновый электрод. Заряд поверхности. Адсорбция водорода и других веществ. Составляющие гальвани-потенциала. Емкость межфазной границы. Зависимости емкости и заряда электрода от межфазной разности потенциалов.
	24.10.2014	4 часа
	31.10.2014	Термодинамика электродных процессов. Контактные межфазные потенциалы. Токи обмена. Напряжение разомкнутой цепи. Гальванические цепи. Два направления тока через гальваническую ячейку. Неравновесные электродные потенциалы. Уравнение для ЭДС гальванической цепи. Зависимость электродного потенциала от концентрации. Электродные потенциалы в неводных электролитах. Температурный коэффициент. Влияние pH. Диаграммы Пурбэ. Двух и трехэлектродные электрохимические ячейки. Типы электродов, используемых на практике. Типы используемых в водных и неводных электролитах электродов сравнения.
	07.11.2014	
	13.11.2014	6 часов

	21.11.2014	Общие понятия кинетики электродных процессов. Фазовые границы между электролитами. Диффузионный потенциал. Распределение ионов в цепи с мембраной. Гальванические цепи с переносом. Диффузионный и миграционный перенос. Конвективный перенос. Скорость электрохимической реакции. Общий и парциальные токи реакции. Активационная и концентрационная поляризации электрода. Общее кинетическое уравнение. Взаимосвязь параметров прямой и обратной реакции. Связь кинетических параметров в областях малых и больших поляризаций. Зависимость тока обмена от концентраций. Нестационарные процессы.
	28.11.2014	
	05.12.2014	8 часов
	12.12.2014	Материаловедение электрохимических систем.
	19.12.2014	Типы электролитов, используемых для исследований в области электрохимии источников энергии. Полиэлектролиты. Неводные растворы электролитов. Твердые электролиты. Электроды в источниках энергии. Виды электродов. Конструкционные особенности. Газовые электроды (водородный, кислородный). Теория пористого электрода.
Электрохимические источники энергии	26.12.2014	6 часов
	23.01.2015	Первичные источники энергии.
	13.02.2015	Не возобновляемые и возобновляемые виды источников энергии. Энергетические ресурсы. Виды теплоносителей. Основные типы переработки топлив. Первичные источники тока. Типы, общие принципы работы, практическое применение,

		история развития. Ионисторы. Емкость двойного слоя. Электрохимические реакции на поверхности.
06.03.2015	8 часов	
20.03.2015		Вторичные источники тока. Литиевые аккумуляторы
03.04.2015		Типы вторичных источников энергии. Способы переработки.
17.04.2015		Преимущества. Типы устройств и их применение.
		Особенности литиевых аккумуляторов. Устройство литиевых аккумуляторов. Электроды. Электролиты. Процессы, лежащие в основе работы. Характеристики.
01.05.2015	10 часов	
15.05.2015		Топливные элементы. Классификация. Принципы работы.
29.05.2015		Понятие о трехфазной границе. Общие принципы работы.
12.06.2015		Практическое применение, история развития.
19.06.2015		Твердополимерные топливные элементы (ТПТЭ)
		Принципы и условия работы. Виды топлив. Реакции.
		Катализаторы. Устройство. Причины деградации.
		Деградация электродов в электрохимических источниках энергии.
		Электрохимическая теория коррозии. причины деградации электродов. Способы оценки деградации электродов в электрохимических источниках энергии.
		Технологии ТОТЭ.
		Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ): принцип работы, основные элементы, способы реализации. Основные узлы и элементы энергоустановки на основе ТОТЭ. Уровень

		развития в России и мире. Типы батарей ТОТЭ. Требования к батареям ТОТЭ. Технологические проблемы, решаемые при изготовлении батарей ТОТЭ: защита токовых коллекторов, герметизация при высоких температурах, обеспечение токового контакта. Материаловедение ТОТЭ. Электролит. Требования к электролитической мембране ТОТЭ. Материалы на основе оксидов циркония, церия и LaGaO: способы получения, характеристики, преимущества и недостатки. Методы изготовления электролитических мембран. Электроды. Требования к электродам ТОТЭ. Основные материалы. Композиционные электроды. Концепция многослойных электродов. Связь микроструктуры и свойств электродов ТОТЭ.
--	--	--

Семинары (практические занятия)

Наименование раздела	Дата	Тема	Кол-во часов
Фундаментальные представления о физикохимии электродных процессов. Электролиты. Электроды	10.10.2014 17.10.2014	Гальваническая цепь. Электроды и электродные реакции. Типы гальванических цепей. Расчет ЭДС для разных типов гальванических элементов. Закон Фарадея. Перенос вещества в электролите. Система знаков для тока. Потоки вещества. Характеристика основных видов проводников. Электродный потенциал при прохождении тока. Стационарный и равновесный потенциал - в чем специфика?	3

17.10.2014 24.10.2014	Лимитирующие стадии процесса на электроде. Стационарный режим процесса. Области потенциалов предельного диффузионного тока и кинетики замедленного разряда. Конвективный перенос в проточном электроде. Обтекаемый электрод. ВДЭ и ВДЭК. Естественная конвекция.	3
31.10.2014 07.11.2014	Линейная и циклическая вольтамперометрия. Хроноамперометрия и хронопотенциометрия. Импульсные режимы. Переменноточковые измерения.	3
07.11.2014 13.11.2014	Реакции с комбинацией (одной или нескольких) электрохимических и химических стадий. Протонирование и депротонирование, участие продукта электродной реакции в быстрой химической стадии, комплексообразование.	3
21.11.2014 28.11.2014	Материаловедение электрохимических систем. Неводные растворители. Проводимость в апротонных растворах. Особенности проводимости в полярных электролитах.	3
28.11.2014 05.12.2014	Твердые электролиты. Методы исследования проводимости твердых и полимерных электролитов. Импеданс.	3
12.12.2014 19.12.2014	Электроды, обратимые по ионам водорода, лития, натрия, серебра и меди. Особенности интеркаляции и экстракции ионов. Особенности взаимодействия графита с	3

		катионами щелочных металлов. Применение суперконденсаторов. Автотранспорт. Железнодорожный транспорт. Электромобили. Возобновляемые источники питания (ветряные генераторы и солнечные батареи). Пейджеры и сотовые телефоны (питание большим током в момент вызова абонента и перегрузки основного питающего элемента). Электропривод. Различное оборудование в областях медицины, бытовой электроники, телекоммуникаций, промышленности, производства.	
Электрохимические источники энергии	19.12.2014	Проблемы первичных источников тока	3
	26.12.2014	Новые разработки в области первичных источников энергии и суперконденсаторов. Тестирование суперконденсатора.	
	23.01.2015	Аккумуляторы с воздушными электродами.	3
	13.02.2015	Редокс-батареи. Типы аккумуляторов. Устройство. Катализаторы. Принципы работы. Особенности работы редокс-батарей. Типичные редокс-рекции. Характеристики.	
	06.03.2015	Материаловедение ТПТЭ и методы	3
	20.03.2015	исследования электрохимических источников энергии. Топливные элементы на основе органических топлив. Недостатки и преимущества. Изготовление мембранно-электродного блока ТЭ Тестирование МЭБ.	
	03.04.2015	Аттестация материалов ТОТЭ.	3
	17.04.2015	Термогравиметрический (ТГ) и	

		дифференциальный термический анализ (ДТА) электродных материалов ТОТЭ в широком температурном диапазоне в различных газовых атмосферах с помощью термогравиметрического анализатора (на примере SetaramSetsys EVO 16/18).	
01.05.2015 15.05.2015	Аттестация материалов ТОТЭ. 2. Исследование коэффициента теплового и химического расширения электродных материалов ТОТЭ в широком температурном диапазоне в различных газовых атмосферах с возможностью анализа выходящего потока с помощью вертикального высокотемпературного дилатометра (на примере Linseis L75 Vertical).	3	
15.05.2015 29.05.2015	Аттестация материалов ТОТЭ. 3. Исследование коэффициента ионной диффузии, а также константы поверхностного обмена в электродных материалах ТОТЭ методом времяпролетной вторично-ионной масс-спектрометрии образцов, прошедших изотопный обмен при рабочих температурах ТОТЭ, с помощью масс-спектрометра (на примере TOF-SIMS 5).	3	
12.06.2015 19.06.2015	Изготовление МЭБ ТОТЭ и исследование его электрохимических характеристик. Изготовление мембранно-электродных блоков ТОТЭ: приготовление исходных порошков, изготовление и контроль электродных паст на	3	

		их основе, послойное нанесение методом трафаретной печати, высокотемпературные отжиг электродных слоев. Исследование вольтамперных характеристик и импедансных спектров МЭБ ТОТЭ в зависимости от состава окислительной и топливной атмосфер и рабочей температуры. Анализ экспериментальных данных.	
--	--	--	--

Самостоятельная работа

№ раздела	Сроки выполнения	Вопросы, выносимые на самостоятельное изучение	Кол-во часов
1	13.11.15	Электрохимические реакции на границе электрод/раствор. Электрохимический потенциал [1], с.24 -28, с. 33-50.	22
	04.12.15	Лимитирующие стадии процесса на электроде [1], с.263 -277, 296-303, [6] с.70-102	23
	11.12.15	Материаловедение электрохимических систем [1], с.209 -221, [2] с. 82-97	22
2	22.01.16	Аккумуляторы с воздушными электродами. Редокс-батареи [2], с.108 -154. [11] с. 11-27	23
	18.03.16	Методы исследования электрохимических источников энергии [7], с.156 -260, [39] с. 965-997	20
		Итого	120

Дата	Тема для изучения	Формы проведения занятий	Кол-во часов
27.02.15	Зачетное занятие за 1й семестр	зачет	3
26.06.15	Зачетное занятие на 2й семестр	экзамен	3
	Итого		6

11. Ресурсное обеспечение:

Основная литература:

1. Багоцкий В.С. Основы электрохимии. М.: Химия, 1988. 400 с.
2. Багоцкий В.С., Скудин А.М. Химические источники тока. М.: Энергоиздат, 1981. 360 с.
3. Дамаскин Б.Б., Петрий О.А., Цирлина Г.А. Электрохимия. М.: Химия, 2006. 672 с.

Дополнительная литература:

4. Bockris J. O'M., Reddy A.K.N. Modern electrochemistry. Fundamentals of electrodes. Volume 1. Volume 2A. Kluwer Academic Publishers, New York, Boston, Dordrecht, London, Moscow, 2002. V.1. 770 p. V. 2A. 1534 p.
5. Advances in Electrochemical Science and Engineering // Eds. H. Gerischer, C. W. Tobias. VCH Verlagsgesellschaft mbH, D-6940 Weinheim (Federal Republic of Germany), 1992. Volumes 1-4.
6. Brett Ch., Brett A. Electrochemistry. Principles, methods, and applications. Oxford University Press. 1994. 444 p.
7. Bard A.J., Faulkner L.R. Electrochemical methods. Fundamentals and applications. 2nd ed. Wiley. 2001. 850 p.
8. Bagotsky V.S. Fundamentals of electrochemistry. 2nd ed. Wiley. 2006. 719 p.
9. Alkire R.C., Kolb D.M. (Eds.) Advances in Electrochemical Science and Engineering. V.07. Wiley. 2001. 355 p.
10. Yu A., Chabot V., Zhang J. Electrochemical Supercapacitors for Energy Storage and Delivery: Fundamentals and Applications. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. 373 p.

11. Bagotsky V.S., Skundin A.M., Volfkovich Yu.M. *Electrochemical Power Sources: Batteries, Fuel Cells, and Supercapacitors*. N.-Y.: Wiley, 2015. - 400 p.
12. Balbuena P.B., Wang Y. (eds.) *Lithium-Ion Batteries: Solid-Electrolyte Interphase*. World Scientific Publishing Company, 2004. - 424 p.
13. Dahlin G.R., Strom K.E. *Lithium Batteries: Research, Technology and Applications*. Nova Science Pub Inc, 2010. 226 p.
14. Glaize Ch., Genies S. *Lithium Batteries and Other Electrochemical Storage Systems: Lithium, Sodium-sulfur, Nickel Chloride and Redox Flow*. London, UK: ISTE Ltd., Hoboken, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2013. XVIII, 354 p.
15. Nazri G.-A., Pistola G. *Lithium Batteries: Science and Technology*. Springer, 2009. 716 p.
16. Pistoia G. *Battery Operated Devices and Systems: From Portable Electronics to Industrial Products*. Elsevier, first edition 2009, 408 p.
17. Schlogl R. (Ed.) *Chemical Energy Storage*. De Gruyter, 2013. XX, 479 p.
18. Дасоян М.А., Агуф И.А. *Основы расчёта, конструирования и технологии производства свинцовых аккумуляторов*. Л.: Энергия, 1978. - 152 с.
19. Каменев Ю.Б., Чезлов И.Г. *Современные химические источники тока. Гальванические элементы, аккумуляторы, конденсаторы. Учебно-справочное пособие*. Санкт-Петербург, СПбГУКиТ, 2009. — 90 с.
20. Коровин Н.В., Скундин А.М. *Химические источники тока*. М.: МЭИ, 2003. — 740 с.
21. Кромптон Т. *Первичные источники тока*. Перевод с англ. М.: Мир, 1986. — 328 с.
22. Bagotsky V.S. *Fuel Cells: Problems and Solutions*. 2nd ed. Wiley, 2012. 394 p.
23. Barbir F. *PEM Fuel Cells: Theory and Practice*. Elsevier, 2005. 433 p.
24. Barclay F.J. *Fuel Cells, Engines and Hydrogen: An Exergy Approach*. John Wiley & Sons Inc., 2006. 200 p.
25. Bocarsly A., Mingos D.M.P. (eds.) *Fuel Cells and Hydrogen Storage*. Springer, 2011. 216 p.
26. Corbo P., Migliardini F., Veneri O. *Hydrogen Fuel Cells for Road Vehicles*. Springer, 2011. 254 p.
27. Corti H. R., Gonzalez E. R. (Eds.) *Direct Alcohol Fuel Cells: Materials, Performance, Durability and Applications*. Springer Dordrecht Heidelberg New York London, 2014, IX, 370 p.
28. Eikerling M., Kulikovskiy A. *Polymer Electrolyte Fuel Cells: Physical Principles of Materials and Operation*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2015. XL, 541 p.
29. Franco A.A. (Ed.) *Polymer Electrolyte Fuel Cells: Science, Applications, and Challenges*. CRC Press, Taylor & Francis Group, 2013. XVIII, 588 p.
30. Hoogers G. *Fuel cell technology handbook*. CRC Press, 2003. — 360 p.
31. Huang B., Yutong Qi. *Dynamic Modelling and Predictive Control in Solid Oxide Fuel Cells: First Principle and Data-Based Approaches*. John Wiley & Sons Ltd., 2013. XXI, 323 p.

32. Irvine J.T.S., Connor P. (Eds.) Solid Oxide Fuels Cells: Facts and Figures: Past Present and Future Perspectives for SOFC Technologies. Springer London Heidelberg New York Dordrecht, 2013. VIII, 230 p.
33. Javaid Zaidi S.M., Matsuura Takeshi (Ed.) Polymer Membranes for Fuel Cells. Springer, 2009. 431 p.
34. Ladewig B., Jiang S.P. Materials for Low-Temperature Fuel Cells. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA, 2015. XXII, 251 p.
35. Jiang S.P. Materials for High-Temperature Fuel Cells. Wiley-VCH Verlag GmbH & Co., KGaA, 2013. 394 p.
36. Page K.A., Soles C.L., Runt J.P. Polymers for energy storage and delivery: polyelectrolytes for batteries and fuel cells. Oxford University Press, Inc., 2012. — 308 p.
37. Stolten D., Emonts B. Fuel Cell Science and Engineering. Volume 1: Materials, Processes, Systems and Technology. Wiley-VCH Verlag & Co. KGaA, 2012. XXVI, 1242 p.
38. Yuan X-Z., Song C., Wang H., Zhang J. Electrochemical Impedance Spectroscopy in PEM Fuel Cells: Fundamentals and Applications. Springer-Verlag London Limited, 2010. 420 p.
39. Zhang J. (Ed.) PEM Fuel Cell Electrocatalysts and Catalyst Layers: Fundamentals and Applications. Springer, 2008. 1147 p.
40. Zhang J., Wu J., Zhang H. PEM Fuel Cell Testing and Diagnosis. 1st Edition. — Elsevier B.V., 2013. XIV, 375 p.
41. Архангельский И.В. и др. Низкотемпературные топливные элементы с протонпроводящей полимерной мембраной: теоретические основы, материалы и конструкции. Методическое руководство. - Москва, МГУ им. М.В. Ломоносова, 2007. - 84 с.
42. Феттер, К., Электрохимическая кинетика. М.: Химия, 1987. 856 с.
43. Хойтинк Г. Ц. Электрохимия металлов в неводных растворах / Пер. с англ. под ред. ЯМ Колотыркина. 1974. 440 с.
44. Джирард Дж.Е. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2008. 640 с.

12. **Язык преподавания** - русский

13. **Преподаватель** - Золотухина Екатерина Викторовна

Оценочные средства для промежуточной аттестации по дисциплине «Электрохимические источники энергии» на основе Карт компетенций выпускников программ аспирантуры МГУ

Рейтинговая оценка успеваемости аспирантов складывается из трех пунктов:

1. Оценка преподавателем работы аспиранта при выполнении творческих домашних заданий: поиск периодической литературы (глубина, уровень найденной литературы, количество), подготовка презентации, уровень освоения материала (степень проработки), уровень подачи материала, оформление доклада, доклад и участие в последующем обсуждении. Всего – **10 тем**, соответствующих темам семинарских занятий. В течение семестра аспирант должен подготовить 4 самостоятельных тематических доклада и может подготовить 6 дополнений для участия в дискуссии. Темы оцениваются следующим образом:

- 1) Электрохимические реакции на границе электрод/раствор – **10 баллов** при подготовке доклада, **5 баллов** при подготовке дополнений и участия в дискуссии;
- 2) Лимитирующие стадии процесса на электроде. 1 часть – **10 баллов** при подготовке доклада, **5 баллов** при подготовке дополнений и участия в дискуссии;
- 3) Лимитирующие стадии процесса на электроде. 2 часть **10 баллов** при подготовке доклада, **5 баллов** при подготовке дополнений и участия в дискуссии;
- 4) Материаловедение электрохимических систем. 1 часть (неводные электролиты) **10 баллов** при подготовке доклада, **5 баллов** при подготовке дополнений и участия в дискуссии;
- 5) Материаловедение электрохимических систем. 2 часть (твердые электролиты) **10 баллов** при подготовке доклада, **5 баллов** при подготовке дополнений и участия в дискуссии;
- 6) Материаловедение электрохимических систем. 3 часть (электроды) **10 баллов** при подготовке доклада, **5 баллов** при подготовке дополнений и участия в дискуссии;
- 7) Применение суперконденсаторов - **10 баллов** при подготовке доклада, **5 баллов** при подготовке дополнений и участия в дискуссии;
- 8) Аккумуляторы с воздушными электродами - **5 баллов**;
- 9) Редокс-батареи - **5 баллов**;
- 10) Топливные элементы на основе органических топлив - **5 баллов**.

2. *Оценка преподавателем теоретической подготовки аспиранта:* работа на семинарах, самостоятельная подготовка, коллоквиумы. Всего **3 коллоквиума**, оцениваются каждый максимально в **20 баллов**. Коллоквиум считается принятым, если аспирант усвоил **не менее 50%** теоретического материала (**10 баллов**). Аспирант, не сдавший коллоквиум по текущей теме, не допускается к сдаче следующего и к сдаче зачета/экзамена.

3. *Зачет*, максимально **50 баллов**.

4. *Экзамен*, максимально **50 баллов**.

Максимально за семестр аспирант может набрать:

домашние задания – **55 баллов**; теория – **60 баллов**; зачет - **50 баллов**, всего – **165 баллов**.

К *зачёту* допускаются аспиранты, выполнившие хотя бы одно тематическое домашнее задание и сдавшие все коллоквиумы.

Получение оценки по итогам работы без экзамена.

При наличии зачёта:

оценку *отлично* получает аспирант, набравший к **24.02** не менее **150 баллов** (из них не менее **54 баллов** за коллоквиумы),

оценку *хорошо* может получить аспирант, набравший к **24.02** не менее **125 баллов** (из них не менее **48 баллов** за коллоквиумы).

Вывод общей оценки за семестр с экзаменом:

120 баллов и выше, при этом не менее **40 баллов** за экзамен – *отлично*;

109 – 119 баллов, при этом не менее **40 баллов** за экзамен – *хорошо*;

95 – 108 баллов, при этом не менее **30 баллов** за экзамен – *удовлетворительно*,

Ниже **95 баллов**, либо менее **30 баллов** за экзамен – *неудовлетворительно*.

РЕЗУЛЬТАТ ОБУЧЕНИЯ по дисциплине (модулю)	КРИТЕРИИ и ПОКАЗАТЕЛИ ОЦЕНИВАНИЯ РЕЗУЛЬТАТА ОБУЧЕНИЯ по дисциплине из соответствующих Карт компетенций					ОЦЕНОЧН ЫЕ СРЕДСТВ А
	1	2	3	4	5	

	<i>Неудовлетворитель но</i>	<i>Неудовлетворитель но</i>	<i>Удовлетворительн о</i>	<i>Хорошо</i>	<i>Отлично</i>	
ВЛАДЕТЬ: методами линейной и циклической вольтамперометри и, хроноамперометри и хронопотенциомет рии, методами исследования проводимости твердых и полимерных электролитов, мет одами исследования электрохимически х источников энергии, методами термогравиметрич еского (ТГ) и дифференциальног о термического анализа (ДТА) электродных материалов ТОТЭ, и других навыков проведения теплофизических исследований, методами изготовления мембранно- электродных блоков ТОТЭ. коэффициента	Отсутствие навыков владения, методами исследования проводимости твердых и полимерных электролитов, мет одами исследования электрохимически х источников энергии, методами термогравиметрич еского (ТГ) и дифференциальног о термического анализа (ДТА) электродных материалов ТОТЭ, и других навыков проведения теплофизических исследований, методами изготовления мембранно- электродных блоков ТОТЭ.	Фрагментарные навыки владения методами исследования проводимости твердых и полимерных электролитов, мет одами исследования электрохимически х источников энергии, методами термогравиметрич еского (ТГ) и дифференциальног о термического анализа (ДТА) электродных материалов ТОТЭ, и других навыков проведения теплофизических исследований, методами изготовления мембранно- электродных блоков ТОТЭ.	В целом удовлетворительн ые, но не систематизирован ные навыки владения методами исследования проводимости твердых и полимерных электролитов, мет одами исследования электрохимически х источников энергии, методами термогравиметрич еского (ТГ) и дифференциальног о термического анализа (ДТА) электродных материалов ТОТЭ, и других навыков проведения теплофизических исследований, методами изготовления мембранно-	В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы применение навыков владения методами исследования проводимости твердых и полимерных электролитов, мет одами исследования электрохимически х источников энергии, методами термогравиметрич еского (ТГ) и дифференциальног о термического анализа (ДТА) электродных материалов ТОТЭ, и других навыков проведения теплофизических исследований, методами изготовления мембранно-	Успешное и систематическое применение навыков владения методами исследования проводимости твердых и полимерных электролитов, мет одами исследования электрохимически х источников энергии, методами термогравиметрич еского (ТГ) и дифференциальног о термического анализа (ДТА) электродных материалов ТОТЭ, и других навыков проведения теплофизических исследований, методами изготовления мембранно- электродных блоков ТОТЭ.	Практическ ое контрольно е задание

и теплового химического расширения электродных материалов ТОТЭ, методами исследования коэффициента ионной диффузии, а также константы поверхностного обмена в электродных материалах ТОТЭ, методом времяпролетной вторично-ионной масс- спектрометрии образцов, прошедших изотопный обмен, методами изготовления мембранно- электродных блоков ТОТЭ. Шифр: В1 (ПК-4)			электродных блоков ТОТЭ.	электродных блоков ТОТЭ.		
УМЕТЬ:	Отсутствие умений	Фрагментарные умения	В целом удовлетворительн	В целом удовлетворительн	Сформированные умения	Письменны е вопросы

использовать теоретические знания для описания работы и причин деградации электрохимических источников энергии, изготовить мембранно-электродный блок ТОТЭ, измерять рабочие характеристики ТОТЭ. Шифр: У1 (ПК-4)	использовать теоретические знания для описания работы и причин деградации электрохимических источников энергии, изготовить мембранно-электродный блок ТОТЭ, измерять рабочие характеристики ТОТЭ.	использовать теоретические знания для описания работы и причин деградации электрохимических источников энергии, изготовить мембранно-электродный блок ТОТЭ, измерять рабочие характеристики ТОТЭ.	ые, но не систематизированные умения использовать теоретические знания для описания работы и причин деградации электрохимических источников энергии, изготовить мембранно-электродный блок ТОТЭ, измерять рабочие характеристики ТОТЭ.	ые, но содержащие отдельные пробелы умения использовать теоретические знания для описания работы и причин деградации электрохимических источников энергии, изготовить мембранно-электродный блок ТОТЭ, измерять рабочие характеристики ТОТЭ.	использовать теоретические знания для описания работы и причин деградации электрохимических источников энергии, изготовить мембранно-электродный блок ТОТЭ, измерять рабочие характеристики ТОТЭ.	
ЗНАТЬ: теоретические основы электрохимических процессов, протекающих в различных электрохимических источниках энергии, включая строение двойного электрического слоя,	Отсутствие знаний о теоретических основах электрохимических процессов, протекающих в различных электрохимических источниках энергии, включающих строение двойного электрического слоя,	Фрагментарные представления о теоретических основах электрохимических процессов, протекающих в различных электрохимических источниках энергии, включающих строение двойного электрического	Неполные представления о теоретических основах электрохимических процессов, протекающих в различных электрохимических источниках энергии, включающих строение двойного электрического	Сформированные, но содержащие отдельные пробелы представления о теоретических основах электрохимических процессов, протекающих в различных электрохимических источниках энергии,	Сформированные систематические представления о теоретических основах электрохимических процессов, протекающих в различных электрохимических источниках энергии, включающих строение двойного	Письменные вопросы

термодинамику и кинетику этих процессов, коррозионные процессы, типы электрохимических источников тока, историю их развития, принципы работы, конструкционные особенности, материалы и электролиты, используемые в этих устройствах Шифр: 31 (ПК-4)	термодинамику и кинетику этих процессов, коррозионных процессах, типах электрохимических источников тока, истории их развития, принципах работы, конструкционных особенностях, материалах и электролитах, используемых в этих устройствах	слоя, термодинамику и кинетику этих процессов, коррозионных процессах, типах электрохимических источников тока, истории их развития, принципах работы, конструкционных особенностях, материалах и электролитах, используемых в этих устройствах	слоя, термодинамику и кинетику этих процессов, коррозионных процессах, типах электрохимических источников тока, истории их развития, принципах работы, конструкционных особенностях, материалах и электролитах, используемых в этих устройствах	включающих строение двойного электрического слоя, термодинамику и кинетику этих процессов, коррозионных процессах, типах электрохимических источников тока, истории их развития, принципах работы, конструкционных особенностях, материалах и электролитах, используемых в этих устройствах	электрического слоя, термодинамику и кинетику этих процессов, коррозионных процессах, типах электрохимических источников тока, истории их развития, принципах работы, конструкционных особенностях, материалах и электролитах, используемых в этих устройствах	
---	--	--	--	--	---	--

Фонды оценочных средств

Вопросы и задания текущего, промежуточного и итогового контроля

- Вопросы теоретического минимума (вопросы коллоквиумов).

1. Дайте определение понятию электрохимические источники энергии. К какому типу электрохимических источников энергии относятся топливные элементы? Приведите примеры электрохимических источников тока. Опишите историю развития.

Дайте определение понятиям Гальвани- и Вольта-потенциалов. Что такое идеально поляризуемые электроды. Нарисуйте поляризационную кривую. Дайте определение понятию потенциал нулевого заряда. Что такое емкость межфазной границы. Приведите зависимости емкости и заряда электрода от межфазной разности потенциалов. Что такое электрохимический потенциал? Запишите условия равновесия в неэквипотенциальных областях растворов электролитов.

Какие типы электрохимических процессов протекают на границе электрод/раствор? Запишите уравнение Нернста для водородного, кислородного и цинкового электрода. Чем отличаются двух- и трехэлектродные ячейки? Что такое противэлектрод и электрод сравнения? Перечислите известные Вам электроды сравнения и запишите для них уравнение Нернста. Запишите, как связана энергия Гиббса с ЭДС. Почему невозможно измерить гальвани-потенциал электрода? Из каких составляющих он состоит? Что такое стандартный электродный потенциал? Опишите границу контакта двух электролитов. Какие типы разделительных контактов между двумя растворами Вы знаете? В чем их предназначение?

Напишите схему стадий электрохимической реакции. Что такое анодный и катодный ток. В чем отличие тока от плотности тока. Дайте понятие току обмена. В чем отличие стационарного и равновесного потенциала? Запишите уравнение Батлера-Фольмера. Что такое стандартная константа скорости процесса, коэффициенты переноса заряда? Покажите зависимость плотности тока от перенапряжения и поверхностных концентраций при разных перенапряжениях. Для каких случаев справедливо уравнение Тафеля? Нарисуйте поляризационную кривую. Покажите тафелевский участок. В чем смысл предлогарифмического коэффициента в уравнении Тафеля?

2. Дайте классификацию электролитов и электродов, используемых в электрохимических источниках тока. В чем особенность газовых электродов? Дайте определение трехфазной границе. Какие параметры электрохимической реакции меняются при переходе от гладких к пористым электродам? Нарисуйте их поляризационные характеристики. Как меняется распределение относительной поляризации по толщине электрода в зависимости от величины нагрузки? Какие неводные электролиты используются в электрохимических источниках? За счет чего обеспечивается их проводимость? Приведите методы исследования проводимости и типы твердых электролитов. Что такое интеркаляция и деинтеркаляция? В чем состоит особенность взаимодействия графита с ионами щелочных металлов?

Какие виды источников энергии Вы знаете? В чем их отличие? Перечислите основные типы переработки топлив. Какие типы первичных источников энергии Вы знаете? Опишите их общие принципы работы. Опишите пример ионистора. Какие электрохимические реакции происходят на его поверхности. Нарисуйте типичную емкостную кривую. От чего зависит емкость суперконденсатора? Напишите

уравнение, связывающее эффективную энергию с емкостью. Какие области применения суперконденсаторов Вы знаете? В чем состоит ограничение применения суперконденсаторов?

3. Перечислите типы вторичных источников энергии и их преимущества. Какие типы устройств используются? Опишите основные особенности литиевых аккумуляторов и их устройство. Какие электроды и электролиты используются? Запишите процессы, лежащие в основе работы и основные характеристики.

В чем отличие аккумуляторов с воздушными электродами? Каково их устройство и принципы работы? Какие катализаторы используются? Что такое редокс-батареи? Опишите особенности работы редокс-батарей и типичные редокс-реакции, которые в них протекают, а также их характеристики.

Какие типы топливных элементов Вы знаете? Что такое трехфазная граница? Опишите основные принципы работы топливного элемента и области практического применения. Какие виды топлив используют в топливном элементе с полимерным электролитом? Катализаторы? В чем причины деградации характеристик такого топливного элемента. Какие преимущества и недостатки имеют топливные элементы на органическом топливе? Из чего состоит МЭБ? какие характеристики топливного элемента отражают эффективность его работы. Нарисуйте типичную кривую. Как выбирается нагрузка топливного элемента?

Что такое активационная поляризация? Какие электрохимические характеристики коррозии Вы знаете? Какие способы оценки деградации электродов используют при изучении работы электрохимических источников тока?

Опишите основные принципы работы твердооксидных топливных элементов. Какие типы батарей ТОТЭ Вам известны? Какие технологические проблемы возникают при работе ТОТЭ? Перечислите материалы, используемые для электролитических мембран и электродов ТОТЭ. Опишите связь микроструктуры и свойств таких электродов. Какие способы аттестации материалов ТОТЭ Вам известны?

- Полный перечень вопросов к зачету.

1. Структура межфазной границы заряженный металл/раствор электролита. Поверхностные и межфазные слои. электрическое строение межфазных слоев. Адсорбция в электрохимических системах. Избыточная поверхностная энергия. Смачивание.

2. Структура двойного электрического слоя. Платиновый электрод. Заряд поверхности. Адсорбция водорода и других веществ. Составляющие гальвани-потенциала.

3. Емкость межфазной границы. Зависимости емкости и заряда электрода от межфазной разности потенциалов.

4. Гальваническая цепь. Два направления тока через гальваническую ячейку. Электроды и электродные реакции. Типы гальванических цепей. Расчет ЭДС для разных типов гальванических элементов. Закон Фарадея.

5. Перенос вещества в электролите. Система знаков для тока. Потоки вещества. Характеристика основных видов проводников. Электродный потенциал при прохождении тока. Стационарный и равновесный потенциал
6. Стационарный режим процесса. Области потенциалов предельного диффузионного тока и кинетики замедленного разряда.
7. Конвективный перенос в проточном электроде. Обтекаемый электрод. ВДЭ и ВДЭК. Естественная конвекция.
8. Контактные межфазные потенциалы. Токи обмена. Напряжение разомкнутой цепи. Неравновесные электродные потенциалы. Уравнение для ЭДС гальванической цепи. Зависимость электродного потенциала от концентрации.
9. Электродные потенциалы в неводных электролитах. Температурный коэффициент. Влияние pH.
10. Двух и трехэлектродные электрохимические ячейки. Типы электродов, используемых на практике. Типы используемых в водных и неводных электролитах электродов сравнения.
11. Фазовые границы между электролитами. Диффузионный потенциал. Распределение ионов в цепи с мембраной.
12. Гальванические цепи с переносом. Диффузионный и миграционный перенос. Конвективный перенос.
13. Скорость электрохимической реакции. Общий и парциальные токи реакции. Активационная и концентрационная поляризации электрода. Общее кинетическое уравнение.
14. Взаимосвязь параметров прямой и обратной реакции. Связь кинетических параметров в областях малых и больших поляризаций. Зависимость тока обмена от концентраций. Нестационарные процессы.
15. Типы электролитов, используемых для исследований в области электрохимии источников энергии. Полиэлектролиты. Неводные растворы электролитов. Твердые электролиты.
16. Электроды в источниках энергии. Виды электродов. Конструкционные особенности. Газовые электроды (водородный, кислородный).
17. Линейная и циклическая вольтамперометрии. Хроноамперометрия и хронопотенциометрия. Импульсные режимы.
18. Электроды, обратимые по ионам водорода, лития, натрия, серебра и меди. Особенности интеркаляции и экстракции ионов. Особенности взаимодействия графита с катионами щелочных металлов.

- Полный перечень вопросов к экзамену.

Вариант 1

1. Структура межфазной границы заряженный металл/раствор электролита. Поверхностные и межфазные слои. электрическое строение межфазных слоев. Адсорбция в электрохимических системах. Избыточная поверхностная энергия. Смачивание.
2. Ионисторы. Емкость двойного слоя. Электрохимические реакции на поверхности. Применение.

Вариант 2

1. Гальваническая цепь. Два направления тока через гальваническую ячейку. Электроды и электродные реакции. Типы гальванических цепей. Расчет ЭДС для разных типов гальванических элементов. Закон Фарадея.
2. Типы вторичных источников энергии. Способы переработки. Преимущества. Типы устройств и их применение.

Вариант 3

1. Стационарный режим процесса. Области потенциалов предельного диффузионного тока и кинетики замедленного разряда.
2. Аккумуляторы с воздушными электродами. Типы аккумуляторов. Устройство. Катализаторы. Принципы работы.

Вариант 4

1. Структура двойного электрического слоя. Емкость межфазной границы. Зависимости емкости и заряда электрода от межфазной разности потенциалов.
2. Твердополимерные топливные элементы (ТПТЭ). Принципы и условия работы. Виды топлив. Реакции. Катализаторы. Устройство. Причины деградации.

Вариант 5

1. Типы электролитов, используемых для исследований в области электрохимии источников энергии. Полиэлектролиты. Неводные растворы электролитов. Твердые электролиты.
2. Редокс-батареи. Особенности работы редокс-батарей. Типичные редокс-рекции. Характеристики.

Вариант 6

1. Конвективный перенос в проточном электроде. Обтекаемый электрод. ВДЭ и ВДЭК. Естественная конвекция.
2. Топливные элементы. Классификация. Принципы работы. Понятие о трехфазной границе. Общие принципы работы.

Вариант 7

1. Гальванические цепи с переносом. Диффузионный и миграционный перенос. Конвективный перенос.
2. Особенности литиевых аккумуляторов. Устройство литиевых аккумуляторов. Электроды. Электролиты. Процессы, лежащие в основе работы. Характеристики.

Вариант 8

1. Электроды в источниках энергии. Виды электродов. Конструкционные особенности. Газовые электроды (водородный, кислородный).
2. Твердооксидные топливные элементы (ТОТЭ): принцип работы, основные элементы. Типы батарей ТОТЭ. Требования к батареям ТОТЭ.

Вариант 9

1. Электрохимическая теория коррозии. Причины деградации электродов. Способы оценки деградации электродов в электрохимических источниках энергии.
2. Электролиты и электроды в ТОТЭ.

5.5.5