

**Федеральное государственное автономное образовательное
учреждение высшего образования
«Московский физико-технический институт
(национальный исследовательский университет)»**

УТВЕРЖДЕНО

**Директор физтех-школы
электроники, фотоники и
молекулярной физики
А.С. Батурин**

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Физико-химические основы электрохимических накопителей энергии
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электрохимической энергетики
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составили:

В.А. Визгалов, канд. хим. наук

Д.М. Иткис, канд. хим. наук

В.В. Кривецкий, канд. хим. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры электрохимическая энергетика 19.12.2024

Аннотация

Дисциплина «Физико-химические основы электрохимических накопителей энергии» направлена на развитие профильных компетенций и представлений об основных электрохимических теориях и концепциях, описывающих процессы, протекающие в металл-ионных и пост-литиевых аккумуляторах вследствие углубления и систематизации знаний о классификации, используемых материалов и основах технологий производства вторичных ХИТ с целью осуществления планирования, проектирования, расчета и анализа результатов испытаний аккумуляторных ячеек.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

Формирование у обучающихся специализированных представлений о видах, принципах работы, основных физико-химических принципах функционирования и технологии вторичных химических источников тока, включая литий- и натрий-ионные аккумуляторы и пост-металл-ионные системы, а также об основных классах материалов для электрохимических накопителей энергии.

Задачи дисциплины

Основными задачами изучения дисциплины являются:

- углубление базовых фундаментальных знаний о принципах работы современных электрохимических накопителей энергии;
- формирование специализированных знаний об основных процессах, лежащих в основе функционирования электрохимических накопителей энергии, и особенностях их протекания;
- обобщение и систематизация знаний о технологиях производства и жизненном цикле ЛИА, материалах, используемых для их изготовления.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны знать:

- основные виды используемых современных вторичных ХИТ, их преимущества и недостатки, физико-химические принципы их работы;
- материалы, используемые в качестве электродов и электролитов в современных вторичных ХИТ;
- основы технологии современных ХИТ, включая металл-ионные.

уметь:

- выполнять расчеты напряжения ХИТ из термодинамических данных, удельной емкости и энергии электрохимических пар;
- объяснять принципы работы различных электрохимических накопителей энергии, кинетику и термодинамику процессов на электродах, выбирать методы их характеристики;
- анализировать результаты электрохимических испытаний;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных материалов для ХИТ;
- готовить электроды из исходных электродных материалов, собирать и проводить электрохимические испытания тестовых ячеек.

владеть:

- основными электрохимическими теориями и концепциями, описывающими процессы на электродах и в электролите, а также принципы работы металл-ионных и пост-литиевых аккумуляторов;
- основными электрохимическими методами характеристики различных электрохимических систем, используемых во вторичных ХИТ;
- ключевыми технологическими приемами, используемыми в производстве металл-ионных ХИТ;
- навыками к интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе.

4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Общая классификация ХИТ и роль электрохимических накопителей в новом энергопереходе.	2			3
2	Термодинамика электрохимических накопителей энергии.	2			3
3	Влияние кинетических ограничений на работу электрохимических накопителей энергии.	2			3
4	Электролиты для ХИТ.	4			3
5	Процессы интеркаляции в электродные материалы. Литий-ионные аккумуляторы.	4			5
6	Особенности конверсионных электродных процессов и образования сплавов. Металлический литиевый электрод.	4			2
7	Технология производства ЛИА и их жизненный цикл.	6			3
8	Аспекты безопасности металл-ионных аккумуляторов.	2			4
9	Пост-металл-ионные системы.	4			4

Итого часов	30			30
Подготовка к экзамену	30 час.			
Общая трудоёмкость	90 час., 2 зач.ед.			

4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 2 (Весенний)

1. Общая классификация ХИТ и роль электрохимических накопителей в новом энергопереходе.

Общая классификация ХИТ. Виды электрохимических накопителей и области их применения. Роль электрохимических накопителей в новом энергопереходе. Первичные и вторичные ХИТ, классификация и основные характеристики, описывающие функционирование ХИТ (разрядное и зарядное напряжения, выход по току и по энергии, емкость, внутреннее сопротивление, максимальная теоретическая удельная энергия, мощность). Обзор электрохимических систем для первичных и вторичных источников тока. Четвертый энергопереход и роль электрохимических накопителей в нем.

2. Термодинамика электрохимических накопителей энергии.

Принципы, определяющие емкость и напряжение, уравнение Нернста. Термодинамика электрохимических накопителей энергии. Структура двойного электрического слоя (модели Гельмгольца, Гуи-Чэпмена и Штерна). Электрохимический потенциал. Разрядные кривые и правило фаз Гиббса. Равновесный потенциал. Катодные и анодные материалы в ХИТ. Преимущества использования лития в ХИТ.

3. Влияние кинетических ограничений на работу электрохимических накопителей энергии.

Основные понятия кинетики электродных процессов. Уравнение Батлера-Фольмера, активационная поляризация. Диффузия электроактивных частиц в растворах электролитов и в твердом теле. Концентрационная поляризация. Диффузия в пористых средах.

4. Электролиты для ХИТ.

Электролитическая диссоциация и сольватация. Ионная проводимость и подвижность ионов. Уравнение Нернста-Эйнштейна. Жидкие, гель-полимерные и полимерные электролиты для литиевых и литий-ионных аккумуляторов. Механизмы ионного транспорта в полимерных электролитах, не-Нернстовская подвижность ионов. Представление об электрохимическом окне электролита. Числа переноса и методы их определения. Твердые литий-проводящие электролиты. Механизмы транспорта ионов в твердом теле. Энергия активации проводимости. β -глинозем, NASICON, LISICON, гранаты, $\text{Li}_{10}\text{GeP}_2\text{S}_{12}$, аргиродиты. Аморфные ионные проводники. Ионный транспорт в наноструктурированных системах.

5. Процессы интеркаляции в электродные материалы. Литий-ионные аккумуляторы.

Интеркаляционные процессы на электродах ХИТ, устройство и принцип работы литий-ионных аккумуляторов (ЛИА). Отрицательные электроды для ЛИА. Внедрение катионов лития в графит, изменение кристаллической структуры графита. Жесткие и мягкие модификации углерода. Положительные электроды для ЛИА. Катодные материалы первого поколения: особенности кристаллической структуры, их электрохимические характеристики. Факторы, определяющие потенциалы внедрения/извлечения катионов лития. Механизмы и кинетика интеркаляции/экстракции лития. Катодные материалы второго поколения: особенности строения и электрохимические свойства соединений с анионными группировками (фосфаты, сульфаты, силикаты и т.д.). Перспективы совершенствования литий-ионных аккумуляторов, новые интеркаляционные катодные материалы. Методы синтеза электродных материалов, роль наноструктурирования.

6. Особенности конверсионных электродных процессов и образования сплавов. Металлический литиевый электрод.

Конверсионные реакции в положительных электродах ЛИА. Конверсионные реакции в отрицательных электродах ЛИА. Субоксиды переходных металлов. Образование интерметаллидов Li_xSi_y . Литиевые сплавы. Литий-металлические первичные ХИТ и аккумуляторы. Проблемы переосаждения металлического лития и борьба с ними. Дендритообразование (модели с ограниченной диффузией и с ограниченной электромиграцией, время Сэнда). Роль SEI и твердотельной диффузии в металле в нарушении морфологической стабильности фронта электрокристаллизации лития. Пути борьбы с дендритообразованием (добавки к электролитам, полимерные электролиты, электростатическое экранирование, использование механических нагрузок).

7. Технология производства ЛИА и их жизненный цикл.

Технологические аспекты изготовления электродов для литий-ионных аккумуляторов. Обзор оборудования и методов, используемых при приготовлении и применении электродных паст. Влияние состава и микроструктуры электродных покрытий на удельные показатели аккумуляторов. Различные типы полимерных связующих. Основные технологические операции по подготовке электродов и сборке электродных блоков. Заправка и корпусирование аккумуляторов. Формование и состаривание. Старение и деградация характеристик ЛИА. Основные механизмы деградации. Жизненный цикл ЛИА и устойчивое развитие. «Вторая жизнь» аккумуляторов. Основные технологии переработки ЛИА. Практический семинар для ознакомления с технологическими аспектами изготовления электродов для литий-ионных аккумуляторов, сборки электродных блоков и получения опыта самостоятельного создания литий-ионных аккумуляторов в форм-факторе coin-cell и pouch-cell. Измерение ключевых функциональных характеристик изготовленных образцов.

8. Аспекты безопасности металл-ионных аккумуляторов.

Источники опасности в металл-ионных аккумуляторах. Базовые представления о теории теплового взрыва. Процессы теплового разгона металл-ионного аккумулятора. Процессы разложения SEI. Термическая стабильность катодных материалов. Методы повышения безопасности металл-ионных аккумуляторов. Катодные материалы нового поколения. Специальные сепараторы. Функциональные и пламягасящие добавки в электролиты. Внешние устройства для повышения безопасности (клапаны, РТС, плавкие вставки и др.)

9. Пост-металл-ионные системы.

Классы катодных материалов для интеркаляции натрия. Анодные углеродные и неуглеродные материалы для интеркаляции натрия. Механизмы накопления натрия в углеродных материалах. Электролиты для натрий-ионных аккумуляторов. Литий-серные аккумуляторы: принцип работы и основные характеристики. Образование полисульфидов лития и полисульфидный промежуточный комплекс. Литий-воздушные аккумуляторы: принцип работы, классификация и характеристики. Механизмы электрокаталитического восстановления кислорода в водных и апротонных средах. Материалы положительных электродов и их устойчивость. Твердотельные литиевые и литий-ионные аккумуляторы. Принципы работы и основные проблемы разработки твердотельных аккумуляторов. Интерфейсы твердое-твердое и их модификация как основной аспект создания твердотельных аккумуляторов.

5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

Учебная аудитория, оснащенная мультимедиа проектором, меловой или маркерной доской.

6. Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Б. Б. Дамаскин, О. А. Петрий, Г. А. Цирлина. Электрохимия. — 3-е изд., испр. — Санкт-Петербург : Лань, 2022.
2. Козадеров О.А., Введенский А.В. Современные химические источники тока. 3-е изд., испр. Изд-во Лань, 2021.

Дополнительная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Allen J. Bard, Larry R. Faulkner, Henry S. White. Electrochemical methods: Fundamentals and Applications. John Wiley & Sons, 2022.
2. А.К. Иванов-Шиц, И.В. Мурин. Ионика твердого тела. Том I. Изд-во СПб университета, 2000.

7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются.

8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)

Не предусмотрены.

9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)

Студент, изучающий дисциплину, должен, с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике. В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения дисциплины, уметь применять полученные знания уметь применять полученные знания для решения различных задач.

Успешное освоение курса требует:

- посещения всех занятий, предусмотренных учебным планом по дисциплине;
- ведения конспекта занятий;
- выполнение заданий практических семинаров и самостоятельную обработку полученных результатов;
- активной самостоятельной работы студента.

Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала, подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения;
- подготовку к выполнению заданий текущей и промежуточной аттестации.

Показателем владения материалом служит умение без конспекта отвечать на вопросы по темам дисциплины.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к преподавателю.

Возможен промежуточный контроль знаний студентов в виде решения задач в соответствии с тематикой занятий.

ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Физика перспективных технологий: альтернативная энергетика, научное программирование и функциональные материалы Физтех-школа Электроники, Фотоники и Молекулярной Физики кафедра электрохимической энергетики
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 2 (весенний) - Экзамен

Разработчики:

В.А. Визгалов, канд. хим. наук
Д.М. Иткис, канд. хим. наук
В.В. Кривецкий, канд. хим. наук

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
УК-1 Способен осуществлять критический анализ проблемных ситуаций на основе системного подхода, вырабатывать стратегию действий	УК-1.1 Анализирует проблемную ситуацию как систему, выявляя ее составляющие и связи между ними
	УК-1.2 Осуществляет поиск вариантов решения поставленной проблемной ситуации на основе доступных источников информации
	УК-1.3 Разрабатывает стратегию достижения поставленной цели как последовательность шагов, предвидя результат каждого из них и оценивая их влияние на внешнее окружение планируемой деятельности и на взаимоотношения участников этой деятельности
ПК-1 Способен ставить, формализовывать и решать задачи, в том числе разрабатывать и исследовать математические модели изучаемых явлений и процессов, системно анализировать научные проблемы, получать новые научные результаты	ПК-1.1 Способен находить, анализировать и обобщать информацию об актуальных результатах исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ПК-1.2 Способен выдвигать гипотезы, строить математические модели для описания изучаемых явлений и процессов, оценивать качество разработанной модели
	ПК-1.3 Способен применять теоретические и (или) экспериментальные методы исследований к конкретной научной задаче и интерпретировать полученные результаты

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Физико-химические основы электрохимических накопителей энергии» обучающийся должен:

знать:

- основные виды используемых современных вторичных ХИТ, их преимущества и недостатки, физико-химические принципы их работы;
- материалы, используемые в качестве электродов и электролитов в современных вторичных ХИТ;
- основы технологии современных ХИТ, включая металл-ионные.

уметь:

- выполнять расчеты напряжения ХИТ из термодинамических данных, удельной емкости и энергии электрохимических пар;
- объяснять принципы работы различных электрохимических накопителей энергии, кинетику и термодинамику процессов на электродах, выбирать методы их характеристики;
- анализировать результаты электрохимических испытаний;
- анализировать научную литературу с целью выбора информации о работе, перспективах и характеристиках различных материалов для ХИТ;
- готовить электроды из исходных электродных материалов, собирать и проводить электрохимические испытания тестовых ячеек.

владеть:

- основными электрохимическими теориями и концепциями, описывающими процессы на электродах и в электролите, а также принципы работы металл-ионных и пост-литиевых аккумуляторов;
- основными электрохимическими методами характеристики различных электрохимических систем, используемых во вторичных ХИТ;
- ключевыми технологическими приемами, используемыми в производстве металл-ионных ХИТ;
- навыками к интерпретации и обсуждения результатов проведенного исследования, основываясь на современной литературе.

3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

В начале каждого занятия проводится краткий опрос по теме предыдущего занятия.

4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся

Вопросы к экзамену:

1. Проведите классификацию современных ХИТ и определите возможные области применения каждого из классов.
2. Приведите примеры первичных и вторичных источников тока.
3. Энергопереходы: чем определяются и какое место ХИТ тока занимают в настоящее время
4. Опишите существующие представления о структуре двойного электрического слоя (модели Гельмгольца, Гуи-Чэпмена и Штерна).
5. Выведите правило фаз Гиббса.
6. Объясните формы разрядных и зарядных кривых различных электрохимических систем при помощи правила фаз Гиббса.
7. Уравнение Батлера-Фольмера: вывод, применение в реальных системах.
8. Диффузия электроактивных частиц в растворах электролитов и в твердом теле.
9. Ионная проводимость и подвижность ионов. Уравнение Нернста-Эйнштейна.
10. Приведите примеры жидких, гель-полимерных и полимерных электролитов для литиевых и литий-ионных аккумуляторов.
11. Числа переноса и методы их определения.
12. Твердые литий-проводящие электролиты. Механизмы транспорта ионов в твердом теле. Энергия активации проводимости. Примеры твердых литий-проводящих электролитов.
13. Интеркаляционные процессы на электродах ХИТ, устройство и принцип работы литий-ионного аккумуляторов (ЛИА).
14. Факторы, определяющие потенциалы внедрения/извлечения катионов лития.
15. Механизмы и кинетика интеркаляции/экстракции лития.
16. Перспективы совершенствования литий-ионных аккумуляторов, новые интеркаляционные катодные материалы. Методы синтеза электродных материалов, роль наноструктурирования.
17. Конверсионные реакции в положительных электродах ЛИА. Конверсионные реакции в отрицательных электродах ЛИА.
18. Проблемы переосаждения металлического лития и борьба с ними. Дендритообразование (модели с ограниченной диффузией и с ограниченной электромиграцией, время Сэнда).
19. Пути борьбы с дендритообразованием (добавки к электролитам, полимерные электролиты, электростатическое экранирование, использование механических нагрузок).
20. Обзор оборудования и методов, используемых при приготовлении и применении электродных паст.
21. Старение и деградация характеристик ЛИА. Основные механизмы деградации.
22. Жизненный цикл ЛИА и устойчивое развитие. «Вторая жизнь» аккумуляторов.
23. Источники опасности в металл-ионных аккумуляторах. Базовые представления о теории теплового взрыва. Процессы теплового разгона металл-ионного аккумулятора.
24. Методы повышения безопасности металл-ионных аккумуляторов.
25. Функциональные и пламягасящие добавки в электролиты.
26. Внешние устройства для повышения безопасности (клапаны, РТС, плавкие вставки и др.).
27. Твердотельные литиевые и литий-ионные аккумуляторы.

Дополнительные вопросы:

1. Рассчитайте теоретическую удельную энергию аккумулятора с отрицательным электродом на основе графита и положительным электродом на основе LiFePO_4 . Оцените его практическую удельную энергию.
2. На микрофотографии изображена микроструктура порошка LiCoO_2 . Рассчитайте его теоретическую удельную емкость и максимальный ток, при котором возможно достижение такой емкости на практике, считая коэффициент диффузии Li^+ равным $10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$.

3. На рисунке изображены разрядные и зарядные кривые ячейки, состоящей из металлического литиевого отрицательного электрода и положительного электрода из оксидного материала, интеркалирующего литий. Объясните наблюдаемую разницу в кривых для различных токов. Изобразите участок фазовой диаграммы в координатах «температура – состав» для данного оксида в области комнатной температуры, при которой и были проведены измерения.
4. На рисунке показаны разрядные кривые, зарегистрированные в ячейке с отрицательным электродом из металлического лития. Предположите, что являлось материалом положительного электрода. Какую микроструктуру имел этот материал? Постройте диаграмму Рагоне для данной ячейки.
5. На рисунке показана зависимость разрядной емкости литий-кислородной ячейки от размера пор в её углеродном катоде. Какие процессы протекают при разряде этой ячейки? Чем объясняется показанная на рисунке зависимость? Какой электролит использовали для показанных измерений?
6. Сравните электрохимические свойства двух катодных материалов, кривые заряда-разряда которых представлены на рисунке.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1:

1. Ионная проводимость в растворах и расплавах электролитов. Ион-проводящие полимерные системы – механизмы проводимости и примеры. Суперионники – механизмы проводимости и примеры.
2. Связь электронной структуры электродных материалов и потенциала электрода. Примеры отрицательных и положительных электродных материалов для ЛИА.

Пример 2:

1. Перечислите основные проблемы безопасности при использовании ЛИА. Чем они вызваны? Предположите, какая электрохимическая система позволяет создавать наиболее безопасные ЛИА.
2. На рисунках показаны результаты хронопотенциометрических измерений в электрохимической ячейке, одним из электродов в которой являлся металлический литий. Какова электрохимическая емкость данных ячеек? Предположите, какой материал выступал в роли второго электрода. Как применяют подобные материалы в аккумуляторах? Какова кулоновская эффективность ячеек? Почему?

Критерии оценивания

Критерии оценивания.

Оценка отлично 10 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов – выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов – выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов – выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов – выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний недостаточно правильные формулировки базовых понятий нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла – выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний допускающему ошибки в формулировках базовых понятий нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла – выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл – выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности

В весеннем семестре предусмотрен устный экзамен, проводимый по билетам. В экзаменационном билете два вопроса. Опрос по билету не должен превышать 60 минут, время на подготовку ответа не более 60 минут.