

**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:	Основы проектирования энергосистем
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

Семестры, формы промежуточной аттестации:

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

3 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 30 час.

Самостоятельная работа: 90 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 180, всего зач. ед.: 4

Программу составили:

М.С. Ситников, канд. техн. наук

А.В. Сергеев, канд. физ.-мат. наук

П.Е. Болтышов

Д.К. Гребцов

Программа обсуждена на заседании кафедры электрохимическая энергетика 26.02.2024

Аннотация

Дисциплина «Основы проектирования энергосистем» направлена на изучение модельно-ориентированного системного инжиниринга за счет формирования теоретических знаний и практических навыков в области современных подходов цифрового проектирования и моделирования.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- формирование у обучающихся специализированных знаний о сложных физических системах, принципах моделирования и системного проектирования, развитие компетенций в области системной разработки, планирования, реализации научно-технических разработок.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области основ модельно-ориентированного системного инжиниринга, системной разработки, проектирования и жизненного цикла изделий, организации и управления процессами разработки элементов мобильных энергосистем;
- освоение методов и подходов в области проектирования электротехнических систем и комплексов для решения конкретных задач;
- освоение навыков расчета, моделирования и проектирования сложных физических систем, в т.ч. химических источников тока.

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 понятия и принципы модельно-ориентированного системного инжиниринга и проектирования;
- основные стадии жизненного цикла научно-технического продукта в области накопителей энергии, опорные архитектуры целевых систем;
- структуру и архитектуры систем деятельности в области накопителей энергии;
- современные отечественные и зарубежные стандарты в области проектирования, контроля качества и управления проектами.

уметь:

- оценивать уровень готовности технологий в области накопителей энергии;
- осуществлять декомпозицию системы и/или проекта, составлять схему деления и прогнозировать жизненный цикл научно-технической продукции;
- формировать архитектуру систему деятельности для сложных физических систем.

владеть:

- методами модельно-ориентированного системного инжиниринга и параметризации сложных физических систем;
- методами планирования и управления деятельностью по разработке и применению сложных физических систем;
- навыками самостоятельного ориентирования в предметной научно-технической и патентной информации.

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	Введение в энергетику. Основные характеристики электрических сетей и энергосистем (ЭС).	2			4
2	Нормативно-правовое обеспечение разработки энергосистем: общие положения и стандарты и касающиеся энергосистем.	2			6
3	Методы и инструменты проектирования ЭС. Модельно-ориентированный подход к разработке ЭС.	2		8	18
4	Литий-ионные аккумуляторы и их модели.	2			6
5	Основы автоматического управления в энергосистемах.	2			4
6	Системы контроля и управления аккумуляторными батареями.	2			4
7	Основы моделирования работы ЛИА в Matlab/Simulink.	2		7	12
8	Основные требования к аккумуляторным батареям для различных применений.	1			6
9	Устройство и конструкция аккумуляторов и аккумуляторных батарей для различных применений.	5			6
10	Энергоустановки для транспортных применений.	4			4

11	Первичные литиевые источники тока. Особенности, классификация, технологии производства.	2			4
12	Введение в систему ЕСКД.	2			4
13	Основы работы и проектирования в системах автоматизированного проектирования.			7	6
14	Конечно-элементные расчеты в проектировании ЭС.	2		8	6
Итого часов		30		30	90
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		180 час., 4 зач.ед.			

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

Семестр: 2 (Весенний)

1. Введение в энергетику. Основные характеристики электрических сетей и энергосистем (ЭС).

Понятие об энергосистеме и электрических сетях: основные элементы, принципы работы, классификация сетей. Надежность электрических сетей и энергобаланс. Распределенная энергетика. Стационарные и мобильные энергосистемы.

2. Нормативно-правовое обеспечение разработки энергосистем: общие положения и стандарты и касающиеся энергосистем.

Стандартизация в РФ: цели, задачи, принципы и методы стандартизации. Комплексная стандартизация. Органы и службы стандартизации. Межотраслевые организации (комплексы) стандартизации. ЕСКД и Технологическая документация.

3. Методы и инструменты проектирования ЭС. Модельно-ориентированный подход к разработке ЭС.

Систематизация методов и инструментов проектирования ЭС. Этапность проектирования; Регулирующие и отчетные документы по этапам разработки. Инструменты разработки КД. Методы подтверждения соответствия. Системы проектирования: виды, возможности. Инструменты распределенной разработки. Автоматизация проверки соответствия требованиям. Версионность.

Лабораторные работы:

1. Знакомство с Simcenter Amesim: обзор интерфейса и инструментов разработки моделей. Обзор библиотек компонентов моделирования ЭС. Методология разработки моделей в Simcenter Amesim. Проведение расчетов. Интерпретация и подготовка результатов расчетов.

2. Разработка 1D моделей ЭС в Simcenter Amesim: постановка задачи для разработки модели ЭС. Разработка архитектуры и параметризация модели ЭС. Определение расчетных параметров и соответствия полученных результатов поставленной задаче.

4. Литий-ионные аккумуляторы и их модели.

Состав и принципы работы ЛИА; особенности различных электродных материалов; обзор проблем деградации и безопасности; способы измерения емкости.

5. Основы автоматического управления в энергосистемах.

Системы управления. Уровни управления и принятия решения. Составляющие систем управления. Постановка задачи для управления системой. Понятия устойчивость, робастность, качество управления. Методы и подходы к управлению. Примеры разработки СУ для ЭС.

6. Системы контроля и управления аккумуляторными батареями.

Общие сведения о системах контроля и управления ЛИА: обоснование необходимости, функции и типы СКУ. Способы оценки состояния ЛИА.

7. Основы моделирования работы ЛИА в Matlab/Simulink.

Моделирование поведения ЛИА методом эквивалентных схем и реализация модели в среде Simulink.

Лабораторные работы:

1. Моделирование АБ и систем балансировки: подходы к моделированию аккумуляторной батареи и примеры реализации схем балансировки.

2. Алгоритмы оценки состояния аккумуляторов и АБ: рассмотрение особенностей применения фильтра Калмана для оценки состояния заряда ЛИА на примере модели Simulink.

8. Основные требования к аккумуляторным батареям для различных применений.

Краткая история аккумуляторных батарей. Общая терминология. Обзор аккумуляторов различных конструкций. Обзор встроенных в аккумуляторы систем защиты. Обзор основных требований к аккумуляторным батареям.

Семестр: 3 (Осенний)

9. Устройство и конструкция аккумуляторов и аккумуляторных батарей для различных применений.

Анализ требований и выбор электрохимии. Определение избыточной емкости и мощности в начале срока службы. Последовательное и параллельное подключение аккумуляторов в батарее. PS и SP схемы подключения аккумуляторов в АБ. Модульная и блочная архитектуры АБ. Механическая конструкция аккумуляторного модуля. Выбор оптимального давления на аккумуляторы в процессе циклирования. Выбор конструкции шин в АБ. Способы монтажа аккумуляторов. Защита от коррозии в АБ. Конструкция корпуса АБ. Элементы аппаратной защиты АБ. Выбор разъемов. Обзор систем термонеджементов. Тяговые батареи для дорожных ЭТС: основные требования, состав, назначение элементов и требования к ним. Обоснование необходимости системы BTMS их разновидности и функции. Основные функциональные требования к BMS, типовой состав. Особенности элементной базы и программно-математического обеспечения тяговых батарей.

10. Энергоустановки для транспортных применений.

Особенности энергосистем для колесного электротранспорта (BEV, HEV, PHEV, FCEV). Схемы гибридных энергоустановок. Рекуперация. Ездовые сценарии. Преимущества и недостатки каждого типа, проблемы и вызовы. Особенности энергосистем для авиационных систем. Пилотируемые и беспилотные авиационные системы. Классификация БАС: конструкции, назначение, полетные сценарии. Аккумуляторные БАС. БАС с гибридными системами (АКБ, ДВС, ПОМТЭ). Стационарные и мобильные энергоустановки с использованием топливных элементов: виды, состав, назначение и принцип работы. Безопасность водородных энергосистем.

11. Первичные литиевые источники тока. Особенности, классификация, технологии производства.

Особенности, классификация, технологии производства первичных литиевых источников тока.

12. Введение в систему ЕСКД.

Система ЕСКД: структура, назначение, квалификационные группы.

13. Основы работы и проектирования в системах автоматизированного проектирования.

Лабораторные работы:

1. Обзор интерфейса КОМПАС-3D. Обзор инструментов для работы с 2D и 3D элементами. Практическое использование инструментов для создания эскиза и модели плиты охлаждения аккумуляторов.
2. Понятие сборки. Преимущества использования сборок. Особенности сохранения сборки в память устройства. Практическое использование сборок для создания сборки плиты охлаждения.
3. Применение чертежей и их преимущества. Создание чертежа детали. Выставление размеров и примечаний на чертеже. Разрезы деталей на чертеже. Основные условные обозначения на чертеже.

14. Конечно-элементные расчеты в проектировании ЭС.

Последовательность конечно-элементного анализа. Структура конечно-элементной программы. Виды конечных элементов. Приемы конечно-элементного анализа.

Лабораторные работы:

1. Построение сеток для конечно-элементного анализа теплопередачи в ANSYS Meshing: обзор метода конечных элементов (МКЭ) и его применения в тепловых расчетах. Влияние качества сетки на точность результатов и время расчета. Построение сеток для различных геометрических объектов. Упрощение геометрии объектов для оптимизации расчетной модели.
2. Тепловые расчеты в ANSYS Static Thermal: основные понятия теплопередачи, типы граничных условий в тепловом анализе. Расчет теплопроводности в твердом теле. Расчет теплообмена в сборной конструкции. Визуализация результатов.
3. Тепловые расчеты в ANSYS Fluent: основные понятия гидродинамики. Расчет теплообмена при течении жидкости в канале. Визуализация результатов. Анализ влияния начальных параметров на теплопередачу.
4. Механические расчёты в ANSYS Mechanical: основные понятия механического (прочностного) расчёта. Типы прочностных расчётов. особенности построения сеток для механического расчёта. Импорт модели в Mechanical с помощью SpaceClaim и построение для него сетки. Приложение нагрузки. Параметры расчёта. Интерпретация результатов.

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. Валиуллин, К. Р. Введение в электроэнергетику : учебное пособие / К. Р. Валиуллин, А. Д. Чернова. — Оренбург : ОГУ, 2020. — 115 с. — ISBN 978-5-7410-2483-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/293792>.
2. Смирнов Ю. А. Силовая электроника электромобилей. Управление инверторной генерацией энергии: учебное пособие для вузов / Ю. А. Смирнов, В. А. Детистов. СанктПетербург: Лань, 2024. 256 с. : ил. Текст : непосредственный.

Дополнительная литература

Литература выдается на базовой кафедре:

1. Гин А.А. Теория решения изобретательских задач. Учебное пособие I уровня: учебно-методическое пособие / А.А. Гин, А.В. Кудрявцев, В.Ю. Бубенцов, А. Серединский. – 3-е изд. – Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2017. – 64 с
2. Инновационное развитие электроэнергетики на основе технологий Smart Grid : учебное пособие / составитель Н. В. Савина. — Благовещенск : АмГУ, 2014. — 136 с. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/156465>
3. Газизова, О. В. Электроэнергетика : учебное пособие / О. В. Газизова, И. А. Дубина. — Магнитогорск : МГТУ им. Г.И. Носова, 2019. — 132 с. — ISBN 978-5-9967-1563-3. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/162566>
4. Смирнов, Ю. А. Электромобиль: инфраструктура и электротехнические компоненты: учебное пособие для вузов / Ю. А. Смирнов. — Санкт-Петербург : Лань, 2024. — 476 с. — ISBN 978-5-507-49147-6. — Текст : электронный // Лань : электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/413726>

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

Семестры, формы промежуточной аттестации:

2 (весенний) - Дифференцированный зачет

3 (осенний) - Экзамен

Разработчики:

М.С. Ситников, канд. техн. наук

А.В. Сергеев, канд. физ.-мат. наук

П.Е. Болтышов

Д.К. Гребцов

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 «Основы проектирования энергосистем» обучающийся должен:

знать:

- основные понятия и принципы модельно-ориентированного системного инжиниринга и проектирования;
- основные стадии жизненного цикла научно-технического продукта в области накопителей энергии, опорные архитектуры целевых систем;
- структуру и архитектуры систем деятельности в области накопителей энергии;
- современные отечественные и зарубежные стандарты в области проектирования, контроля качества и управления проектами.

уметь:

- оценивать уровень готовности технологий в области накопителей энергии;
- осуществлять декомпозицию системы и/или проекта, составлять схему деления и прогнозировать жизненный цикл научно-технической продукции;
- формировать архитектуру систему деятельности для сложных физических систем.

владеть:

- методами модельно-ориентированного системного инжиниринга и параметризации сложных физических систем;
- методами планирования и управления деятельностью по разработке и применению сложных физических систем;
- навыками самостоятельного ориентирования в предметной научно-технической и патентной информации.

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 дифференцированному зачету:

1. Проблемы энергетики в мировом масштабе. Понятие и особенности энергосистемы. ЕЭС России. Принцип действия и назначение элементов энергосистемы.
2. Понятие, назначение, типы и особенности работы источников питания и накопителей энергии.
3. Понятие и параметры электрической сети, элементы сети, особенности работы и надежность. Метод расчета энергобаланса. Целесообразность его применения.
4. Сущность системы стандартизации в РФ: цели, задачи, принципы и методы. Какими органами осуществляется государственное управление стандартизацией?
5. Стандарты: виды и содержание, кем разрабатываются, что служит теоретической базой современной стандартизации. Перечислите международные организации по стандартизации.
6. Основные виды работ, характеризующие ОКР. Состав комплекта РКД. Виды конструкторских, эксплуатационных и технологических документов.
7. Этапы проектирования энергосистем и ее элементов. Документы, регулирующие этапность разработки энергосистем и ее элементов. Чем регламентируется перечень документов по этапам разработки.
8. Инструменты разработки КД на предприятиях. Для чего используются инструменты распределенной разработки, рассказать примерный процесс работы.
9. Стандартный перечень системы проектирования для разработки ЭС. Процесс управления требованиями при разработке ЭС. Каскадирование требований.
10. Методы и типы подтверждения соответствия разработки. Достоинства и недостатки автоматизации проверки соответствия требованиям. Дать понятие версионности, описать достоинства и недостатки, а также условия применения.
11. Определение модельно-ориентированного подхода при разработке систем (Simcenter Amesim). Отличие расчета на моделях и расчетах на бумаге. Дать определение решателю дифференциальных уравнений, совместного расчета двух программ, исходным данным, параметрам, переменным, контролируемым параметрам.
12. Разработка 1D-моделей ЭС в Simcenter Amesim: Описать процесс построения модели по шагам. Описать ограничения модели и возможности уточнения и дополнения для получения достоверных результатов.
13. Принципы работы литий-ионного аккумулятора (ЛИА). Электродные материалы для ЛИА, их основные характеристики и различия. Влияние процессов массопереноса на измеряемое напряжение ЛИА.
14. Емкость ЛИА, ее теоретические и практические значения. Измерение емкости и факторы, влияющие на результат.
15. Циклический ресурс ЛИА, понятие эквивалентного полного цикла, понятие state of health. Механизмы деградации ЛИА и факторы, влияющие на них.
16. Основы автоматического управления в энергосистемах: уровни управления, составляющие СУ их взаимосвязь. Понятие обратной связи. Как влияет дискретность на качество управления. Дать определение системы с переменной структурой. Параметры переходного процесса. Быстродействие СУ. Ограничения по управлению.
17. Системы контроля и управления аккумуляторными батареями: методы определения состояния заряда ЛИА, их достоинства и недостатки. Принцип работы адаптивных фильтров применительно к задаче определения состояния заряда ЛИА.
18. Эквивалентные электрические схемы ЛИА. Модель Тевенена. Отклик ЭЭС Тевенена 1-го порядка на короткий импульс тока и на постоянный ток.
19. Балансировка аккумуляторов и причины её необходимости. Последствия разбалансировки аккумуляторной батареи. Основные подходы к балансировке. Типы схем балансировки
20. Типы аккумуляторов по конструкции, основные элементы конструкции аккумуляторов различных вариантов конструкции, типы встроенных в аккумулятор систем защиты - для чего предназначены и как срабатывают.
21. Расчет напряжения и емкости АБ при различных способах подключения аккумуляторов в АБ. Влияние способа подключения аккумуляторов в АБ на надежность.
22. Плюсы и минусы блочной и модульной архитектур. Тенденции развития. Причины необходимости оказывать давление на аккумуляторы в процессе циклирования.

23. Расчет сечения шин аккумуляторов. Защита шин от короткого замыкания и деформаций. Основные способы монтажа аккумуляторов к шинам - плюсы и минусы. Способы защиты от коррозии при монтаже аккумуляторов к шинам.
24. Функционал корпуса АБ. Элементы аппаратной защиты АБ - состав, функционал. Основные требования к разъемам АБ. Системы термонеджементов - типы, конструкция, принципы работы.
25. Основные требования к тяговым батареям для дорожных ЭТС. Состав тяговых батарей, основные составные части их назначение и требования к ним.
26. Тяговые батареи. Обоснование необходимости системы BTMS их разновидности и функции. Основные функциональные требования к BMS, типовой состав.

Вопросы к экзамену:

1. Основные элементы и назначение элементов энергосистемы. Понятие, типы и особенности работы источников питания и накопителей энергии.
2. Сущность системы стандартизации в РФ: цели, задачи, принципы и методы. Стандарты: виды и содержание. Международные организации по стандартизации.
3. Основные виды работ, характеризующие ОКР. Состав комплекта РКД. Виды конструкторских, эксплуатационных и технологических документов.
4. Этапы проектирования энергосистем и ее элементов. Документы, регулирующие этапность разработки энергосистем и ее элементов. Чем регламентируется перечень документов по этапам разработки.
5. Инструменты разработки КД на предприятиях. Стандартный перечень системы проектирования для разработки ЭС. Процесс управления требованиями при разработке ЭС. Каскадирование требований.
6. Методы и типы подтверждения соответствия разработки. Достоинства и недостатки автоматизации проверки соответствия требованиям. Дать понятие версионности, описать достоинства и недостатки, а также условия применения.
7. Определение модельно-ориентированного подхода при разработке систем (Simcenter Amesim). Отличие расчета на моделях и расчетах на бумаге. Дать определение решателю дифференциальных уравнений, совместного расчета двух программ, исходным данным, параметрам, переменным, контролируемым параметрам.
8. Разработка 1D-моделей ЭС в Simcenter Amesim: Описать процесс построения модели по шагам. Описать ограничения модели и возможности уточнения и дополнения для получения достоверных результатов.
9. Принципы работы литий-ионного аккумулятора (ЛИА). Электродные материалы для ЛИА, их основные характеристики и различия. Влияние процессов массопереноса на измеряемое напряжение ЛИА.
10. Емкость ЛИА, ее теоретические и практические значения. Измерение емкости и факторы, влияющие на результат.
11. Циклический ресурс ЛИА, понятие эквивалентного полного цикла, понятие state of health. Механизмы деградации ЛИА и факторы, влияющие на них.
12. Основы автоматического управления в энергосистемах: уровни управления, составляющие СУ их взаимосвязь. Понятие обратной связи. Как влияет дискретность на качество управления. Дать определение системы с переменной структурой. Параметры переходного процесса. Быстродействие СУ. Ограничения по управлению.
13. Системы контроля и управления аккумуляторными батареями: методы определения состояния заряда ЛИА, их достоинства и недостатки. Принцип работы адаптивных фильтров применительно к задаче определения состояния заряда ЛИА.
14. Эквивалентные электрические схемы ЛИА. Модель Тевенена. Отклик ЭЭС Тевенена 1-го порядка на короткий импульс тока и на постоянный ток.
15. Балансировка аккумуляторов и причины её необходимости. Последствия разбалансировки аккумуляторной батареи. Основные подходы к балансировке. Типы схем балансировки
16. Типы аккумуляторов по конструкции, основные элементы конструкции аккумуляторов различных вариантов конструкции, типы встроенных в аккумулятор систем защиты - для чего предназначены и как срабатывают.
17. Расчет напряжения и емкости АБ при различных способах подключения аккумуляторов в АБ. Влияние способа подключения аккумуляторов в АБ на надежность.

18. Плюсы и минусы блочной и модульной архитектур. Тенденции развития. Причины необходимости оказывать давление на аккумуляторы в процессе циклирования.
19. Расчет сечения шин аккумуляторов. Защита шин от короткого замыкания и деформаций. Основные способы монтажа аккумуляторов к шинам - плюсы и минусы. Способы защиты от коррозии при монтаже аккумуляторов к шинам.
20. Функционал корпуса АБ. Элементы аппаратной защиты АБ - состав, функционал. Основные требования к разъемам АБ. Системы термонеджементов - типы, конструкция, принципы работы.
21. Основные требования к тяговым батареям для дорожных ЭТС. Состав тяговых батарей, основные составные части их назначение и требования к ним. Особенности элементной базы и программно-математического обеспечения тяговых батарей.
22. Тяговые батареи. Обоснование необходимости системы BTMS их разновидности и функции. Основные функциональные требования к BMS, типовой состав.
23. Энергоустановки для транспортных применений: принципиальная схема энергоустановки и принцип работы аккумуляторного электромобиля (BEV). Отличие предложенной схемы от гибридной энергосистемы (на примере HEV, PHEV или FCEV), изобразить принципиальные схемы, описать логику работы. Преимущества и недостатки аккумуляторных электромобилей по сравнению с гибридными.
24. Классификации БАС по конструкции и назначению. Типовые полетные сценарии различных типов БАС. Основные ограничения накопителей энергии БАС. Принципиальный график зависимости дальности полета от емкости АКБ для мультироторных БАС.
25. Аккумуляторные БАС, их преимущества и недостатки. Особенности БАС с гибридными системами, включая комбинации АКБ, ДВС, ПОМТЭ. Какие энергоустановки (или их комбинации) для каких конструкций БАС применяются и почему?
26. Гибридные транспортные энергосистемы с применением водородных топливных элементов: принципиальная схема энергоустановки, обоснование применения определенного типа ПОМТЭ (по типу катода) для колесного и воздушного транспорта.
27. Виды топливных элементов. Устройство, принцип работы водород-воздушных топливных элементов (ПОМТЭ), эксплуатационные требования. Сравнение ТЭ с жидкостным и воздушным охлаждением для транспортного применения. Преимущества и недостатки, ограничения, применение в транспорте.
28. Наиболее распространенные электрохимические системы непорезаряжаемых литиевых ХИТ. Основные характеристики, области и особенности применения. Конструкционные и технологические особенности производства наиболее распространенных первичных литиевых ХИТ.
29. Система ЕСКД: структура, назначение, квалификационные группы.
30. Последовательность конечно-элементного анализа. Виды конечных элементов. Приемы конечно-элементного анализа.

Дополнительные вопросы:

1. В каких целях осуществляется стандартизация? Какими органами осуществляется государственное управление стандартизацией? Перечислите международные организации по стандартизации.
2. Отличия метода Бонд-графа от конечного автомата.
3. Дать определение: аккумулятор, аккумуляторная батарея, положительный и отрицательный электроды аккумулятора, НРЦ, номинальные емкость и напряжение, энергоемкость аккумулятора, максимальный длительный и импульсный токи разряда.
4. Особенности элементной базы и программно-математического обеспечения тяговых батарей.

Примеры экзаменационных билетов.

Пример 1:

1. Проблемы энергетики в мировом масштабе. Понятие и особенности энергосистемы. ЕЭС России. Принцип действия и назначение элементов энергосистемы.
2. Расчет сечения шин аккумуляторов. Защита шин от короткого замыкания и деформаций.

Пример 2:

1. Балансировка аккумуляторов и причины её необходимости. Последствия разбалансировки аккумуляторной батареи. Основные подходы к балансировке.

2. Основные способы монтажа аккумуляторов к шинам - плюсы и минусы. Способы защиты от коррозии при монтаже аккумуляторов к шинам.

Пример 3:

Фильтр Калмана и принципы его работы, расширенный фильтр Калмана. Минимальный набор переменных состояния для описания работы ЛИА.

Влияние способа подключения аккумуляторов в АБ на надежность.

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 понятия 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 понятия 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 дифференцированный зачет (устный, который проводится по вопросам программы (в билете два теоретических вопроса). Опрос по билету не может превышать 60 минут, на подготовку выделяется не более 60 минут.

В осеннем 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.