

Направление подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»

Профиль подготовки «Электроэнергетические системы и сети»

РПД Б1.В.ОД.5 «Дальние линии электропередач»



## Приложение 3 РПД Б1.В.ОД.5

**Филиал федерального государственного бюджетного образовательного учреждения  
высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»  
в г. Смоленске**



### **РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ Дальние линии электропередач**

**Направление подготовки: 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника»**

**Уровень высшего образования: бакалавриат**

**Профиль подготовки: «Электроэнергетические системы и сети»**

**Срок обучения: 4 года**

**Форма обучения: очная**

**Смоленск – 2016 г.**

## 1. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине, соотнесенных с планируемыми результатами освоения образовательной программы

**Цель освоения дисциплины** – ознакомить обучающихся с современными средствами транспорта больших потоков электроэнергии на большие расстояния и с вытекающими проблемами - техническими, экономическими, экологическими посредством обеспечения этапов формирования компетенций, предусматриваемых ФГОС, в части представленных ниже знаний, умений и навыков.

**Задачами дисциплины** – ознакомление студентов с математической моделью дальних электропередач сверхвысокого напряжения (СВН), получение практических навыков проектирования протяженных электропередач СВН, освоение методов повышения экономичности и надежности работы магистральных линий электропередачи.

Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций:

ПК-6: способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности

ПК-7: готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике

В результате изучения дисциплины студент должен:

- **знать:**

1. Теорию передачи электроэнергии по линиям СВН (ПК-7).
2. Методику оптимизации режимов за счет целесообразного перепада напряжения по концам линии СВН (ПК-6, ПК-7).
3. Методику расчета потерь на корону в линии СВН (ПК-7).
4. Способы повышения пропускной способности линий электропередачи СВН (ПК-7).
5. Экологическое влияние ЛЭП СВН на окружающую среду (ПК-7).

- **уметь:**

1. Выполнять расчеты установившихся режимов протяженных линий СВН (ПК-7).
2. Выбирать шунтирующие реакторы для снижения напряжения и компенсации зарядной мощности линий СВН (ПК-6, ПК-7).
3. Проверять возможность самовозбуждения синхронных генераторов и принимать меры к его устранению (ПК-6).

- **владеть** различными методами расчета режимов воздушных линий СВН, расчета потерь на корону, оптимизации режимов, повышения пропускной способности линий СВН (ПК-6, ПК-7).

## 2. Место дисциплины в структуре образовательной программы

Дисциплина Б1.В.ОД.7 относится к вариативной части обязательных дисциплин цикла Б1 основной образовательной программы подготовки бакалавров по профилю «**Электроэнергетические системы и сети**» направлению «**Электроэнергетика и электротехника**».

В соответствии с учебным планом изучения дисциплины базируется на следующих дисциплинах:

- |             |  |
|-------------|--|
| Б1.Б.13     | Общая энергетика   |
| Б1.В.ОД.14  | Электроэнергетические системы и сети                                     |
| Б1.В.ДВ.5.1 | Электрическая часть электростанций и подстанций                          |
| Б1.В.ДВ.5.2 | Электрическая часть электроустановок                                     |
| Б1.В.ДВ.6.1 | Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах |
| Б1.В.ДВ.6.2 | Аварийные режимы в электроэнергетических системах                        |

Б1.В.ДВ.7.1	Короткие замыкания в электроэнергетических системах
Б1.В.ДВ.7.2	Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах
Б1.В.ОД.13	Релейная защита и автоматизация электроэнергетических систем
Б1.В.ОД.15	Электроснабжение
Б1.В.ОД.5	Физические основы производства электроэнергии
Б1.В.ОД.8	Воздушные и кабельные линии электропередач

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

#### Аудиторная работа

Цикл:	Б1	Семестр
Часть цикла:	вариативная	
№ дисциплины по учебному плану:	Б1.В.ОД.5	
Часов (всего) по учебному плану:	216	8 семестр
Трудоемкость в зачетных единицах (ЗЕТ)	6	8 семестр
Лекции ( часов)	30	8 семестр
Практические занятия ( часов)	30	8 семестр
Лабораторные работы ( часов)	30	8 семестр
Объем самостоятельной работы по учебному плану ( часов всего)	90	8 семестр
Экзамен	36	8 семестр

#### Самостоятельная работа студентов

Вид работ	Трудоёмкость, час
Изучение материалов лекций (лк)	10
Подготовка к практическим занятиям (пз)	10
Подготовка к защите лабораторной работы (лаб)	10
Выполнение расчетно-графической работы (РЗ)	10
Выполнение курсового проекта (работы)	-
Самостоятельное изучение дополнительных материалов дисциплины (СРС)	10
Подготовка к контрольным работам	-
Подготовка к тестированию	8
Подготовка к зачету	-
Всего (в соответствии с УП):	90
Подготовка к экзамену	36

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

№ п/п	Темы дисциплины	Всего часов на тему	Виды учебной занятий, включая самостоятельную работу студентов, и трудоемкость (в часах) (в соответствии с УП)					
			лк	пр	лаб	КР,КП	СРС	в т.ч. интеракт.
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	Тема 1. Общая характеристика и назначение электропередач СВН	8	2	0	0		6	
2	Тема 2. Конструктивные особенности электропередач СВН.	16	2	2	2		10	
3	Тема 3. Моделирование электропередач СВН. Первичные и волновые параметры электропередач СВН.	16	4	2	0		10	
4	Тема 4. Расчет и анализ основных режимов электропередач СВН.	26	6	6	4		10	
5	Тема 5. Особые режимы линий СВН. Установившиеся режимы холостого хода.	12	2	2	2		6	
6	Тема 6. Пропускная способность электропередач СВН и пути её повышения.	16	2	2	2		10	
7	Тема 7. Основы проектирования электропередач СВН.	14	2	6	0		6	
<b>всего по видам учебных занятий</b>		<b>108</b>	<b>20</b>	<b>20</b>	<b>10</b>		<b>58</b>	

#### Содержание по видам учебных занятий

**Тема 1.** Общая характеристика и назначение дальних электропередач сверхвысокого напряжения (СВН).

**Лекция 1** Функции электропередач СВН в энергетических системах. Решение транспортно-энергетической проблемы в России.

**Самостоятельная работа 1** Назначение и характеристика дальних электропередач СВН.

**Текущий контроль:** опрос по теме.

**Тема 2.** Конструктивные особенности электропередач СВН.

**Лекция 2.** Корона на проводах линий электропередач. Конструкция фазы и выбор её параметров.

**Практическое занятие 1.** Выбор опор и изоляции дальних линий электропередач.

**Лабораторная работа 1.** Исследование влияния геометрических размеров расщепленной фазы на параметры линии сверхвысокого напряжения.

**Лабораторная работа 2.** Расчет потерь мощности на корону воздушных линий сверхвысокого напряжения.

**Самостоятельная работа 2.** Конструкции опор и изоляции дальних электропередач СВН.

**Текущий контроль:** опрос по теме, защита лабораторных работ.

**Тема 3.** Моделирование электропередач СВН. Первичные и волновые параметры электропередач СВН.

**Лекция 3.** Волновой характер процесса передачи электроэнергии. Уравнения длинных линий. Удельные первичные и волновые параметры линий СВН переменного тока. Взаимосвязь режимных параметров воздушных линий СВН. Схема замещения линий.

**Практическое занятие 2:** Расчет погонных и волновых параметров линии СВН.

**Практическое занятие 3:** Определение параметров П-образной схемы замещения линии СВН с учетом поправочных коэффициентов. Расчет параметров А, В, С, Д длинной линии СВН.

**Самостоятельная работа 3 :** Моделирование дальних электропередач СВН.

**Текущий контроль:** опрос по теме.

**Тема 4.** Расчет и анализ основных режимов электропередач СВН.

**Лекция 4.** Оценка режимов работы линий СВН. Эллиптические диаграммы напряжений. Перепад напряжений.

Круговые диаграммы мощности линий различной длины. Предельная мощность линии. Основные схемы электропередач переменного тока.

Режим передачи натуральной мощности. Распределение напряжения, тока и реактивной мощности по длине линии в различных режимах работы.

Параметры схем замещения электропередачи при наличии на линии компенсирующих устройств. Задание исходной информации по режиму линий СВН. Схема замещения и алгоритм расчета режима ЛЭП.

Расчет нормальных режимов работы протяженных линий СВН - наибольшие и наименьшие нагрузки. Расчет ветви генераторов.

Целесообразный перепад напряжений линии СВН, мощность компенсирующих устройств, оптимальность режима.

**Практическое занятие 4.** Расчет распределения напряжения вдоль линии СВН при значениях активной мощности больше и меньше натуральной и для холостого хода.

**Практическое занятие 5.** Расчет и анализ режима наибольших нагрузок линии СВН. Анализируется распределение тока, напряжения, потоков мощности по линии.

**Практическое занятие 6.** Расчет и анализ режима наименьших нагрузок линии СВН. Обоснование и выбор дополнительных компенсирующих устройств.

**Лабораторная работа 3.** Круговые диаграммы и угловые характеристики мощности электропередачи сверхвысокого напряжения.

**Лабораторная работа 4.** Исследование влияния реактора на параметры режима электропередачи.

**Самостоятельная работа 4.** Характеристика основных режимов работы электропередачи. Анализ расчетов режимов.

**Текущий контроль:** опрос по теме, защита лабораторных работ.

**Тема 5.** Особые режимы линий СВН. Установившиеся режимы холостого хода.

**Лекция 5.** Самовозбуждение синхронных генераторов, работающих на линии СВН. Условия возникновения самовозбуждения и его устранение.

Параллельная работа генераторов на емкостную нагрузку. Синхронизация генераторов, соединенных с системой линией СВН.

**Практическое занятие 7.** Режим холостого хода линии СВН.

**Практическое занятие 8.** Расчет режима одностороннего включения линии под напряжением со стороны электростанции.

**Практическое занятие 9.** Зоны самовозбуждения генератора, и возможности появления самовозбуждения.

**Лабораторная работа 5.** Исследование режима холостого хода линии сверхвысокого напряжения.

**Самостоятельная работа 5.** Характеристика, расчет и анализ особых режимов работы дальней электропередачи СВН.

**Текущий контроль:** опрос по теме, защита лабораторной работы.

**Тема 6.** Пропускная способность электропередач СВН и пути её повышения..

**Лекция 6.** Пропускная способность электропередач, пути и способы ее увеличения: воздействие на первичные параметры, промежуточные синхронные компенсаторы.

**Самостоятельная работа 6.** Пути повышения пропускной способности линии электропередачи.

**Текущий контроль:** опрос по теме.

**Тема 7.** Основы проектирования электропередач СВН

**Лекция 7.** Выбор схемы, напряжения, числа цепей, сечения проводов, схем и оборудования промежуточных и конечных подстанций. Учет фактора надежности при сравнении вариантов.

**Практическое занятие 10.** Выбор числа и мощности генераторов и повышающих трансформаторов в начале электропередачи, а также автотрансформаторов на конечной подстанции электропередачи. Проверка сечений проводов по нагреву, короне.

**Самостоятельная работа 7.** Варианты схем дальней электропередачи. Типовые схемы распределительных устройств высоковольтных подстанций. Техничко-экономические показатели электропередачи.

**Текущий контроль:** опрос по теме, защита расчётного задания

**Промежуточная аттестация по дисциплине: экзамен**

Изучение дисциплины заканчивается экзаменом. Экзамен проводится в соответствии с Положением о зачетной и экзаменационной сессиях в НИУ МЭИ и инструктивным письмом от 14.05.2012 г. № И-23.

## **5. Перечень учебно-методического обеспечения для самостоятельной работы обучающихся по дисциплине**

Для обеспечения самостоятельной работы разработаны: демонстрационные слайды лекций, методические указания лабораторных работ.

## **6. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по дисциплине**

### **6.1 Перечень компетенций с указанием этапов их формирования**

При освоении дисциплины формируются следующие компетенции:

Дисциплина направлена на формирование следующих компетенций:

ПК-6: способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности

ПК-7: готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике

Указанные компетенции формируются в соответствии со следующими этапами:

1. Формирование и развитие теоретических знаний, предусмотренных указанными компетенциями (лекционные занятия, самостоятельная работа студентов).

2. Приобретение и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями (практические занятия, лабораторные работы, РЗ, самостоятельная работа студентов).

3. Закрепление теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями, в ходе защит лабораторных работ, а также решения конкретных технических задач на практических занятиях, успешной сдачи экзамена.

## **6.2 Описание показателей и критериев оценивания компетенций на различных этапах их формирования, описания шкал оценивания**

Сформированность каждой компетенции в рамках освоения данной дисциплины оценивается по трехуровневой шкале:

- пороговый уровень является обязательным для всех обучающихся по завершении освоения дисциплины;
- продвинутый уровень характеризуется превышением минимальных характеристик сформированности компетенции по завершении освоения дисциплины;
- эталонный уровень характеризуется максимально возможной выраженностью компетенции и является важным качественным ориентиром для самосовершенствования.

Уровень сформированности каждой компетенции на различных этапах ее формирования в процессе освоения данной дисциплины оценивается в ходе текущего контроля успеваемости и представлен различными видами оценочных средств.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенций преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям, расчетно-графической работе. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – контрольных опросах, защитах лабораторных работ (расчетно-графических работ), заданий по практическим занятиям и т.п.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенции ПК-6: способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям, контрольной работе. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – устных опросах, защитах лабораторных работ, заданий по практическим занятиям.

Принимается во внимание владение обучающимися:

### **знаниями:**

1. Методики оптимизации режимов за счет целесообразного перепада напряжения по концам линии СВН.

### **умениями:**

1. Выбирать шунтирующие реакторы для снижения напряжения и компенсации зарядной мощности линий СВН.
2. Проверять возможность самовозбуждения синхронных генераторов и принимать меры к его устранению.

### **навыками:**

расчета различными методами расчета режимов воздушных линий СВН, расчета потерь на корону, оптимизации режимов, повышения пропускной способности линий СВН.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-6: способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности в процессе защиты лабораторных работ, как формы текущего контроля. На защите соответствующих лабораторных работ задается 4 вопроса из примерного перечня:

1. Каким образом частота сети влияет на волновые параметры линии?
2. Какие допущения принимаются при анализе характеристик идеализированной линии? Обоснуйте эти допущения.

3. Как изменяется наибольшая передаваемая мощность при изменении длины линии? Какие ограничения при этом учитываются?
4. Как найти длину линии по зависимости  $Q_2 = f(\delta)$ ?
5. Возможен ли режим натуральной мощности при  $\kappa > 1$ ?

Полный ответ на два вопроса соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на три вопроса – продвинутому уровню; при полном ответе на четыре вопроса – эталонному уровню.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-6: способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности в результате выполнения заданий на практических занятиях.

Оценивается активность работы студента на практических занятиях, глубина ответов студента при устных опросах в процессе выполнения заданий к каждому практическому занятию.

Способность называть при устном ответе основные характеристики дальней линии пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, в дополнение к пороговому самостоятельно производить расчет параметров – соответствует продвинутому уровню; в дополнении к продвинутому дать рекомендации по улучшению параметров дальней линии – соответствует эталонному уровню.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-6: способностью рассчитывать режимы работы объектов профессиональной деятельности в результате выполнения контрольной работы.

Оценивается полнота и правильность выполнения 2-х заданий. Одно выполненное задание соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, два выполненных задания – продвинутому уровню; два выполненных задания с использованием дополнительной справочной информации и нормативных правовых актов – эталонному уровню.

Для оценки сформированности в рамках данной дисциплины компетенции ПК-7: готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике преподавателем оценивается содержательная сторона и качество материалов, приведенных в отчетах студента по лабораторным работам, практическим занятиям, контрольной работе. Учитываются также ответы студента на вопросы по соответствующим видам занятий при текущем контроле – устных опросах, защитах лабораторных работ, заданий по практическим занятиям.

Принимается во внимание владение обучающимися:

**знаниями:**

1. Теории передачи электроэнергии по линиям СВН.
2. Методики оптимизации режимов за счет целесообразного перепада напряжения по концам линии СВН.
3. Методики расчета потерь на корону в линии СВН.
4. Способов повышения пропускной способности линий электропередачи СВН.
5. Экологического влияния ЛЭП СВН на окружающую среду.

**умениями:**

1. Выполнять расчеты установившихся режимов протяженных линий СВН.
2. Выбирать шунтирующие реакторы для снижения напряжения и компенсации зарядной мощности линий СВН.

**навыками:**

расчета различными методами расчета режимов воздушных линий СВН, расчета потерь на корону, оптимизации режимов, повышения пропускной способности линий СВН.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-7: готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике в

процессе защиты лабораторных работ, как формы текущего контроля. На защите соответствующих лабораторных работ задается 4 вопроса из примерного перечня:

1. Поясните сущность метода эквивалентного четырехполюсника. Как с его помощью найти параметры режима в промежуточной точке сложной электропередачи?
2. Как найти собственное, взаимное и входное сопротивления сложной электропередачи?
3. Как определяются параметры круговых диаграмм линии при учете компенсирующих устройств?
4. Сопоставьте круговые диаграммы компенсированной и некомпенсированной линии и назовите возможные отличия.

Полный ответ на два вопроса соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, полный ответ на три вопроса – продвинутому уровню; при полном ответе на четыре вопроса – эталонному уровню.

Критерии оценивания уровня сформированности компетенции ПК-7: готовностью обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике в результате выполнения контрольной работы.

Оценивается полнота и правильность выполнения 2-х заданий. Одно выполненное задание соответствует пороговому уровню сформированности компетенции на данном этапе ее формирования, два выполненных задания – продвинутому уровню; два выполненных задания с использованием дополнительной справочной информации и нормативных правовых актов – эталонному уровню.

Сформированность уровня компетенции не ниже порогового является основанием для допуска обучающегося к промежуточной аттестации по данной дисциплине.

Формой промежуточной аттестации по данной дисциплине является экзамен, оцениваемый по принятой в НИУ «МЭИ» четырехбалльной системе: "отлично", "хорошо", "удовлетворительно", "неудовлетворительно".

Экзамен проводится в устной форме.

Критерии оценивания (в соответствии с инструктивным письмом НИУ МЭИ от 14 мая 2012 года № И-23):

Оценки «отлично» заслуживает студент, обнаруживший всестороннее, систематическое и глубокое знание материалов изученной дисциплины, умение свободно выполнять задания, предусмотренные программой, усвоивший основную и знакомый с дополнительной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; проявивший творческие способности в понимании, изложении и использовании материалов изученной дисциплины, безупречно ответившему не только на вопросы билета, но и на дополнительные вопросы в рамках рабочей программы дисциплины, правильно выполнившему практические задание

Оценки «хорошо» заслуживает студент, обнаруживший полное знание материала изученной дисциплины, успешно выполняющий предусмотренные задания, усвоивший основную литературу, рекомендованную рабочей программой дисциплины; показавшему систематический характер знаний по дисциплине, ответившему на все вопросы билета, правильно выполнившему практические задание, но допустившему при этом не принципиальные ошибки.

Оценки «удовлетворительно» заслуживает студент, обнаруживший знание материала изученной дисциплины в объеме, необходимом для дальнейшей учебы и предстоящей работы по профессии, справляющийся с выполнением заданий, знакомы с основной литературой, рекомендованной рабочей программой дисциплины; допустившим погрешность в ответе на теоретические вопросы и/или при выполнении практических заданий, но обладающий необходимыми знаниями для их устранения под руководством преподавателя, либо неправильно выполнившему практическое задание, но по указанию преподавателя выполнившим другие практические задания из того же раздела дисциплины.

Оценка «неудовлетворительно» выставляется студенту, обнаружившему серьезные проблемы в знаниях основного материала изученной дисциплины, допустившему принципиальные ошибки в выполнении заданий, не ответившему на все вопросы билета и дополнительные вопросы и неправильно выполнившему практическое задание (неправильное выполнение только практического задания не является однозначной причиной для выставления оценки «неудовлетворительно»). Как правило, оценка «неудовлетворительно» ставится студентам, которые не могут продолжить обучение по образовательной программе без дополнительных занятий по соответствующей дисциплине (формирования и развития компетенций, закреплённых за данной дисциплиной). Оценка «неудовлетворительно» выставляется также, если студент: после начала экзамена отказался его сдавать или нарушил правила сдачи экзамена (списывал, подсказывал, обманом пытался получить более высокую оценку и т.д.

В зачетную книжку студента и выписку к диплому выносится оценка экзамена по дисциплине за 8 семестр.

### **6.3 Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы**

Вопросы по формированию и развитию теоретических знаний, предусмотренных компетенциями, закреплёнными за дисциплиной (примерные вопросы по лекционному материалу дисциплины):

(перечень вопросов по лекционному материалу дисциплины)

5. Каковы области применения электропередач сверхвысокого напряжения?
6. Назовите основные особенности линий СВН.
7. Что такое пропускная способность электропередачи?
8. С какой целью на линиях СВН применяют растепленные провода?
9. Что такое блочная и связанная схемы электропередачи? Назовите их преимущества и недостатки.
10. Какими факторами определяется расстояние между фазами воздушной линии при горизонтальной подвеске проводов?
11. Как конструкция опоры воздушной линии СВН влияет на удельное погонное сопротивление и проводимость линии?
12. С какой целью на линиях СВН применяются расщепленные провода фаз?
13. Поясните факторы отрицательного воздействия коронирования проводов на линии СВН, связав их с физической сущностью короны.
14. Как связаны между собой радиус расщепления и радиус эквивалентного провода?
15. Как влияет изменение радиуса расщепления на удельные значения активной и индуктивной сопротивлений и емкостной проводимости линии?
16. Каким образом погода влияет на изменение условий коронирования и потери мощности к линии?
17. Как определяется оптимальная конструкция фазы?
18. Как влияет расщепление проводов фаз на потери активной мощности, на нагрев проводов и зарядную мощность линии?
19. Поясните влияние расщепления проводов на пропускную способность линии.
20. Поясните физический смысл корней характеристического уравнения при выводе уравнений длинной линии
21. Назовите волновые параметры линии и поясните их физический смысл
22. Чем отличаются волновые параметры реальной и идеализированной линий? В чем это проявляется?
23. Поясните физический смысл понятия «натуральная мощность линии» Зависит ли эта

- величина от эксплуатационного значения напряжения?
24. Каким образом частота сети влияет на волновые параметры линии?
  25. Какие допущения принимаются при анализе характеристик идеализированной линии? Обоснуйте эти допущения.
  26. Как изменяется наибольшая передаваемая мощность при изменении длины линии? Какие ограничения при этом учитываются?
  27. Как найти длину линии по зависимости  $Q_2 = f(\delta)$ ?
  28. Возможен ли режим натуральной мощности при  $\kappa > 1$ ?
  29. Каким образом перепад напряжений влияет на параметры круговых диаграмм линии?
  30. Как влияет значение перепада напряжений на реактивные мощности на концах линии при  $P > P_{нат}$  и  $P < P_{нат}$ ?
  31. Поясните распределение напряжения, тока и реактивной мощности для реальной и идеализированной линий при  $\kappa = 1$  и  $P_{нат}$ . Какие нежелательные явления возможны в этом режиме?
  32. Как влияет активное сопротивление проводов линии на распределение реактивной мощности в линии при  $P < P_{нат}$ ?
  33. В чем заключается влияние активного сопротивления проводов на распределение режимных параметров при  $P > P_{нат}$ ?
  34. Как выбрать напряжение по концам линии при  $P < P_{нат}$  и  $\kappa > 1$ ?
  35. Как изменяются параметры круговых диаграмм при увеличении длины линии до 1500 км?
  36. Каковы особенности режимов линий длиной свыше 1500 км?
  37. Какова пропускная способность линий длиной 3000 км?
  38. Охарактеризуйте режим в средней зоне линии длиной 3000 км.
  39. Чем различаются известные математические модели линии? Назовите области их применения.
  40. Назовите возможные способы определения параметров схем замещения линии.
  41. Какие физические свойства линии отражают элементы ее схем замещения?
  42. Что лежит в основе определения расчетных выражений поправочных коэффициентов для параметров П-схемы замещения?
  43. Назовите основное допущение в методе А.А. Горева. Возможно ли при использовании этого метода получение активной составляющей в поперечной проводимости П-схемы?
  44. Как изменяются параметры П-схемы замещения при изменении длины линии от нуля до 3000 км? Почему это происходит и к чему это приводит?
  45. Как учитываются в схеме замещения линии устройства, имеющие сосредоточенные параметры, при их последовательном и параллельном включении?
  46. Как найти собственное и взаимное сопротивления линии с реактором в промежуточной точке?
  47. Чему равны значения  $X_{п}$  и  $B_{п}$  для линий длиной 1500 км ( $P_0 = 0,06$  град/км)?
  48. Как определить параметры режима в промежуточной точке электропередачи, пользуясь П-схемами замещения?
  49. Поясните сущность метода эквивалентного четырехполюсника. Как с его помощью найти параметры режима в промежуточной точке сложной электропередачи?
  50. Как найти собственное, взаимное и входное сопротивления сложной электропередачи?
  51. Как определяются параметры круговых диаграмм линии при учете компенсирующих устройств?
  52. Сопоставьте круговые диаграммы компенсированной и некомпенсированной линии и назовите возможные отличия.

53. Как изменяются круговые диаграммы некомпенсированной линии при включении шунтирующего реактора в ее промежуточной точке и включении его на одном из концов линии? Как это отражается на пропускной способности линии?
54. Как изменяются перетоки реактивной мощности в линии и распределение напряжения по ней при включении шунтирующего реактора в промежуточной точке?
55. Какие две задачи возникают при включении шунтирующего реактора на линии? Опишите алгоритмы решения этих задач.
56. Как изменяются круговые диаграммы линии и ее пропускная способность при включении УИК в ее середине и при перемещении УПК на один из концов?
57. Опишите распределение напряжения и реактивной мощности при включении УПК на расстоянии  $0,25L$  от начала линии. Значения реактивной мощности начала и конца линии поясните с помощью круговых диаграмм,
58. Поясните, почему при включении УПК в середине идеализированной линии реактивные мощности начала и конца линии в режиме холостого хода ( $P = 0$ ) остаются такими же, как у некомпенсированной линии.
59. Если перенести точку включения шунтирующего реактора из середины линии в ее начало, пропускная способность линии возрастает до пропускной способности некомпенсированной линии. Если провести ту же операцию с УИК, то пропускная способность линии остается выше, чем у некомпенсированной, хотя и несколько снижается. В чем причина?
60. Какими схемами замещения и какой системой уравнений может быть представлена электропередача при расчете параметров режимов?
61. Какие исходные данные необходимы для расчета параметров режимов электропередачи?
62. Какие алгоритмы определения параметров режима используются при различных способах задания исходных данных?
63. Какие режимно–технические ограничения должны быть учтены при расчете параметров режима электропередачи?
64. Можно ли, используя метод эквивалентного четырехполюсника, определить параметры режима в промежуточных точках электропередачи?
65. В чем различие методик расчета мощности компенсирующих устройств на приемной подстанции системы при отсутствии и наличии на ней автотрансформаторов?
66. Какими факторами ограничивается потребление реактивной мощности синхронными машинами (генераторами и СК)?
67. Каковы основная задача и метод расчета режима электропередачи с одной промежуточной подстанцией без компенсирующих устройств?
68. В чем особенности расчета режимов электропередачи с различными номинальными напряжениями отдельных участков?
69. Как рассчитывается режим двухцепной электропередачи, на которой промежуточная подстанция включена только в одну цепь?
70. Как определяются напряжения на концах линии при передаче по ней мощности меньше натуральной и наличии перепада напряжений?
71. Назовите виды потерь активной мощности и энергии в протяженных электропередачах.
72. Каковы возможные пути минимизации потерь активной мощности и энергии в линиях СВН?
73. Как зависит мощность, соответствующая максимальному КПД линии, от ее длины?
74. Чем опасен режим одностороннего включения протяженных линий СВН?
75. При какой длине линии напряжение на отключенном конце может превышать допустимые значения?

76. Какие меры могут быть приняты для исключения повышения напряжения на отключенном конце линии при плановом и внезапном отключении одного из выключателей?
77. Проанализируйте режим одностороннего включения для случая, когда линия представлена П-схемой замещения.
78. В чем опасность режима одностороннего включения для синхронных машин?
79. Как сказывается включение реактора в начале или конце линии на значениях напряжения в конце линии и реактивной мощности в ее начале и на их распределении по линии?
80. Для каких целей может использоваться входное сопротивление линии в режиме одностороннего включения? Как определить эту величину для некомпенсированной и компенсированной линий?
81. Что такое самовозбуждение синхронных генераторов, каковы условия его возникновения?
82. Назовите мероприятия по предотвращению самовозбуждения синхронных генераторов.
83. Каковы задачи и алгоритм расчета режима при синхронизации генераторов удаленной электростанции на промежуточной подстанции электропередачи?
84. Каковы задачи и алгоритм расчета режима электропередачи с промежуточной подстанцией при синхронизации генераторов на шинах удаленной электростанции?
85. Что такое пропускная способность линий СВН, и какие ограничения учитываются при ее определении?
86. Какие пути могут быть использованы для повышения пропускной способности электропередач СВН?
87. Какие факторы определяют пропускную способность линии и электропередачи СВН?
88. Назовите причины, затрудняющие дальнейшее повышение номинального напряжения линий СВН.
89. Сопоставьте два метода распределенной емкостной компенсации: параллельный и последовательный. Какова их физическая сущность? За счет чего при их применении повышается пропускная способность линии?
90. Какому из методов распределенной емкостной компенсации Вы отдадите предпочтение и почему?
91. Какие устройства могут быть использованы для стабилизации напряжения в промежуточных точках линии и как определить их суммарную мощность?
92. С какой целью применяется разделение УПК и включение их в разных точках линии?
93. Почему на конденсаторах УПК повышается напряжение? Какие возможны меры борьбы и к чему они приводят?
94. Как выбирают число и схему включения конденсаторов УПК?

Вопросы по приобретению и развитие практических умений, предусмотренных компетенциями, закрепленными за дисциплиной (примеры вопросов к практическим занятиям, лабораторным работам)

(перечень вопросов к практическим занятиям, лабораторным работам по дисциплине)

1. По каким формулам рассчитываются погонные параметры воздушной линии?
2. Как можно рассчитать максимальную напряженность электрического поля на поверхности проводов средней фазы?
3. С какой целью на ВЛ сверхвысокого напряжения используется расщепление фаз?
4. Как влияет изменение геометрических размеров расщепленной фазы на максимальную напряженность на поверхности проводов ЛЭП?
5. Зачем требуется проверка сечений проводов ВЛ по условиям короны?

6. Для чего применяют расщепление проводов фаз ВЛ?
7. Какие меры применяют для уменьшения потерь на корону?
8. От каких параметров зависят потери мощности и энергии на корону?
9. Как определить напряженность электрического поля на поверхности одиночного провода?
10. Как определить емкости фаз при горизонтальном расположении фаз и двух заземленных грозозащитных тросах? Какова погрешность расчета?
11. Как определить среднегодовые потери мощности на корону используя обобщенные характеристики потерь на корону?
12. Как влияет нагрев проводов током нагрузки на величину потерь мощности на корону?
13. Как определяют радиус круговых диаграмм мощности и расположение их центров?
14. Как отсчитывается угол “ $\delta$ ” фазового сдвига напряжений круговых диаграмм?
15. Как, имея круговые диаграммы мощности начала и конца передачи и зная  $P_2$  и  $Q_2$ , определить  $P_1$ ,  $Q_1$  и  $\Delta P$  линии?
16. От чего зависит величина предельной активной мощности, которую можно передать по линии, и каким образом можно ее увеличить?
17. Как или каким элементом можно смоделировать реактор, используя расчетную модель электрической системы на переменном токе?
18. Как рассчитать сопротивление реактора, зная мощность реактора?
19. Как влияет установка реактора в середине линии на параметры режима электропередачи?
20. Как изменяются потоки реактивной мощности в линии СВН для трех характерных случаев передачи активной мощности:  $P=P_c$ ;  $P>P_c$ ;  $P<P_c$  ?
21. Как влияет установка реактора в середине линии СВН на потери активной мощности в линии?
22. Какие схемы замещения элементов электрической сети используются при составлении расчетной схемы для моделирования на статической модели переменного тока?
23. Как рассчитать параметры элементов расчетной схемы электропередачи?
24. Из каких соображений выбираются масштабы моделирования параметров на модели переменного тока?
25. Как меняется напряжение в линии СВН при изменении направления протекания реактивной мощности?
26. Чем опасно одностороннее включение линии СВН под напряжение?
27. Как меняются напряжение и ток вдоль линии СВН для трех характерных случаев передачи активной мощности:
28.  $P = P_c$  ;  $P > P_c$  ;  $P < P_c$  ?

Вопросы по закреплению теоретических знаний, умений и практических навыков, предусмотренных компетенциями (вопросы к экзамену)

1. Области применения электропередач СВН в электроэнергетических системах.
2. Возможные схемы выполнения линий электропередачи СВН.
3. Конструктивное исполнение фазы ВЛ СВН и её влияние на погонные сопротивления и проводимости ВЛ.
4. Корона на проводах ВЛ СВН и её влияние на параметры ВЛ СВН.
5. Влияние расщепления проводов на параметры ВЛ СВН.
6. Уравнения длинных линий. Удельные первичные и волновые параметры линий СВН переменного тока.
7. Уравнение идеализированной линии.
8. Натуральная мощность линии.
9. Предельная мощность линии СВН, её зависимость от длины линии.
10. Круговая диаграмма мощности ЛЭП СВН.
11. Перепад напряжения линии СВН и реактивные мощности.
12. Распределение  $U$ ,  $I$ ,  $Q$  по длине линии в различных режимах работы.

13. Схемы замещения и их параметры для линий электропередач СВН.
14. Поправочные коэффициенты для П-образной схемы замещения ВЛ СВН.
15. Определение параметров схем замещения линии СВН при наличии на линии компенсирующих устройств.
16. Собственные, взаимные и входные сопротивления линий СВН
17. Возможные схемы электропередач.
18. Основные уравнения и способы задания исходной информации для расчета режима линий СВН.
19. Расчет режима наибольших нагрузок линии СВН.
20. Расчет режима наименьших нагрузок линии СВН.
21. Расчет режима электропередач СВН с промежуточными подстанциями.
22. Электропередача с компенсирующими устройствами на промежуточной подстанции.
23. Средства обеспечения баланса реактивной мощности в узлах электропередачи.
24. Целесообразный перепад напряжений линии СВН, мощность компенсирующих устройств, оптимальность режима.
25. Режим одностороннего включения протяженной линии сверхвысокого напряжения.
26. Режим одностороннего включения линии без КУ.
27. Нагрузка генераторов в установившемся режиме холостого хода ЛЭП СВН.
28. Режимы одностороннего включения линии с шунтирующим реактором.
29. Самовозбуждение генераторов, работающих на протяженные воздушные линии СВН.
30. Упрощенное понятие о самовозбуждении генераторов электростанций.
31. Зоны (области) самовозбуждения генераторов электростанций.
32. Необходимое и достаточное условия самовозбуждения генераторов и меры его устранения.
33. Синхронизация генераторов, работающих на систему через ЛЭП СВН.
34. Пропускная способность ЛЭП СВН. Пути и способы её увеличения.
35. Основные вопросы проектирования ЛЭП СВН.
36. Выбор номинального напряжения и сечения проводов линии СВН при проектировании.
37. Учет фактора надежности при сравнении вариантов ЛЭП СВН. Расчет ущерба.

#### Тема расчетного задания:

Расчетное задание посвящено электрическим расчетам воздушных линий электропередач 330-750 кВ, которые связаны с промежуточной подстанцией. Сопоставляются варианты выполнения ЛЭП СВН, выбираются схемы и электрооборудование подстанций. Расчеты режимов наибольших и наименьших нагрузок выполняются с оптимизацией по затратам.

### **6.4 Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций**

Процедуры оценивания знаний, умений, навыков, характеризующих этапы формирования компетенций, изложены в методических рекомендациях по выполнению и защите лабораторных работ, выполнению расчетных заданий и заданий на самостоятельную работу, подготовке и проведению экзамена.

### **7. Перечень основной и дополнительной учебной литературы, необходимой для освоения дисциплины**

#### **а) основная литература**

1. Кузнецов, А.П. Теория электрических цепей : учебник / А.П. Кузнецов, М.П. Батура, А.П. Курулев ; под общ. ред. А.П. Курулев. - 2-е изд., испр. - Минск : Вышэйшая школа, 2007. - 608 с. : схем. - ISBN 978-985-06-1364-6 ; То же [Электронный ресурс]. - URL: <http://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=143539>

#### б) дополнительная литература

1. **Рыжов Ю.П.** Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения. М.: Издательский дом МЭИ, 2007., 486 с.
2. **Справочник** по проектированию электрических сетей. [Текст]. Под редакцией Д.Л. Файбисовича. -М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2012.-320с.
3. **Нормы** технологического проектирования подстанций переменного тока с высшим напряжением 35-750 кВ. Стандарт организации. [Текст]. ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.10.028-2009.-М. -43с.
4. **Нормы** технологического проектирования воздушных линий электропередачи напряжением 35-750 кВ. Стандарт организации. [Текст]. ОАО «ФСК ЕЭС» СТО 56947007-29.240.55.016-2008.-М. -42с.
5. **Методические** указания к лабораторным работам по учебной дисциплине «Дальние электропередачи сверхвысокого напряжения»/ Сост.: Дубровская Т.И., Ковженкин В.С., Певцова Л.С., Старощук Л.В., СФ МЭИ, 2006.

#### 8. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет» необходимых для освоения дисциплины

1. Электронные учебные материалы по электротехнике, МАНиГ [электронный ресурс]: <http://www.shat.ru>
2. Общая электротехника и электроника: электронный учебник, Мордовский государственный университет [электронный ресурс]: [http://toe.stf.mrsu.ru/demo\\_versia/](http://toe.stf.mrsu.ru/demo_versia/)
3. Тесты и контрольные вопросы по электротехнике и электронике, ДВГТУ [электронный ресурс]: [http://window.edu.ru/window/library?p\\_rid=45110](http://window.edu.ru/window/library?p_rid=45110)

#### 9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины

Дисциплина предусматривает лекции раз в неделю, практические занятия каждую неделю и лабораторные работы раз в две недели. Изучение курса завершается экзаменом.

Успешное изучение курса требует посещения лекций, активной работы на практических занятиях и лабораторных работах, выполнения всех учебных заданий преподавателя, ознакомления с основной и дополнительной литературой.

Во время **лекции** студент должен вести краткий конспект.

Работа с конспектом лекций предполагает просмотр конспекта в тот же день после занятий. При этом необходимо пометить материалы конспекта, которые вызывают затруднения для понимания. При этом обучающийся должен стараться найти ответы на затруднительные вопросы, используя рекомендуемую литературу. Если ему самостоятельно не удалось разобраться в материале, необходимо сформулировать вопросы и обратиться за помощью к преподавателю на консультации или ближайшей лекции.

Обучающемуся необходимо регулярно отводить время для повторения пройденного материала, проверяя свои знания, умения и навыки по контрольным вопросам.

**Практические занятия** составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Основная цель проведения практических занятий - формирование у студентов аналитического, творческого мышления путем приобретения практических навыков.

Методические указания к практическим (семинарским) занятиям по дисциплине наряду с рабочей программой и графиком учебного процесса относятся к методическим документам, определяющим уровень организации и качества образовательного процесса.

Содержание практических занятий фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

Важнейшей составляющей любой формы практических занятий являются упражнения (за-

дания). Основа в упражнении - пример, который разбирается с позиций теории, развитой в лекции. Как правило, основное внимание уделяется формированию конкретных умений, навыков, что и определяет содержание деятельности студентов - решение задач, графические работы, уточнение категорий и понятий науки, являющихся предпосылкой правильного мышления и речи.

Практические занятия выполняют следующие задачи:

стимулируют регулярное изучение рекомендуемой литературы, а также внимательное отношение к лекционному курсу;

закрепляют знания, полученные в процессе лекционного обучения и самостоятельной работы над литературой;

расширяют объём профессионально значимых знаний, умений, навыков;

позволяют проверить правильность ранее полученных знаний;

прививают навыки самостоятельного мышления, устного выступления;

способствуют свободному оперированию терминологией;

предоставляют преподавателю возможность систематически контролировать уровень самостоятельной работы студентов.

При подготовке к **практическим занятиям** необходимо просмотреть конспекты лекций и методические указания, рекомендованную литературу по данной теме; подготовиться к ответу на контрольные вопросы.

В ходе выполнения индивидуального задания практического занятия студент готовит отчет о работе (в программе MS Word или любом другом текстовом редакторе). В отчет заносятся результаты выполнения каждого пункта задания (схемы, диаграммы (графики), таблицы, расчеты, ответы на вопросы пунктов задания, выводы и т.п.). Примерный образец оформления отчета имеется у преподавателя (либо прилагается к настоящей программе).

За 10 мин до окончания занятия преподаватель проверяет объём выполненной на занятии работы и отмечает результат в рабочем журнале.

Оставшиеся невыполненными пункты задания практического занятия студент обязан доделать самостоятельно.

После проверки отчета преподаватель может проводить устный или письменный опрос студентов для контроля усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия (студенты должны знать смысл полученных ими результатов и ответы на контрольные вопросы). По результатам проверки отчета и опроса выставляется оценка за практическое занятие.

**Лабораторные работы** составляют важную часть профессиональной подготовки студентов. Они направлены на экспериментальное подтверждение теоретических положений и формирование учебных и профессиональных практических умений.

Выполнение студентами лабораторных работ направлено на:

обобщение, систематизацию, углубление, закрепление полученных теоретических знаний по конкретным темам дисциплин;

формирование необходимых профессиональных умений и навыков;

Дисциплины, по которым планируются лабораторные работы и их объемы, определяются рабочими учебными планами.

Методические указания по проведению лабораторных работ разрабатываются на срок действия РПД (ПП) и включают:

заглавие, в котором указывается вид работы (лабораторная), ее порядковый номер, объем в часах и наименование;

цель работы;

предмет и содержание работы;

оборудование, технические средства, инструмент;

порядок (последовательность) выполнения работы;

правила техники безопасности и охраны труда по данной работе (по необходимости);

общие правила к оформлению работы;  
контрольные вопросы и задания;  
список литературы (по необходимости).

Содержание лабораторных работ фиксируется в РПД в разделе 4 настоящей программы.

При планировании лабораторных работ следует учитывать, что наряду с ведущей целью - подтверждением теоретических положений - в ходе выполнения заданий у студентов формируются практические умения и навыки обращения с лабораторным оборудованием, аппаратурой и пр., которые могут составлять часть профессиональной практической подготовки, а также исследовательские умения (наблюдать, сравнивать, анализировать, устанавливать зависимости, делать выводы и обобщения, самостоятельно вести исследование, оформлять результаты).

Состав заданий для лабораторной работы должен быть спланирован с таким расчетом, чтобы за отведенное время они могли быть качественно выполнены большинством студентов.

Необходимыми структурными элементами лабораторной работы, помимо самостоятельной деятельности студентов, являются инструктаж, проводимый преподавателем, а также организация обсуждения итогов выполнения лабораторной работы.

Выполнению лабораторных работ предшествует проверка знаний студентов – их теоретической готовности к выполнению задания.

Порядок проведения **лабораторных работ** в целом совпадает с порядком проведения практических занятий. Помимо собственно выполнения работы для каждой лабораторной работы предусмотрена процедура защиты, в ходе которой преподаватель проводит устный или письменный опрос студентов для контроля понимания выполненных ими измерений, правильной интерпретации полученных результатов и усвоения ими основных теоретических и практических знаний по теме занятия.

При подготовке к **экзамену** в дополнение к изучению конспектов лекций, учебных пособий и слайдов, необходимо пользоваться учебной литературой, рекомендованной к настоящей программе. При подготовке к экзамену нужно изучить теорию: определения всех понятий и подходы к оцениванию до состояния понимания материала и самостоятельно решить по несколько типовых задач из каждой темы. При решении задач всегда необходимо уметь качественно интерпретировать итог решения.

**Самостоятельная работа студентов (СРС)** по дисциплине играет важную роль в ходе всего учебного процесса. Методические материалы и рекомендации для обеспечения СРС готовятся преподавателем и выдаются студенту.

## **10. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине, включая перечень программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

При проведении **лекционных** занятий предусматривается использование систем мультимедиа, компьютерных учебников, учебных баз данных, моделирования.

При проведении **лабораторных работ** предусматривается использование компьютерных учебников, учебных баз данных, моделирования, тестовых и контролирующих программ, гипертекстовых систем, программ деловых игр и т.п.

Перечень лицензионного программного обеспечения (указывается только то ПО, которое есть в ФГОС ВО по соответствующему направлению, либо необходимое для освоения дисциплины **из перечня имеющегося лицензионного ПО филиала МЭИ в г. Смоленске**).

## **11. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине**

**Лекционные занятия:**

Аудитория, оснащенная презентационной мультимедийной техникой (проектор, экран, компьютер/ноутбук).

**Практические занятия** по данной дисциплине проводятся в аудиториях, предоставленных диспетчерской института.

**Лабораторные работы** по данной дисциплине проводятся в лаб.№ А-120 «Электрические системы», оснащенной специализированными стендами.

Автор канд. техн. наук, доцент

Солопов Р.В.

И.о.зав.кафедрой ЭЭС к.т.н., доцент

Солопов Р.В.

Программа одобрена на заседании кафедры ЭЭС протокол №1 от 08.09.2016 года.

**ЛИСТ РЕГИСТРАЦИИ ИЗМЕНЕНИЙ**

Но- мер изме- не- ния	Номера страниц				Всего стра- ниц в доку- менте	Наименование и № документа, вводящего изменения	Подпись, Ф.И.О. внесшего измене- ния в данный эк- земпляр	Дата внесения из- менения в данный эк- земпляр	Дата введения из- менения
	изме- не- ных	заме- не- ных	но- вых	анну- лиро- ван- ных					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10