

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**  
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ  
**«БЕЛГОРОДСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ им. В.Г.ШУХОВА»**  
(БГТУ им. В. Г. Шухова)

СОГЛАСОВАНО  
Директор института  
магистратуры

к.э.н., доцент  Космачева И. В.

« \_\_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2021 г.



УТВЕРЖДАЮ

Директор института энергетики,  
информационных технологий и  
управляющих систем

к.т.н., доцент  А. В. Белоусов  
« 20 » \_\_\_\_\_ 2021 г.



**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА**

**ДИСЦИПЛИНЫ**

**ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

направление подготовки

13.04.02 Электроэнергетика и электротехника

профиль подготовки

Электроэнергетические системы и сети

Квалификация

магистр

Форма обучения

очная

**Институт энергетики, информационных технологий и управляющих систем  
Кафедра электроэнергетики и автоматики**

Белгород – 2021

Рабочая программа составлена на основании требований:

- Федерального государственного образовательного стандарта высшего образования – Магистратура по направлению подготовки 13.04.02, утвержденного приказом Минобрнауки России от 28 февраля 2018г. №147;
- плана учебного процесса БГТУ им. В. Г. Шухова, введенного в действие в 2021 году.

Составитель: канд. техн. наук, доцент  О. И. Кирилина

Рабочая программа обсуждена на заседании кафедры электроэнергетики и автоматике

« 15 » мая 2021 г., протокол № 11

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  А. В. Белоусов

Рабочая программа согласована с выпускающей кафедрой электроэнергетики и автоматике

Заведующий кафедрой: канд. техн. наук, доцент  А. В. Белоусов

« 15 » мая 2021 г.

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики, информационных технологий и управляющих систем

« 20 » мая 2021 г., протокол № 9

Председатель: канд. техн. наук, доцент  А. Н. Семернин

## 1. ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ ПО ДИСЦИПЛИНЕ

Категория (группа) компетенций	Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции	Наименование показателя оценивания результата обучения по дисциплине
Профессиональная Проектная	ПКВ-1. Способен разрабатывать концепции систем электроснабжения и электроэнергетических сетей	ПКВ-1.1. Способность формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства	<p><b>Знания</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- физических основ и особенностей возникновения электромагнитных помех различных типов, основных механизмов передачи помех на окружающие технические устройства и системы;</li> <li>- значений опасных напряженностей электромагнитных помех для биологических объектов;</li> <li>- основных видов и источников электромагнитных помех;</li> <li>- последствия влияния электромагнитных полей на живые организмы;</li> <li>- основные типы помехоподавляющих устройств и их характеристики;</li> <li>- методов расчета характеристик помехоподавляющих устройств;</li> <li>- основных нормативно-правовых документов по определению показателей качества электрической энергии, по допустимым уровням напряженностей электромагнитных полей для населения и персонала;</li> <li>- требования к электромагнитной совместимости технических средств;</li> <li>- средств защиты от электромагнитных помех;</li> <li>- типы молниезащитных устройств и особенности их применения;</li> </ul> <p><b>Умения</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- пользоваться методами расчета электромагнитного поля в зависимости от условий конкретной задачи проектирования или анализа режима системы;</li> <li>- использовать измерительные устройства для определения электромагнитной обстановки.</li> <li>- выполнять расчет параметров помех различных типов, применять, эксплуатировать и производить выбор устройств защиты от помех; формировать законченное представление о принятых решениях и полученных результатах в виде научно - технического отчета с публичной защитой</li> </ul> <p><b>Навыки</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- расчета напряженностей электромагнитных полей;</li> <li>- навыками применения нормативно-правовой документации в области электромагнитной совместимости на практике;</li> <li>- навыками расчёта характеристик помехоподавляющих фильтров;</li> <li>- навыками расчета молниезащитных устройств.</li> </ul>

## 2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЫ

**1. Компетенция ПКВ-1.** Способен разрабатывать концепции систем электроснабжения и электроэнергетических сетей

Данная компетенция формируется следующими дисциплинами

Стадия	Наименования дисциплины
1	Схемотехника
2	Системы автоматизированного проектирования объектов электроэнергетики
3	Электромагнитная совместимость в электроэнергетических системах
4	Провалы и перенапряжения в электрических сетях
5	Производственная проектная практика
6	Производственная преддипломная практика
7	Теория оптимизации
8	Расчет режимов электроэнергетических систем
9	Оперативно-диспетчерское управление в энергетических системах
10	Производственная научно-исследовательская работа
11	Теория надежности
12	Энергосберегающие технологии в электроэнергетических системах
13	Основы оперативного обслуживания электроустановок электроэнергетических систем
14	Учебная практика по получению первичных навыков работы с программным обеспечением применительно к области (сфере) профессиональной деятельности

## 3. ОБЪЕМ ДИСЦИПЛИНЫ

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 зач. единиц, 180 часов.

Форма промежуточной аттестации экзамен (4 семестр)

Вид учебной работы	Всего часов	Семестр № 4
Общая трудоемкость дисциплины, час	180	180
<b>Контактная работа (аудиторные занятия), в т.ч.:</b>	<b>72</b>	<b>72</b>
лекции	33	33
лабораторные	11	11
практические	22	22
групповые консультации в период теоретического обучения и промежуточной аттестации	5	5
<b>Самостоятельная работа студентов, включая индивидуальные и групповые консультации, в том числе:</b>	<b>108</b>	<b>108</b>
Курсовой проект	–	–
Курсовая работа	–	–
Расчетно-графическое задание	18	18
Индивидуальное домашнее задание		
Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям (лекции, практические занятия, лабораторные занятия)	54	54
Экзамен	36	36

## 4. СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 4.1 Наименование тем, их содержание и объем

#### Курс 2 Семестр 4

№ п/п	Наименование раздела (краткое содержание)	Объем на тематический раздел по видам учебной нагрузки, час			
		Лекции	Практические занятия	Лабораторные занятия	Самостоятельная работа
<b>1. Основы теории электромагнитной совместимости в электроэнергетике</b>					
1.1	Основные термины и определения. Классификация источников электромагнитного поля. Природные источники электромагнитного поля. Антропогенные источники электромагнитного поля. Источники электромагнитного поля диапазона до 3 кГц. Источники электромагнитного поля диапазона 3 кГц – 300 МГц	2	–	–	6
<b>2. Электромагнитная совместимость в энергосистеме</b>					
2.1	Электромагнитная совместимость в электротехнических и энергетических системах. Влияние высших гармоник на работу электрооборудования. Требования к ЭМС оборудования. Улучшение электромагнитной совместимости в автономных электроэнергетических системах ограниченной мощности методом активной фильтрации напряжения	2	2	4	10
2.2	Ограничители перенапряжений – важнейший элемент обеспечения электромагнитной совместимости	2	2	–	4
<b>3. Влияние электромагнитных полей. Нормирование электромагнитных полей и защита от электромагнитных излучений</b>					
3.1	Влияние электромагнитных полей на организм человека	2	–	–	4
3.2	Нормирование электромагнитных полей. Способы нормирования прерывистых воздействий	2	–	–	4
3.3	Защита от электромагнитных излучений. Виды защитных средств и материалы, применяемые для них. Активное экранирование. Аппаратура для контроля электромагнитных полей	2	3		4
<b>4. Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики</b>					
4.1	Особенности электромагнитной обстановки на различных объектах. Помехи при коротких замыканиях на землю в сетях с эффективно заземленной нейтралью. Импульсные помехи при коммутационных операциях выключателями и разъединителями. Импульсные помехи при работе электромеханических устройств. Протекание значительных токов по заземляющему устройству в нормальном режиме работы объекта. Низкочастотные магнитные поля при нормальной работе силового электрооборудования	4	4		4

4.2	Оценка эксплуатационного состояния заземляющего устройства, включая заземление средств грозозащиты. Определение трасс растекания токов при грозовом разряде и коротком замыкании.	5	–	–	4
<b>5. Определение электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики</b>					
5.1	Основные этапы проведения работ по определению электромагнитной обстановки. Воздействие на кабели систем релейной защиты и технологического управления токов и напряжений промышленной частоты. Импульсные помехи при ударах молнии. Электромагнитные поля радиочастотного диапазона. Помехи, связанные с возмущениями в цепях питания низкого напряжения. Импульсные магнитные поля	6	–	–	4
5.2	Элементы систем электроснабжения. Вращающиеся машины. Статическое оборудование. Устройства релейной защиты в энергосистемах. Оборудование потребителей	2	–		4
5.3	Системы контроля и управления на энергетических и промышленных предприятиях. Электромагнитная совместимость электропривода с питающей сетью. Снижение уровня промышленных радиопомех	2	–	–	4
<b>6. Качество электрической энергии</b>					
6.1	Нормы качества электрической энергии. Основные показатели, определяющие качество электроэнергии. Отклонение напряжения. Колебание напряжения. Измерение фликера и гармонических составляющих тока. Несинусоидальность формы кривой напряжения и тока.	2	–	18	20
<b>ВСЕГО:</b>		<b>33</b>	<b>11</b>	<b>22</b>	<b>72</b>

#### 4.2. Содержание практических (семинарских) занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема практического (семинарского) занятия	К-во часов	К-во часов СРС
1	Электромагнитная совместимость в энергосистеме	Расчет параметров ограничителей перенапряжений для обеспечения электромагнитной совместимости в СЭС	2	4
		Расчет фильтрокомпенсирующих устройств для обеспечения электромагнитной совместимости в СЭС	2	
2	Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики	Протекание токов по элементам заземляющего устройства в сетях с изолированной нейтралью в нормальном и аварийном режимах работы объекта. Растекание токов в земле	4	4

3	Влияние электромагнитных полей. Нормирование электромагнитных полей и защита от электромагнитных излучений	Изучение средств контроля электромагнитных полей и методов работы с ними	3	3
ИТОГО:			11	11

**Практическое занятие 1.** Выбрать силовые фильтры для установки в сети 10 кВ. дефицит реактивной мощности, который должны покрыть конденсаторы фильтров, составляет 6500 квар. Максимальная мощность короткого замыкания на шинах 10 кВ  $S_{кз} = 380$  МВА. Расчетные токи гармоник  $I_5 = 52$  А;  $I_7 = 36$  А;  $I_{11} = 90$  А;  $I_{13} = 74,6$  А.

Принимаем к установке 4 фильтра, настроенные на частоты соответственно 5; 7; 11 и 13-й гармоник. Выбираем предварительно мощности батарей фильтров соответствующих гармоник

Мощность батарей фильтров 5-й гармоники

$$Q_5 = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 52 \cdot 10 = 1230 \text{ квар}$$

Коэффициент загрузки фильтра по току 5-й гармоники

$$k'_{5} = \frac{1230}{380} = 0,32 \cdot 10^{-2}$$

Мощность батарей фильтров 7-й гармоники

$$Q_7 = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 36 \cdot 10 = 800 \text{ квар}$$

Коэффициент загрузки фильтра по току

$$k'_{7} = \frac{800}{380} = 0,21 \cdot 10^{-2};$$

Мощность батарей фильтров 11-й гармоники

$$Q_{11} = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 90 \cdot 10 = 2000 \text{ квар}$$

Коэффициент загрузки фильтра по току

$$k'_{11} = \frac{2000}{380} = 0,525 \cdot 10^{-2};$$

Мощность батарей фильтров 13-й гармоники

$$Q_{13} = \sqrt{3} \cdot 1,3 \cdot 74,6 \cdot 10 = 1670 \text{ квар}$$

Коэффициент загрузки фильтра по току

$$k'_{13} = \frac{1670}{380} = 0,44 \cdot 10^{-2};$$

Для фильтров 5-й и 7-й гпрмоник допустимо  $k'_{5,7} \geq 0,45 \cdot 10^{-2}$ , поэтому мощности соответствующих батарей должны быть увеличены.

С учетом потребной величины реактивной мощности для фильтрации 5-й гармоники принимаем следующую большую мощность батарей конденсаторов  $Q_5 = 1680$  квар и тогда

$$k'_{5} = \frac{1680}{380} = 0,44 \cdot 10^{-2};$$

Для фильтрации 7-й гармоники также принимаем большую, чем расчетная, мощность БК  $Q_7 = 1920$  квар и тогда

$$k'_{7} = \frac{1920}{380} = 0,4 \cdot 10^{-2};$$

Для остальных гармоник

$$Q_{11} = 2400 \text{ квар} \Rightarrow k'_{11} = \frac{2400}{380} = 0,63 \cdot 10^{-2};$$

$$Q_{13} = 2400 \text{ квар}, \Rightarrow k'_{13} = \frac{2400}{380} = 0,63 \cdot 10^{-2};$$

Принятые мощности батарей конденсаторов несколько больше выдаваемых величин, следовательно, определяем суммарную мощность, выдаваемую БК при напряжении, равном 10,5 кВ

$$Q'_{\phi} = 1394,4 + 1576,8 + 1848 + 1836 = 6594,$$

Эта величина больше требуемой, равной 6500 квар.

Проверяем правильность выбора напряжения конденсаторов фильтров по 5-й гармонике. Номинальное напряжение конденсаторов 6,6 кВ при напряжении на шинах 10,5 кВ, тогда с учетом коэффициентов эффективности фильтра по емкости и напряжению имеем

$$\alpha_c k_u = 1,045 \frac{10,5}{\sqrt{3} \cdot 6,6} = 0,961 < 1,$$

Следовательно, напряжения конденсаторов выбрано правильно.

**Практическое занятие 2.** Выбрать ограничители перенапряжения на шинах 110 кВ главной понизительной подстанции

Для защиты нейтрали трансформаторов напряжения класса 110кВ предусматривают ограничители перенапряжений нелинейные (ОПН), которые обеспечивают глубокий уровень ограничения грозовых перенапряжений, трансформированных со стороны обмотки высшего напряжения. Значительно снижают уровень воздействия внутренних перенапряжений, обусловленных работой коммутационной аппаратуры, снижают интенсивность процессов электрического старения изоляции электрооборудования.

Для защиты изоляции от перенапряжения подстанционного оборудования устанавливаем ОПН марки ОПН/TEL-110/84-550 УХЛ1 производства компании "Таврида Электрик" со следующими техническими характеристиками:

$$U_{НОМ} = 110 \text{ кВ}, U_{МАХ РАБ. СЕТИ} = 145 \text{ кВ}, I_{МАКС.КЗ.} = 30 \text{ кА}.$$

Основные характеристики ОПН/TEL:

Нелинейные ограничители перенапряжения предназначены для использования в качестве основных средств защиты электрооборудования станций и сетей среднего и высокого классов напряжения от коммутационных и грозовых перенапряжений. Предназначены для эксплуатации на высоте над уровнем моря до 1000 м при температуре окружающей среды от минус 60 °С до плюс 55 °С в условиях наружной и внутренней установки (УХЛ1 и УХЛ2 по ГОСТ 15150).

ОПН/TEL обладают дополнительным набором привлекательных характеристик благодаря применению металлооксидных резисторов с нестареющими характеристиками в сочетании с применением уникальной технологии сборки в полимерный корпус:

- ◆ необслуживаемость на протяжении всего срока службы
- ◆ неограниченный коммутационный ресурс
- ◆ глубокий уровень ограничения перенапряжений
- ◆ широкий номенклатурный ряд напряжений
- ◆ стабильность нестареющих характеристик
- ◆ взрывобезопасность и сейсмостойкость
- ◆ высокая надёжность в эксплуатации
- ◆ стойкость к атмосферным загрязнениям
- ◆ удобство встраивания в распределительные устройства
- ◆ малый вес и габариты

При эксплуатации ОПН/TEL не требуется применение счётчиков срабатывания, вследствие неограниченного коммутационного ресурса.

### 4.3. Содержание лабораторных занятий

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Тема лабораторного занятия	К-во часов	Самостоятельная работа на подготовку к аудиторным занятиям <sup>1</sup>
семестр № 4				
1	Электромагнитная совместимость в энергосистеме	Компенсация высших гармоник тока с помощью фильтрокомпенсирующего устройства	4	4
	Качество электрической энергии	Измерение параметров и показателей качества электрической энергии в трехфазной сети. Методика определения и расчета показателей качества электроэнергии с помощью приборов С.А.6115N, АСМ-3192 и «Энергомонитор 3.3Т1»	6	6
		Измерение параметров и показателей качества электрической энергии в однофазной сети. Влияние отклонения напряжения на светотехнические характеристики	4	4
		Исследование неполнофазных режимов в распределительных сетях	4	4
		Регулирование напряжения с помощью продольно-емкостной компенсации. Конденсаторные батареи для регулирования напряжения	4	4
ИТОГО:			22	22

### 4.4. Содержание расчетно-графического задания

Решение задач расчетно-графического задания направлено на приобретение навыков расчета показателей качества электроэнергии и разработку мероприятий по нормализации

**Задача 1.** За 15 мин зарегистрировано 20 размахов амплитудой 3 %, 30 размахов амплитудой 2 % и 80 размахов амплитудой 1 %. Определить допустимость таких изменений напряжения:

- для сети, питающей лампы накаливания в производственной установке, характеризующейся значительным напряжением глаз работающих;
- для сети, питающей люминесцентные лампы.

**Задача 2.** Генераторы ЭЭС, имеющие предельную допустимую мощность загрузки  $P_{г\text{ пред}}$ , МВт, работают с выдачей мощности  $P_0$ , МВт и при начальной номинальной частоте  $f_0 = f_{ном} = 50$  Гц. Определить частоту в ЭЭС после подключения дополнительной нагрузки  $\Delta P$ , МВт. Статизм характеристики генераторов  $s_{г} = 0,067$ , нагрузки —  $s_{н} = 1$ .

<sup>1</sup> Количество часов самостоятельной работы для подготовки к лабораторным занятиям

**Задача 3.** В энергосистеме с генераторами  $8 \times 200 + 4 \times 100 + 2 \times 50$  МВт генераторы выдавали мощность  $P_0 = 2000$  МВт при номинальной частоте  $f_0 = f_{ном} = 50$  Гц. Определить частоту в системе после аварийного отключения блока  $\Delta P_G = 200$  МВт, если статизм характеристики нагрузки равен единице.

..

#### 4.5. Содержание курсовой работы

Курсовая работа учебным планом не предусмотрена

### 5. ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕКУЩЕГО КОНТРОЛЯ, ПРОМЕЖУТОЧНОЙ АТТЕСТАЦИИ

#### 5.1. Реализация компетенций

##### 1 Компетенции:

ПКВ-1. Способен разрабатывать концепции систем электроснабжения и электроэнергетических сетей

Наименование индикатора достижения компетенции	Используемые средства оценивания
ПКВ-1.1. Способность формулировать технические задания, разрабатывать и использовать средства автоматизации при проектировании и технологической подготовке производства	Экзамен, выполнение заданий в рамках проведения практических и лабораторных занятий; тестирование по основным темам дисциплины; собеседования и консультации при выполнении расчетно-графической работы; защита лабораторных работ

## 5.2. Типовые контрольные задания для аттестации

Аттестация осуществляется в конце 4 семестра, после завершения изучения дисциплины в форме экзамена

### Вопросы для подготовки к экзамену

№ п/п	Наименование раздела дисциплины	Содержание вопросов (типовых заданий)
1	<b>Основы теории электромагнитной совместимости в электроэнергетике</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Внутренние помехи.</li><li>2. Внешние помехи.</li><li>3. Полезные сигналы и помехи в электрических устройствах.</li><li>4. Помехи естественного и искусственного происхождения.</li><li>5. Источники кондуктивных помех и пути распространения кондуктивных помех. Источники электромагнитных помех.</li><li>6. Молния - источник электромагнитных помех.</li><li>7. Разряды статического электричества - источник внешних помех.</li><li>8. Высотные ядерные взрывы - источник внешних помех.</li><li>9. Линии электропередачи- источники электромагнитных воздействий</li><li>10. Электромагнитные помехи, вызванные магнитным полем земли</li><li>11. Механизмы связи источников и приемников электромагнитных помех. Связь через общее полное сопротивление.</li><li>12. Основные мероприятия, направленные на снижение влияния гальванической помехи.</li><li>13. Связь источников и приемников электромагнитных помех через электрическое поле.</li><li>14. Основные мероприятия, направленные на снижение емкостной помехи.</li><li>15. Связь источников и приемников электромагнитных помех через магнитное поле.</li><li>16. Основные мероприятия, направленные на снижение индуктивной помехи</li><li>17. Электромагнитное влияние, как механизм передачи помех.</li></ol>
2	<b>Электромагнитная совместимость в энергосистеме</b>	<ol style="list-style-type: none"><li>1. Влияние медленных изменений (отклонений) напряжения на работу электроприёмников.</li><li>2. Влияние несинусоидальности напряжений и токов на приборы учета.</li><li>3. Влияние отклонения частоты на работу электроприёмников.</li><li>4. Влияние колебаний напряжения и фликера на работу электроприёмников.</li><li>5. Влияние несинусоидальности напряжения на работу электроприёмников.</li><li>6. Влияние несимметрии напряжений на работу электроприёмников.</li><li>7. Провалы и прерывания напряжения.</li><li>8. Причины возникновения отклонения частоты в электроэнергетических системах.</li><li>9. Причины возникновения несимметрии трёхфазной системы напряжений в электрических сетях.</li><li>10. Причины возникновения несинусоидальности напряжений.</li></ol>

		<p>11. Электротехнический и технологический ущербы от ухудшения качества электроэнергии.</p> <p>12. Источники искажения качества электроэнергии</p> <p>Современные измерительные приборы качества электроэнергии.</p>
	<p><b>Влияние электромагнитных полей.</b></p> <p><b>Нормирование электромагнитных полей и защита от электромагнитных излучений</b></p>	<p>1. Зонная концепция затухания электромагнитных процессов в экранах зданий.</p> <p>2. Выравнивание потенциалов внутри одной защитной зоны.</p> <p>3. Выравнивание потенциалов в нескольких защитных зонах</p> <p>4. Соединение защитных зон с проводящими экранами.</p> <p>5. Устойчивость электронных приборов и систем к электромагнитным помехам.</p> <p>6. Нормирование безопасных для человека напряженностей электрических и магнитных полей</p> <p>7. Механизм воздействия электрических и магнитных полей на живые организмы</p> <p>8. Механизмы воздействия электрических и магнитных полей на живые организмы</p> <p>9. Нормирование условий работы персонала</p> <p>10. Основные понятия и определения</p>
	<p><b>Электромагнитная обстановка на объектах электроэнергетики</b></p>	<p>1. Определение сечения проводников молниеприемников, токоотводов</p> <p>2. Расчет зон защит молниеотводов</p> <p>3. Конструкции молниезащиты заземлителей для зданий разных групп.</p> <p>4. Вертикальные и горизонтальные заземлители. Сопротивления одиночного вертикального заземлителя, горизонтального заземлителя.</p> <p>5. Правила выполнения заземления и прокладки кабелей. Сопротивление заземляющего контура.</p> <p>6. Ограничение уровней гармоник напряжений и токов.</p>
	<p><b>Определение электромагнитной обстановки на объектах электроэнергетики</b></p>	<p>7. Назначение и принцип действия фильтров.</p> <p>8. Работа пьезоэлектрических фильтров</p> <p>9. Магнестрикционные фильтры</p> <p>10. Ограничение помех и перенапряжений разрядниками</p> <p>11. ОПН, выполненные на варисторах.</p> <p>12. ОПН, выполненные на лавинных диодах</p> <p>13. Многоступенчатая защита от перенапряжений.</p> <p>14. Экранирование. Принцип действия экрана.</p> <p>15. Эффективность экранирования при разных значениях частоты поля, электропроводности и магнитной проницаемости материала экрана, конфигурации и размеров экрана.</p> <p>16. Состав работ по определению ЭМО на объектах.</p> <p>17. Воздействие на кабели систем релейной защиты и технологического управления токов и напряжений промышленной частоты</p> <p>18. Импульсные помехи при ударах молнии.</p> <p>19. Помехи, связанные с возмущениями в цепях питания низкого напряжения.</p>
	<p><b>Качество электрической энергии</b></p>	<p>1. Понятие качества электрической энергии. Сущность проблемы качества электроснабжения.</p> <p>2. Основные определения качества электроэнергии по ГОСТ 32144-3013.</p>

		<ol style="list-style-type: none"> <li>3. Показатели качества электроэнергии.</li> <li>4. Нормирование отклонений и колебаний напряжения.</li> <li>5. Нормирование несинусоидальности и несимметрии напряжения.</li> <li>6. Нормирование электромагнитных помех.</li> <li>7. Причины снижения качества электроэнергии.</li> <li>8. Методы расчета отклонений напряжения.</li> <li>9. Методы определения колебаний напряжения.</li> <li>10. Методы определения несинусоидальности напряжения.</li> <li>11. Методы определения несимметрии напряжения</li> <li>12. Устройство средства измерений показателей качества электроэнергии.</li> <li>13. Алгоритмы измерений и метрологические характеристики средств измерений показателей качества электроэнергии.</li> <li>14. Устройство фликерметра и алгоритмы измерения фликера.</li> <li>15. Характеристика измерительных трансформаторов напряжения и тока.</li> <li>16. Обработка результатов измерения и погрешности оценки значений показателей качества электроэнергии.</li> <li>17. Мониторинг как инструмент в задачах управления качеством электроэнергии.</li> <li>18. Выбор пунктов контроля показателей качества электроэнергии. Мероприятия по обеспечению качества электроэнергии.</li> <li>19. Средства регулирования напряжения.</li> <li>20. Конденсаторные батареи для регулирования напряжения.</li> <li>21. Компенсация высших гармоник тока.</li> <li>22. Особенности управления фильтрокомпенсирующими устройствами.</li> <li>23. Компенсация колебаний напряжения.</li> <li>24. Современные средства обеспечения качества электроэнергии.</li> <li>25. Основные принципы построения системы контроля, анализа и управления качеством электроэнергии</li> </ol>

### 5.3. Перечень типовых вопросов для практических занятий

1. Принцип работы и конструктивные особенности выполнения ОПН
2. ОПН, выполненные на варисторах
3. ОПН, выполненные на лавинных диодах
4. Многоступенчатая защита от перенапряжений.
5. Влияние гармоник на системы электроснабжения.
6. Влияние гармоник на измерение мощности и энергии.
7. Ограничение уровней гармоник напряжений и токов.
8. Методы и способы подавления помех в электрических сетях.
9. Как построить пассивный сетевой фильтр высших гармоник?
10. Демпфированные сетевые фильтры высших гармоник и особенности их применения.
11. Что влияет на качество электроэнергии в точке присоединения потребителя?
12. Что характеризует качество электроэнергии, являясь составляющей ЭМС?
13. Как формируется электромагнитная среда в системах электроснабжения?

14. Каковы взаимодействия электромагнитной среды и электрооборудования в СЭС?
15. Что происходит при агрессивном характере взаимодействия электромагнитной среды и электрооборудования в СЭС?
16. Что происходит при сбалансированном характере взаимодействия электромагнитной среды и электрооборудования в СЭС?
17. Что называется показателями качества электроэнергии?
18. Какой нормативный документ устанавливает номенклатуру и значения ПКЭ?
19. Какие ПКЭ регламентируются в качестве основных и дополнительных показателей режима СЭС?
20. Какими особенностями характеризуется фликер, доза фликера и время восприятия фликера?
21. Что такое провал напряжения и длительность провала напряжения?
22. Как характеризуется импульс напряжения?
23. Как определяется коэффициент временного перенапряжения?
24. Что такое частота повторения изменений напряжения?
25. Какими факторами определяется частота появления провалов напряжения?

#### **5.4. Описание критериев оценивания компетенций и шкалы оценивания**

При промежуточной аттестации в форме экзамена (4 семестр) используется следующая шкала оценивания: 2 – неудовлетворительно, 3 – удовлетворительно, 4 – хорошо, 5 – отлично.

Оценка преподавателем выставляется интегрально с учётом всех показателей и критериев оценивания

При промежуточной аттестации в форме экзамена:

Оценка сформированности компетенций по показателю *Знания*.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Знание терминов, определений, понятий	<p>Не знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– термины и определения, основные требования нормативно-правовых документов по определению показателей качества электрической энергии, по допустимым уровням напряженностей электромагнитных полей для населения и персонала;</li> <li>– требования к электромагнитной совместимости технических средств;</li> <li>– средств защиты от электромагнитных помех</li> </ul>	<p>Знает термины и определения, основные требования нормативно-правовых документов по определению показателей качества электрической энергии, по допустимым уровням напряженностей электромагнитных полей для населения и персонала;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования к электромагнитной совместимости технических средств;</li> <li>– средств защиты от электромагнитных помех, но допускает неточности формулировок</li> </ul>	<p>Знает технические термины и определения, основные требования нормативно-правовых документов по определению показателей качества электрической энергии, по допустимым уровням напряженностей электромагнитных полей для населения и персонала;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования к электромагнитной совместимости технических средств;</li> <li>– средств защиты от электромагнитных помех</li> </ul>	<p>Знает технические термины и определения основные требования нормативно-правовых документов по определению показателей качества электрической энергии, по допустимым уровням напряженностей электромагнитных полей для населения и персонала;</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– требования к электромагнитной совместимости технических средств;</li> <li>– средств защиты от электромагнитных помех и может корректно сформулировать их самостоятельно</li> </ul>
Знание основных закономерностей, соотношений, принципов	<p>Не знает:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физических основ и особенностей возникновения электромагнитных помех различных типов, основных механизмов передачи помех на окружающие технические устройства и системы</li> <li>– значений опасных напряженностей</li> </ul>	<p>Знает, но допускает неточности при формулировке:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физических основ и особенностей возникновения электромагнитных помех различных типов, основных механизмов передачи помех на окружающие технические устройства и системы</li> </ul>	<p>Знает и способен интерпретировать основы:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физических особенностей возникновения электромагнитных помех различных типов, основных механизмов передачи помех на окружающие технические устройства и системы</li> <li>– значений опасных</li> </ul>	<p>Знает и способен самостоятельно объяснить применение:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>– физических основ и особенностей возникновения электромагнитных помех различных типов, основных механизмов передачи помех на окружающие технические устройства и системы</li> </ul>

	<p>электромагнитных помех для биологических объектов;</p> <p>– основных видов и источников электромагнитных помех;</p> <p>– последствия влияния электромагнитных полей на живые организмы;</p> <p>– основные типы помехоподавляющих устройств и их характеристики;</p> <p>– методов расчета характеристик помехоподавляющих устройств</p>	<p>– значений опасных напряженностей электромагнитных помех для биологических объектов;</p> <p>– основных видов и источников электромагнитных помех;</p> <p>– последствия влияния электромагнитных полей на живые организмы;</p> <p>– основные типы помехоподавляющих устройств и их характеристики;</p> <p>– методов расчета характеристик помехоподавляющих устройств</p>	<p>напряженностей электромагнитных помех для биологических объектов;</p> <p>– основных видов и источников электромагнитных помех;</p> <p>– последствия влияния электромагнитных полей на живые организмы;</p> <p>– основные типы помехоподавляющих устройств и их характеристики;</p> <p>– методов расчета характеристик помехоподавляющих устройств</p>	<p>– значений опасных напряженностей электромагнитных помех для биологических объектов;</p> <p>– основных видов и источников электромагнитных помех;</p> <p>– последствия влияния электромагнитных полей на живые организмы;</p> <p>– основные типы помехоподавляющих устройств и их характеристики;</p> <p>– методов расчета характеристик помехоподавляющих устройств</p>
--	---	---	--	---

Объем освоенного материала	Не знает значительной части материала дисциплины	Имеет поверхностные знания основного материала дисциплины, не усвоив его детали	Знает материал дисциплины в полном объеме	Обладает твердыми и полными знаниями материала дисциплины, владеет дополнительными знаниями
Полнота ответов на вопросы	Не дает ответы на большинство задаваемых вопросов	Дает неполные ответы на большинство вопросов	Дает полные ответы на большую часть заданных вопросов	Дает полные, развернутые ответы на все поставленные вопросы
Четкость изложения и интерпретации знаний	Излагает знания без логической последовательности	Излагает знания с нарушениями в логической последовательности	Излагает знания без нарушений в логической последовательности	Излагает знания в логической последовательности, самостоятельно их интерпретируя и анализируя
	Не иллюстрирует изложение поясняющими формулами, графиками, рисунками и примерами	Выполняет поясняющие формулы, графики и рисунки небрежно и с ошибками	Выполняет поясняющие формулы, рисунки и схемы корректно и правильно	Выполняет поясняющие рисунки и схемы точно и аккуратно, раскрывая полноту усвоенных знаний
	Не излагает или неверно излагает и интерпретирует знания	Допускает неточности в изложении и интерпретации знаний	Грамотно и по существу излагает знания	Грамотно и точно излагает знания, делает самостоятельные выводы

### Оценка сформированности компетенций по показателю Умения.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Полнота ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы на вопросы экз. билета даны не верно	Ответы даны не в полном объеме	Ответы на вопросы билета раскрыты полностью	Ответы выполнены полностью, рациональным способом
Качество ответа на вопросы экзаменационного билета	Имеются существенные ошибки при ответе на вопросы билета	Ответы выполнены с существенными неточностями, не носящими принципиальный характер	Ответы выполнены с небольшими неточностями	Ответы выполнены без ошибок
Самостоятельность подготовки ответа на вопросы экзаменационного билета	Не может подготовить ответы, в том числе и с дополнительной помощью	Может выполнить задание только с дополнительной помощью	Выполняет задание в основном самостоятельно	Самостоятельно выполняет задание
Умение сравнивать, сопоставлять и обобщать и делать выводы	Не умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делать выводы при ответе на вопросы билета	Допускает ошибки при сопоставлении, обобщении и при формулировании выводов на заданные вопросы	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, но допускает небольшие неточности при формулировании выводов	Умеет сравнивать, сопоставлять и обобщать, а также делает верные выводы на задаваемые вопросы
Качество оформления ответа на вопросы экзаменационного билета	Ответы оформлено настолько неряшливо, что не поддаются проверке	Ответы оформлены неаккуратно, отсутствуют необходимые пояснения в виде графиков, схем и формул	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями	Ответы оформлены аккуратно, с необходимыми пояснениями и ссылками на используемые источники

Правильность применения теоретического материала	При объяснении теоретического материала допускаются грубые ошибки в технических терминах	Объясняя теоретический материал, допускает ошибки, не носящие принципиальный характер	Теоретический материал применен и интерпретирован в целом правильно, но с несущественными неточностями	Теоретический материал применен и интерпретирован правильно
--	--	---	--	---

### Оценка сформированности компетенций по показателю *Навыки*.

Критерий	Уровень освоения и оценка			
	2	3	4	5
Выбор методики формирования ответов на вопросы билета	Неверно выбрана методика подготовки ответов	Методика формирования ответов выбрана в целом верно, но имеются незначительные неточности при описании расчетных зависимостей и графического материала	Методика выполнения ответов выбрана верно, но имеются недочеты, не относящиеся к основным расчетным зависимостям и графическому материалу	Выбрана верная или наиболее рациональная методика формирования ответов с применением графического и аналитического методов
Анализ результатов решения задачи	Не произведен анализ результатов решения задачи	Анализ результатов, полученных при решении задачи, выполняется только при помощи преподавателя	Допускаются незначительные неточности в ходе анализа результатов решения задачи	Произведен анализ результатов решения задачи и сделаны исчерпывающие выводы
Обоснование полученных результатов	Представляемые результаты не обоснованы	Имеются замечания к полученным результатам, отсутствует в достаточной степени их обоснование	Представляемые результаты обоснованы и в целом аргументированы, имеются ссылки на учебно-методическую литературу	Представляемые результаты обоснованы, четко аргументированы с указанием ссылок на нормативные, справочные и учебно-методические источники

## 6. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ И УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

### 1.1. Материально-техническое обеспечение

№	Наименование специальных помещений и помещений для самостоятельной работы	Оснащенность специальных помещений и помещений для самостоятельной работы
1	Учебная аудитория для проведения лекционных занятий	<p>Лекционные занятия проводятся в аудитории 223 мех. корпуса. Аудитория оснащена презентационной техникой. Курс лекций обеспечивается комплектом электронных презентаций. В качестве материально-технического обеспечения дисциплины используются мультимедийные средства, ноутбук</p>
2	Учебная аудитория для проведения лабораторных занятий	<p>Курс лабораторных занятий обеспечивается стендами-макетами, позволяющими моделировать физические процессы в электрической сети.</p> <p>Лабораторные занятия проводятся в лабораториях - аудитории 216, 223 и 424, которая оснащена презентационной техникой (проектор Acer Projector P1165) и персональными компьютерами (Intel Core i3-8100 CPU 3.60 ГГц/ Gigabyte Z370 HD3/ RAM 8192 Мб/ HDD 1 Тб/ NVIDIA GeForce GTX 750/ AOC 23,8"/ ASUS DRW-24D5MT/ Wi-Fi/ LAN100Mb/ CyberPower BS850E), подключенными к локальной сети университета с доступом в интернет, а также на полигоне высоковольтного оборудования.</p> <p>Комплект учебных лабораторных стендов ГалСен КЭЭСЭСТ1М-С-К и ТЭМР2-ПМП-С включают в себя: однофазный источник питания; активная нагрузка; модель линии электропередачи; устройство продольной емкостной компенсации; емкостная нагрузка; индуктивная нагрузка; блок диодов; трехфазная трансформаторная группа; коммутатор измерителя мощностей; фильтрокомпенсирующее устройство; трансформатор тока; трансформатор напряжения; лабораторный стол с двухсекционным контейнером и трехуровневой рамой; ноутбук; преобразователь интерфейсов USB/RS-232; измеритель показателей качества электроэнергии; трехфазный источник питания; набор аксессуаров для комплекта КЭЭСЭСТ1М-С-К. Измерения показателей качества производится с помощью переносных приборов С.А.6115N, АСМ-3192 и «Энергомонитор 3.3Т1»</p>
3	Учебная аудитория для проведения практических занятий, лабораторных работ, консультаций, текущего контроля, промежуточной аттестации	<p>Практические занятия – специализированный компьютерный класс М424, оснащенный презентационной техникой (проектор Acer Projector P1165) и персональными компьютерами (Intel Core i3-8100 CPU 3.60 ГГц/ Gigabyte Z370 HD3/ RAM 8192 Мб/ HDD 1 Тб/ NVIDIA GeForce GTX 750/ LOC 23,8"/ ASUS DRW-24D5MT/ Wi-Fi/ LAN100Mb/ CyberPower BS850E), подключенными к</p>

		локальной сети университета с доступом в интернет
4	Читальный зал библиотеки для самостоятельной работы	Для самостоятельной работы студентов предусмотрен компьютерный класс, оснащенный компьютерной техникой с возможностью подключения к сети «Интернет», обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду университета, а также участием в программах Microsoft Office 365 для образования (студенческий) (№ дог. E04002C51M) с возможностью бесплатной загрузки программного обеспечения Microsoft.

## 6. Перечень учебных изданий и учебно-методических материалов

### 6.1. Перечень основной литературы

1. Управление качеством электроэнергии [Текст]: учеб. пособие: рек. УМО/ И.И. Карташев, В.Н. Тульский, Р.Г. Шамонов и др.; под ред. Ю.В. Шарова. М.: Изд-ий дом МЭИ, 2006. - 320 с.

2. Виноградов А.А. Анализ показателей качества в системах электроснабжения [Текст]: учеб.пособие / А.А. Виноградов, О.Г. Гриб, О.Н. Довголюк и др. – Белгород, БГТУ им. В.Г. Шухова, 2012. - 270 с.

3. Качество электроснабжения промышленных потребителей: учеб. пособие [Текст] / Б.В. Лукутин, И.О. Муравлев, А.И. Муравлев; Томский политехнический университет. - Томск : Изд-во Томского политехнического университета, 2014. - 89 с. - Режим доступа: [http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab/kach\\_ee.pdf](http://portal.tpu.ru:7777/departments/kafedra/espp/literatura/Tab/kach_ee.pdf) .

4. Дитер, Л. Исследование реакции организма живого человека на воздействие электромагнитного поля радиотелефона. В кн.: Материалы I-й Российской конф. «Проблемы электромагнитной безопасности человека. Фундаментальные и прикладные исследования» / Дитер Людвиг, В.В. Князев, Е.Л. Яковенко, – М. : 1996. – 64 с.

5. ГОСТ Р 50008-92. Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотным электромагнитным полям в полосе 26...1000 МГц. Технические требования и методы испытаний. – М. : Госстандарт России, 1993  
ГОСТ 32144 – 2013. Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения. – М. : Госстандарт России, 2013.

### 5.1. Перечень дополнительной литературы

1. Куликова, Л. В. Основы электромагнитной совместимости : учебник : [16+] / Л. В. Куликова, О. К. Никольский, А. А. Сошников. – Изд. 4-е, стер. – Москва ; Берлин : Директ-Медиа, 2020. – 405 с. : ил., табл. – Режим доступа: по подписке. – URL: <https://biblioclub.ru/index.php?page=book&id=600138> – Библиогр. в кн. –

ISBN 978-5-4499-1175-9. – DOI 10.23681/600138. – Текст : электронный.

2. Овсянников А.Г. Электромагнитная совместимость в электроэнергетике : учебник / Овсянников А.Г., Борисов Р.К.. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2017. — 194 с. — ISBN 978-5-7782-3367-6. — Текст : электронный // IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/91745.html>. — Режим доступа: для авторизир. Пользователей

3. Сапрыка А.В. Повышение энергоэффективности осветительных комплексов с учетом качества электрической энергии [Электронный ресурс]. - Х.: ХНАГХ, 2009. - 126 с. <http://os.x-pdf.ru/20raznoe/107967-1-av-saprika-povishenie-energoeffektivnosti-osvetitelnih-kompleksov.php>.

4. 3. Васильченко В.И. Контроль и учет электроэнергии в современных системах электроснабжения / В.И. Васильченко, А.А. Виноградов, О.Г. Гриб и др.: Учеб. пособие. – Белгород, БГТУ им. В.Г.Шухова, 2011. – 242с.

## 6.2. Перечень интернет ресурсов

1. Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Часть 1 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035338>. – Заглавие с экрана.

2. Методические указания по определению устойчивости энергосистем. Часть 2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200035339>. – Заглавие с экрана.

3. <http://www.forca.ru> – Электрические сети, оборудование электроустановок

4. <http://www.twirpx.com> – служба, обеспечивающая с помощью специализированного аппаратно-программного обеспечения хранение, накопление, передачу и обработку материалов Пользователей, представленной в электронном виде в публичный доступ. Интернет-библиотека, в которой собраны электронные учебники, справочные и учебные пособия. Удобный поиск по ключевым словам, отдельным темам и отраслям знания