

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»

УТВЕРЖДАЮ

Директор ИИЦЭ

 Матвеев А.С.

« 26 » июль 2020 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ
ПРИЕМ 2019 г.
ФОРМА ОБУЧЕНИЯ очная

Автоматическое управление режимами работы электроэнергетических систем

Направление подготовки/ специальность	13.04.02 Электроэнергетика и электротехника		
Образовательная программа (направленность (профиль))	Управление режимами электроэнергетических систем		
Специализация	Управление режимами электроэнергетических систем		
Уровень образования	высшее образование - магистратура		
Курс	1	семестр	2
Трудоемкость в кредитах (зачетных единицах)	3		
Виды учебной деятельности	Временной ресурс		
Контактная (аудиторная) работа, ч	Лекции	24	
	Практические занятия	-	
	Лабораторные занятия	40	
	ВСЕГО	64	
Самостоятельная работа, ч		44	
ИТОГО, ч		108	

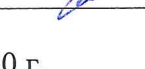
Вид промежуточной
аттестации

Экзамен

Обеспечивающее
подразделение

ОЭЭ

И.о. заведующего кафедрой -
руководителя ОЭЭ
на правах кафедры
Руководитель ООП
Преподаватель

	Ивашутенко А.С.
	Прохоров А.В.
	Вайнштейн Р.А.

2020 г.

1. Цели освоения дисциплины

Целями освоения дисциплины является формирование у обучающихся определенного ООП (п. 5.4 Общей характеристики ООП) состава компетенций для подготовки к профессиональной деятельности.

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
ПК(У)-2	Способен анализировать и прогнозировать условия работы отдельных компонентов электроэнергетической системы, их взаимное влияние и совокупное воздействие, оказываемое на состояние и показатели работы системы в целом	И.ПК(У)-2.1	Анализирует зависимости между параметрами и характеристиками компонентов энергосистемы, параметрами режима, показателями работы и характером протекания переходных процессов в электроэнергетической системе	ПК(У)-2.131	Знает: конструктивные особенности и технические характеристики линий электропередачи, генерирующего и электросетевого оборудования
				ПК(У)-2.1У1	Умеет: анализировать влияние конструктивных параметров и технических характеристик линий электропередачи, генерирующего и электросетевого оборудования на параметры режима, показатели работы и характер протекания переходных процессов в электроэнергетической системе
				ПК(У)-2.1В1	Владеет: методами оценки потерь мощности, определения предельных уровней напряжения, значений перетоков мощности, углов электропередачи, отклонений частоты, уровней токов нагрузочных режимов и коротких замыканий, в том числе определения их допустимой длительности
				ПК(У)-2.1У3	Умеет: анализировать влияние характеристик технологического

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
					оборудования электростанций на их маневренность, время пуска и останова, участие в процессах регулирования частоты и перетоков мощности в энергосистеме
		И.ПК(У)-2.3	Анализирует устойчивость и надежность электроэнергетических режимов энергосистемы	ПК(У)-2.3У2	Умеет: контролировать и оценивать значения режимных параметров, их соответствие техническим требованиями по эксплуатации энергосистем
				ПК(У)-2.3У4	Умеет: оценивать достаточность действий режимной автоматики и оперативного управления для поддержания допустимых значений параметров электроэнергетического режима
ПК(У)-3	Способен разрабатывать мероприятия и принимать решения по управлению электроэнергетическим режимом работы энергосистемы	И.ПК(У)-3.3	Принимает решения об изменении параметров настройки режимной, противоаварийной и сетевой автоматики с целью обеспечения требований к технологическому функционированию электроэнергетических систем	ПК(У)-3.3В1	Владеет: методиками определения мест приложения и объемов управляющих воздействий противоаварийной и режимной автоматики
				ПК(У)-3.3У1	Умеет: определять места приложения и объем управляющих воздействий противоаварийной и режимной автоматики, оценивать их эффективность
				ПК(У)-3.3В2	Владеет: методиками выбора настроек устройств релейной защиты и автоматики
				ПК(У)-3.3З2	Знает: порядок управления

Код компетенции	Наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенций		Составляющие результатов освоения (дескрипторы компетенции)	
		Код индикатора	Наименование индикатора достижения	Код	Наименование
					электроэнергетическим режимом работы энергосистемы с использованием режимной автоматики
				ПК(У)-3.333	Знает: нормы участия генерирующего оборудования в регулировании частоты и перетоков активной мощности

2. Место дисциплины (модуля) в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части Блока 1 учебного плана образовательной программы.

3. Планируемые результаты обучения по дисциплине

После успешного освоения дисциплины будут сформированы результаты обучения:

Планируемые результаты обучения по дисциплине		Индикатор достижения компетенции
Код	Наименование	
РД1	Анализировать участие отдельных агрегатов и электростанций в регулировании частоты и перетоков активной мощности	И.ПК(У)-2.1
РД2	Оценивать правильность и достаточность действий режимной автоматики для поддержания допустимых и/или заданных значений параметров электроэнергетического режима	И.ПК(У)-2.3
РД3	Определять настройки режимной автоматики для обеспечения требований к технологическому функционированию энергосистем	И.ПК(У)-3.3

Оценочные мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации представлены в календарном рейтинг-плане дисциплины.

4. Структура и содержание дисциплины

Основные виды учебной деятельности

Разделы дисциплины	Формируемый результат обучения по дисциплине	Виды учебной деятельности	Объем времени, ч.
Раздел (модуль) 1. Управление режимом ЭЭС по напряжения и реактивной мощности	РД2, РД3	Лекции	8
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	14
		Самостоятельная работа	16
Раздел (модуль) 2. Управление режимом работы ЭЭС по частоте и активной мощности	РД1, РД2, РД3	Лекции	16
		Практические занятия	-
		Лабораторные занятия	26
		Самостоятельная работа	28

Содержание разделов дисциплины:

Раздел 1. Управление режимом ЭЭС по напряжения и реактивной мощности

Связь режимных параметров энергосистемы с балансом активной и реактивной мощности. Условия существования устойчивых режимов по частоте и напряжению. Требования к уровням напряжения в системообразующих и распределительных сетях. Методы и технические средства регулирования напряжения в системообразующих сетях. Методы и технические средства регулирования напряжения в системообразующих сетях область их применения и сравнительная оценка.

Темы лекций:

1. Зависимость вырабатываемой и потребляемой активной и реактивной мощности от частоты и напряжения (статические характеристики) – основа возможности существования устойчивых режимов по частоте и напряжению. Баланс активных и реактивных мощностей в энергосистеме.
2. Соотношения, необходимые для рассмотрения вопросов регулирования напряжения. Элементы энергосистемы – потребители реактивной мощности. Естественные источники реактивной мощности (поперечная емкостная проводимость линий). Технические средства для управления режимом по напряжению и реактивной мощности.
3. Регулирование напряжения в системообразующих сетях. Режим работы высоковольтных линий по реактивной мощности в зависимости от загрузки по активной мощности. Режим натуральной активной мощности линии электропередачи. Технические средства для выработки или поглощения реактивной мощности при изменении режима работы электропередачи.
4. Регулирование напряжения в распределительных электрических сетях. Методы регулирования напряжения. Регулирование напряжения в центре питания: поддержание напряжения в центре питания, встречное регулирование напряжения.
5. Индивидуальное (местное) регулирование напряжения: изменение коэффициента трансформации на понизительных подстанциях и его влияние на режим элементов сети в зависимости от наличия или отсутствия резерва реактивной мощности в питающей системе, изменение потока реактивной мощности в отдельных участках сети путем установки источников реактивной мощности у потребителей (батареи статических конденсаторов, синхронные компенсаторы, синхронные двигатели), компенсация реактивного сопротивления участков сети.

Названия лабораторных работ:

1. Изучение методов регулирования напряжения в распределительных сетях. Влияния статических характеристик мощности нагрузки по напряжению на режим электрической сети. Влияние местного регулирования в отдельных узлах на режим работы района сети.
2. Взаимосвязь между заданными ограничениями по току возбуждения генераторов и их режимом по реактивной мощности.
3. Изучение влияния режимов работы высоковольтных линий системообразующей сети на напряжения в узлах сети. Выбор мощности и мест подключения шунтирующих реакторов.

Раздел 2. Управление режимом работы ЭЭС по частоте и активной мощности

Теоретические основы процессов изменения частоты и перетоков активной мощности при возникновении небаланса мощности. Регуляторы частоты вращения турбин. Механизм управления турбиной. Статические характеристики турбин, снабженных автоматическими регуляторами частоты вращения.

Современный организационно-технический регламент по регулированию частоты и активной мощности. Первичное, вторичное и третичное регулирование. Общее и нормированное первичное регулирование. Резервы первичного и вторичного регулирования.

Темы лекций:

1. Понятие синхронной зоны ЭЭС. Общие требования к регулированию частоты и активной мощности. Причины, из-за которых требуется высокая точность поддержания частоты. Уравнение общего синхронного движения параллельно работающих агрегатов ЭЭС.
2. Общий принцип выполнения автоматических регуляторов частоты вращения турбин. Основные элементы регулятора. Механизм управления турбиной. Статические характеристики нерегулируемых турбин и турбин, снабженных автоматическими регуляторами частоты вращения.
3. Результирующая частотная характеристика генерирующей части электроэнергетической системы. Основные факторы, от которых зависит коэффициент крутизны генерирующей части энергосистемы. Статическая частотная характеристика активной мощности энергосистемы по частоте с учетом реакции генерирующей части и нагрузки. Коэффициент крутизны частотной характеристики энергосистемы. Базисные величины, принимаемые при определении коэффициента крутизны частотной характеристики энергосистемы.
4. Первичное регулирование. Общие требования. Общее и нормированное первичное регулирование частоты. Требования к генерирующему оборудованию электростанций, участвующих в общем регулировании частоты. Требования к электростанциям, участвующих в нормированном первичном регулировании частоты. Мертвая полоса по частоте в характеристике регулирования энергоблока. Определение необходимого резерва первичного нормированного регулирования частоты.
5. Вторичное регулирование частоты и мощности. Общие требования к вторичному регулированию частоты. Понятие режима плановой нагрузки электростанций и внеплановой. Задачи, решаемые комплексом АРЧМ (регулирование обменных перетоков с коррекцией по отклонению частоты, автоматическое ограничение перетоков, автоматическое регулирование частоты).
6. Принципы выполнения централизованной системы АРЧМ для задачи регулирования обменных перетоков с коррекцией по частоте. Понятие района

- регулирования. Принцип определения необходимого резерва вторичного регулирования.
7. Третичное регулирование в комплексе АРЧМ. Назначение третичного регулирования. Размещение резервов первичного, вторичного и третичного регулирования на электростанциях. Коррекция синхронного времени.
 8. Управление режимом работы генераторов по активной и реактивной мощности на тепловых и гидравлических электростанциях.

Названия лабораторных работ:

1. Определение установившегося значения частоты при возникновении небаланса активной мощности в энергосистеме.
2. Определение коэффициента крутизны частотной характеристики частей энергосистемы при задании в составе нагрузок асинхронных двигателей на основе активного расчетного эксперимента.
3. Изучение процесса регулирования сальдо перетоков и частоты в энергосистеме, состоящей из трех районов регулирования.
4. Изучение влияния параметров регуляторов частоты вращения и параметров турбин на переходный процесс изменения частоты и мощности при возникновении небаланса активной мощности.
5. Изучение участия отдельных агрегатов и электростанций в первичном регулировании частоты в зависимости от соотношения их статических и динамических характеристик.

5. Организация самостоятельной работы студентов

Самостоятельная работа студентов при изучении дисциплины (модуля) предусмотрена в следующих видах и формах:

- Работа с лекционным материалом;
- Подготовка к лабораторным работам;
- Подготовка к оценивающим мероприятиям.

6. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

6.1. Учебно-методическое обеспечение

Основная литература:

1. Основы противоаварийной автоматики в электроэнергетических системах : учебное пособие / Р. А. Вайнштейн [и др.]. — Томск; Чебоксары: Изд-во РИЦ СРЗАУ, 2015. — 180 с. 39 экз.
2. Лыкин, А. В. Электрические системы и сети : учебник [Электронный ресурс] / А. В. Лыкин. — Новосибирск : НГТУ, 2017. — 363 с. — Текст: электронный // Лань: электронно-библиотечная система. — URL: <https://e.lanbook.com/book/118089> (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
3. Вайнштейн, Р. А. Автоматическое управление электроэнергетическими системами в нормальных и аварийных режимах учебное пособие:/ Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, И.М. Кац ; Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИН), Кафедра электроэнергетических систем (ЭЭС) . — Томск : Изд-во ТПУ, 2013, Ч. 1 . — 1 компьютерный файл (pdf; 1.5 MB). — 2013. — URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/m317.pdf> (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.
4. Вайнштейн, Р. А. Автоматическое управление электроэнергетическими системами в нормальных и аварийных режимах учебное пособие:/ Р.А. Вайнштейн, В.В. Шестакова, И.М. Кац ; Национальный исследовательский Томский политехнический

университет (ТПУ), Энергетический институт (ЭНИИ), Кафедра электроэнергетических систем (ЭЭС) . — Томск : Изд-во ТПУ, 2013, Ч. 2 . — 1 компьютерный файл (pdf; 1.4 MB). — 2013. — URL: <http://www.lib.tpu.ru/fulltext2/m/2013/m318.pdf> (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: из корпоративной сети ТПУ.

Дополнительная литература:

1. Национальный стандарт Российской Федерации ГОСТ Р 55890-2013 «Единая энергетическая система и изолированно работающие энергосистемы. Оперативно-диспетчерское управление. Регулирование частоты и перетоков активной мощности. Нормы и требования», утв. Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 05 декабря 2013 г. № 2164-ст. — URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107605> (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. — Текст: электронный.
2. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» СТО 59012820.27.100.003-2012 «Регулирование частоты и перетоков активной мощности в ЕЭС России. Нормы и требования», введен в действие Приказом ОАО «СО ЕЭС» от 05.12.2012 №475. - URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200107605> (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. — Текст: электронный.
3. Стандарт АО «СО ЕЭС» «Нормы участия парогазовых и газотурбинных установок в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности». СТО 59012820.27.100.004-2016. Утвержден и введен в действие 13.09.2016. - URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_nprch_pgu_09_2016.pdf (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. — Текст: электронный.
4. Стандарт АО «СО ЕЭС» «Релейная защита и автоматика. Автоматическое противоаварийное управление режимами энергосистем. Микропроцессорные устройства автоматической частотной разгрузки. Нормы и требования». СТО 59012820.29.020.003-2016. Введен в действие 16.08.2016. В редакции от 05.04.2019. - URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_rza_alar16082016.pdf (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. — Текст: электронный.
5. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» «Нормы участия генерирующего оборудования тепловых электростанций с поперечными связями в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности». СТО 59012820.27.100.001-2016. Введен в действие 08.02.2016. - URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_frequency_2016_tpp_cross.pdf (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. — Текст: электронный.
6. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» «Нормы участия гидроагрегатов гидравлических и гидроаккумулирующих электростанций в нормированном первичном регулировании частоты». СТО 59012820.27.140.001-2014. Введен в действие 30.01.2014. - URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_hydro_nprch_2014.pdf (дата обращения: 05.06.2019). — Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. — Текст: электронный.
7. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» «Нормы участия энергоблоков атомных станций в нормированном первичном регулировании частоты». СТО 59012820.27.120.20.004-

2013. Введен в действие 19.08.2013. - URL: http://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_npp_nprch_004_2013.pdf (дата обращения: 05.06.2019). – Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. – Текст: электронный.

8. Стандарт ОАО «СО ЕЭС» Нормы участия энергоблоков тепловых электростанций в нормированном первичном регулировании частоты и автоматическом вторичном регулировании частоты и перетоков активной мощности. СТО 59012820.27.100.002-2013. Введен в действие 25.04.2013. - http://so-ups.ru/fileadmin/files/laws/standards/sto_002-2013_freq_regulation.pdf (дата обращения: 05.06.2019). – Режим доступа: свободный доступ из сети Интернет. – Текст: электронный.

6.2. Информационное и программное обеспечение

Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):

1. Сайт АО «СО ЕЭС», Технологические основы деятельности. Стандарты, правила, нормы и требования. URL: <http://so-ups.ru/?id=1090>
2. Профессиональные базы данных и информационно-справочные системы доступны по ссылке: <https://www.lib.tpu.ru/html/irs-and-pdb>
3. Полнотекстовые и реферативные базы данных для студентов и сотрудников ТПУ: <https://www.lib.tpu.ru/html/full-text-db>

Лицензионное программное обеспечение (в соответствии с **Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ**):

1. Microsoft Office 2007 Standard Russian Academic
2. Document Foundation Libre Office
3. RastrWin3 Student

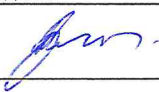
7. Особые требования к материально-техническому обеспечению дисциплины

В учебном процессе используется следующее лабораторное оборудование для практических и лабораторных занятий:

№	Наименование специальных помещений	Наименование оборудования
1.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7 249	Компьютер - 19 шт., Экран Limien Master Control «ЛМС-100114» - 1 шт. Видеостена - 1 шт., проектор – 1 шт. Доска аудиторная настенная - 1 шт., шкаф для документов - 1 шт., полка - 2 шт., комплект учебной мебели на 15 посадочных мест
2.	Аудитория для проведения учебных занятий всех типов, курсового проектирования, консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (компьютерный класс) 634034, Томская область, г. Томск, Усова улица, 7 221	Компьютер – 20 шт., видеопроектор - 1 шт., звуковая система - 1 шт. Доска аудиторная настенная - 1 шт., тумба подкатная - 3 шт., комплект учебной мебели на 15 посадочных мест.

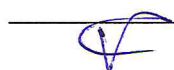
Рабочая программа составлена на основе Общей характеристики основной образовательной программы по направлению 13.04.02 Электроэнергетика и электротехника, специализация «Управление режимами электроэнергетических систем» (приема 2019 г., очная форма обучения).

Разработчик(и):

Должность	Подпись	ФИО
Профессор-консультант ОЭЭ ИШЭ		Вайнштейн Р.А.

Программа одобрена на заседании Отделения электроэнергетики и электротехники (протокол от «27» июня 2019 г. № 6).

И.о. заведующего кафедрой - руководителя ОЭЭ
на правах кафедры, к. т. н, доцент

 А.С. Ивашутенко

Лист изменений рабочей программы дисциплины:

Учебный год	Содержание /изменение	Обсуждено на заседании Отделения электроэнергетики и электротехники (протокол)
2020/2021	1. Обновлено программное обеспечение 2. Обновлен состав профессиональных баз данных и информационно-справочных систем 3. Обновлено содержание разделов дисциплины	протокол от «25» июня 2020 г. № 6