

УТВЕРЖДАЮ  
Директор ЭНИН  
Завьялов В.М.  
«26» 02 2016 г.

**БАЗОВАЯ РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ  
ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПЕРЕХОДНЫЕ ПРОЦЕССЫ В  
ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

Направление ООП: 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника  
Профиль подготовки: "Электроэнергетические системы и сети"  
Квалификация (степень) бакалавр  
Базовый учебный план приема 2016 г.  
Курс 4 семестр 7  
Количество кредитов 6  
Код дисциплины Б1.ВМ5.2.2

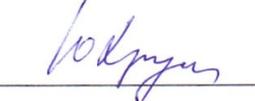
Виды учебной деятельности	Временной ресурс по очной форме обучения
Лекции, ч	40
Практические занятия, ч	48
Лабораторные занятия, ч	24
Аудиторные занятия, ч	*104
Самостоятельная работа, ч	112
ИТОГО, ч	216

Вид промежуточной аттестации экзамен

Обеспечивающее подразделение: кафедра электрических сетей и электротехники

Заведующий кафедрой  к.т.н. Прохоров А.В.

Руководитель ООП  к.т.н., доцент Тютеева П.В.

Преподаватель  д.т.н., профессор Хрущев Ю.В.

2016 г.

## 1. Цели освоения дисциплины

Основными целями дисциплины являются: формирование знаний по электромеханическим переходным процессам в электроэнергетических системах, по критериям и методам расчёта устойчивости параллельной работы электрических машин, умений построения математических моделей, проведения расчётов и анализа процессов, происходящих в нормальных и аварийных схемно-режимных состояниях электроэнергетических систем.

В результате освоения дисциплины обеспечивается достижение целей ЦОП1, ЦОП2, ЦОП3 основной образовательной программы 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника. Приобретенные знания, умения и навыки позволят подготовить выпускника к:

ЦОП1: обладать **общенаучными и инженерными** знаниями, **практическими навыками** и универсальными компетенциями, **гарантирующими** высокое **качество** их подготовки к профессиональной деятельности в области расчета и анализа устойчивости электроэнергетических систем.

ЦОП2: работать в **приоритетных** направлениях развития *электроэнергетики и электротехники*, проявлять высокий **профессионализм** в решении *комплексных инженерных проблем* в области исследования устойчивости электроэнергетических систем.

ЦОП3: станут **гармонично развитыми личностями, лидерами** в командной работе, готовыми действовать и **побеждать в условиях конкурентной среды**.

## 2. Место дисциплины в структуре ООП

Дисциплина относится к вариативной части вариативного междисциплинарного профессионального модуля «Электроэнергетические системы и сети». Дисциплине предшествует освоение дисциплины (ПРЕРЕКВИЗИТЫ): Б1.БМ2.3 Математика 3.1, Б1.БМ2.11 Теоретические основы электротехники 2.1, Б1.ВМ4.7 Электрические машины, Б1.ВМ4.10.1 Электроэнергетические системы и сети.

Содержание разделов дисциплины согласовано с содержанием дисциплины, изучаемых параллельно (КОРЕКВИЗИТЫ): Б1.ВМ5.2.1 Электромагнитные переходные процессы в электроэнергетических системах, Б1.ВМ4.15.2 Учебно-исследовательская работа студентов.

## 3. Результаты освоения дисциплины

В соответствии с требованиями ООП освоение дисциплины направлено на формирование у студентов следующих компетенций (результатов обучения), в т.ч. в соответствии с ФГОС:

Таблица 1

## Составляющие результатов обучения, которые будут получены при изучении дисциплины

Результаты обучения	Составляющие результатов обучения					
	Код	Знания	Код	Умения	Код	Владение опытом
Р1 Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественно-научные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устойчивости электроэнергетических систем	3.1.1	основных понятий и содержание классических разделов высшей математики (аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, теорий вероятности, математической статистики, функций комплексного переменного и численные методы решения алгебраических и дифференциальных уравнений)	У.1.1	применять методы математического анализа при проведении научных исследований и решении прикладных задач в профессиональной сфере	В.1.1	методов математического и физического моделирования режимов, процессов, состояний объектов электроэнергетики и электротехники
	3.1.2	основных физических явлений и законов механики, электротехники, органической и неорганической химии теплотехники, оптики, ядерной физики и их математическое описание	У.1.2	выявлять физическую сущность явлений и процессов в устройствах различной физической природы и выполнять применительно к ним простые технические расчеты	В.1.2	анализа физических явлений в электрических устройствах, объектах и системах
	3.2.2	состояния и современных тенденций развития технического прогресса в области электротехники и электроэнергетики в индустриально развитых странах	У.2.2	осуществлять подготовку исходных данных для выработки стратегии развития предприятия (организации, компании и т.п.)	В.2.2	обоснования итоговых рекомендаций и разработки технической документации при решении задач исследовательского анализа
Р4. Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.	3.4.1	типовых стандартных приборов, устройств, аппаратов, программных средств, используемых при экспериментальных исследованиях	У.4.1	проводить эксперименты по заданным методикам с последующей обработкой и анализом результатов в области электроэнергетики и электротехники	В.4.1	работы с приборами и установками для экспериментальных исследований
	3.4.2	основных методов экспериментальных исследований объектов и систем электроэнергетики и электротехники;	У.4.2	анализировать научно-техническую информацию, изучать отечественный и зарубежный опыт по тематике исследования; планировать эксперименты для решения определенной задачи профессиональной деятельности	В.4.2	экспериментальных исследований режимов работы технических устройств и объектов электроэнергетики и электротехники; математической обработки результатов и составления научно-технических отчетов
Р5. Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области устойчивости электроэнергетических систем	3.5.1	инструментария для решения задач проектного и исследовательского характера в сфере профессиональной деятельности по электроэнергетике и электротехнике	У.5.1	рассчитывать режимы работы электроэнергетических и электротехнических установок различного назначения, определять состав оборудования и его параметры, схемы электроэнергетических и электротехнических объектов	В.5.1	использования прикладных программ и средствами автоматизированного проектирования при решении инженерных задач электроэнергетики и электротехники
	3.5.2	основных способов выработки электроэнергии; технологии производства электро-	У.5.2	рационально использовать сырьевые, энергетические и другие виды ресурсов на элек-	В.5.2	применения современных методов разработки ресурсо- и энергосберегающих и экологически

		энергии на тепловых, атомных, гидравлических, ветряных электростанциях; нетрадиционные и возобновляемые источники электроэнергии		троэнергетическом и электротехническом производствах		чистых технологий использования электроэнергии
--	--	--	--	--	--	--

В результате освоения дисциплины студентом должны быть достигнуты следующие результаты:

Таблица 2

### Планируемые результаты освоения дисциплины

№ п/п	Результаты
<b>P1</b>	Применять соответствующие гуманитарные, социально-экономические, математические, естественнонаучные и инженерные знания, компьютерные технологии для решения задач расчета и анализа устойчивости электроэнергетических систем
<b>P4</b>	Уметь планировать и проводить необходимые экспериментальные исследования, связанные с определением параметров, характеристик и состояния электрооборудования, объектов и систем электроэнергетики и электротехники, интерпретировать данные и делать выводы.
<b>P5</b>	Применять современные методы и инструменты практической инженерной деятельности при решении задач в области устойчивости электроэнергетических систем

## 4. Структура и содержание дисциплины

### Раздел 1. Основные положения курса

Основные термины и определения. Содержание курса и его место в обучении. Виды переходных процессов. Основные положения, принимаемые при анализе.

### Раздел 2. Статическая устойчивость энергосистем

Уравнение движения ротора генератора в различных формах. Понятие о статической устойчивости энергосистемы. Практические критерии статической устойчивости энергосистемы. Собственные и взаимные сопротивления одномашиной энергосистемы. Угловые характеристики генератора при сложной связи с приёмной энергосистемой. Влияние промежуточных поперечных подключений (активного, индуктивного или ёмкостного сопротивления) на статическую устойчивость одномашиной энергосистемы. Линеаризация уравнений энергосистемы. Применение метода малых колебаний при исследовании статической устойчивости одномашиной энергосистемы. Векторные диаграммы напряжений и токов нерегулируемого и регулируемого генераторов. Автоматические регуляторы возбуждения пропорционального и сильного действия. Угловые характеристики генератора с автоматическим регулированием возбуждения. Самораскачивание ро-

торов генераторов и причины его возникновения. Развитие процесса самораскачивания регулируемого генератора. Упрощённые математические модели регулируемого генератора. Понятие о синхронной оси; абсолютное и относительное движение роторов генераторов. Уравнения малых колебаний и критерий статической устойчивости двухмашинной энергосистемы. Угловые характеристики мощности и пределы статической устойчивости двухмашинной энергосистемы.

*Практические занятия*

*Тема № 1*

*Расчёт обобщённых параметров, пределов и запасов статической устойчивости одномашинной энергосистемы при сложной связи с приёмной системой*

*Тема № 2*

*Линеаризация «в малом» и метод малых колебаний при анализе статической устойчивости двухмашинной энергосистемы (семинар)*

*Лабораторная работа 1.*

*Расчёт и анализ статических режимных характеристик одномашинной энергосистемы.*

*Лабораторная работа 2.*

*Исследование статической устойчивости одномашинной энергосистемы.*

### **Раздел 3. Динамическая устойчивость энергосистем**

Понятие о динамической устойчивости энергосистемы. Математические модели элементов энергосистемы. Способ площадей и критерий динамической устойчивости энергосистемы. Определение предельного угла отключения повреждённой цепи линии электропередачи. Метод последовательных интервалов и предельное время отключения повреждённой цепи линии электропередачи. Динамическая устойчивость простейшей энергосистемы при полном сбросе мощности. Проверка устойчивости при работе ТАПВ и ОАПВ на линиях электропередачи. Процессы при отключении части генераторов. Изменение токов и напряжений генератора при форсировке возбуждения. Применение форсировки возбуждения для обеспечения динамической устойчивости энергосистемы. Условия успешной синхронизации при подключении генератора к электрической сети. Электромеханические процессы в переходных режимах двухмашинной энергосистемы. Способ площадей и критерий динамической устойчивости двухмашинной энергосистемы. Динамическая устойчивость энергосистем с дефицитом мощности.

*Практические занятия*

*Тема № 3*

*Расчёт схем замещения и динамической устойчивости одномашинной энергосистемы*

*Тема № 4*

*Отключение части генераторов (ОГ) и форсировка возбуждения (ФВ) как средства обеспечения динамической устойчивости энергосистем (семинар)*

### *Лабораторная работа 3.*

*Выбор управляющих воздействий по условиям сохранения динамической устойчивости одномашинной энергосистемы*

#### **Раздел 4. Статическая устойчивость нагрузки**

Статические характеристики элементов нагрузки: осветительная нагрузка; реактор; конденсаторная батарея; синхронный компенсатор, синхронный двигатель, асинхронный двигатель. Статические характеристики комплексных нагрузок. Коэффициенты крутизны и регулирующие эффекты нагрузки. Статическая устойчивость асинхронного двигателя: критерий статической устойчивости; предел статической устойчивости; критическое скольжение; критическое напряжение. Влияние внешнего сопротивления и частоты в энергосистеме на статическую устойчивость асинхронного электродвигателя. Вторичные признаки устойчивости асинхронного электродвигателя. Лавина напряжения. Вторичные признаки (критерии) статической устойчивости комплексной нагрузки. Влияние компенсирующих устройств на статическую устойчивость нагрузки.

*Практические занятия*

*Тема № 5*

*Расчёт статической устойчивости комплексной нагрузки по вторичным признакам*

*Лабораторная работа 4.*

*Построение статических характеристик и исследование статической устойчивости асинхронного электродвигателя*

#### **Раздел 5. Переходные процессы в узлах нагрузки энергосистем при больших возмущениях**

Возмущающие воздействия и большие возмущения в узлах нагрузки. Динамические характеристики осветительной нагрузки, асинхронного двигателя, синхронного двигателя. Динамическая устойчивость синхронного двигателя. Самозапуск асинхронных двигателей. Процессы при пусках двигателей. Самоотключение электроустановок и восстановление нагрузки при кратковременных нарушениях электроснабжения. Мероприятия по снижению больших возмущений и их влияния на нагрузку.

*Практические занятия*

*Тема № 6*

*Переходные процессы в узлах нагрузки при больших возмущениях*

#### **Раздел 6. Мероприятия по повышению устойчивости и качества переходных процессов энергосистем**

Основные, дополнительные и режимные мероприятия по повышению устойчивости и качества переходных процессов энергосистем. Эффективность основных мероприятий: уменьшение реактивных сопротивлений генераторов; увеличе-

ние постоянной инерции; расщепление проводов фаз линий электропередачи. Эффективность дополнительных мероприятий: сооружение переключательных пунктов на линиях электропередачи; применение емкостной компенсации индуктивных сопротивлений линий электропередачи; использование электрического торможения генераторов. Эффективность мероприятий режимного характера: автоматическое отключение части нагрузки при снижении частоты в энергосистеме.

*Практические занятия*

*Тема № 7*

*Мероприятия по повышению устойчивости параллельной работы генераторов энергосистем*

## **5. Организация и учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студентов**

### **5.1. Виды и формы самостоятельной работы**

Самостоятельная работа студентов включает текущую и творческую самостоятельную работу (ТСР).

Текущая СРС направлена на углубление и закрепление знаний студента, развитие практических умений и включает:

- работу с лекционным материалом, поиск и обзор литературы и электронных источников информации по курсу;
- опережающую самостоятельную работу;
- подготовку к лабораторным работам;
- подготовку к экзамену.

Творческая самостоятельная работа включает:

- поиск, анализ, структурирование информации;
- учебно-исследовательскую работу и участие в научных студенческих конференциях, семинарах и олимпиадах.

### **5.2. Контроль самостоятельной работы**

Оценка результатов самостоятельной работы организуется следующим образом:

- защита лабораторных работ в соответствии графиком выполнения;
- ответы на контрольные вопросы;
- опрос студентов на лабораторных и практических занятиях.

## 6. Средства текущей и промежуточной оценки качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины производится по результатам следующих контролирующих мероприятий:

Контролирующие мероприятия	Результаты обучения по дисциплине
Выполнение и защита лабораторных работ	P4
Опрос студентов на практических занятиях	P1, P5
Экзамен	P1, P5

Для оценки качества освоения дисциплины при проведении контролирующих мероприятий предусмотрены следующие средства (фонд оценочных средств):

- вопросы входного контроля;
- контрольные вопросы, задаваемых при выполнении и защите лабораторных работ;
- контрольные вопросы, задаваемые при проведении практических занятий,
- вопросы для самоконтроля;
- вопросы, выносимые на экзамен.

Для итоговой аттестации подготовлены экзаменационные билеты – 25 шт. Билеты содержат теоретический вопрос, задачу и тестовый вопрос, например,

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
**Национальный исследовательский  
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ**

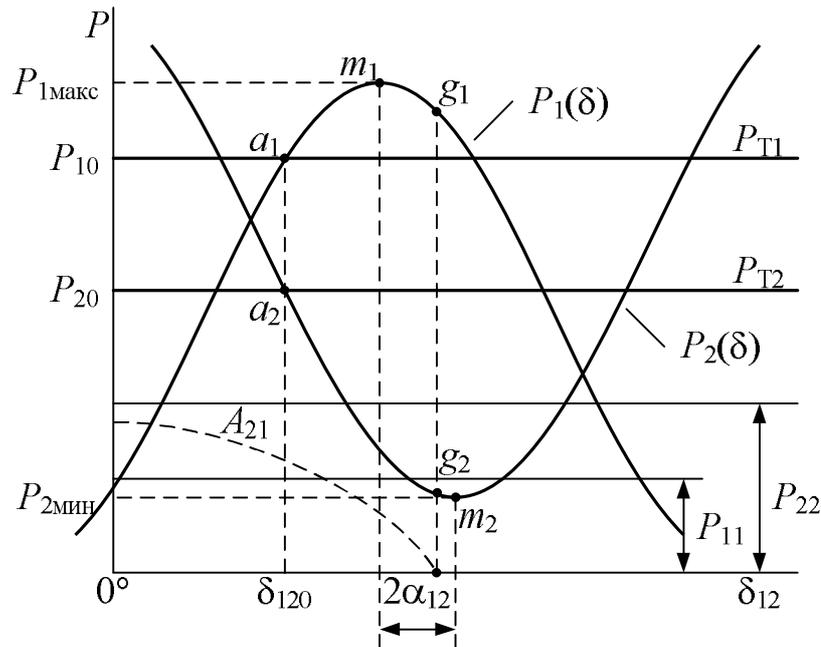
### Дисциплина «Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах»

#### 1. Теоретический вопрос (15 баллов)

Статическая устойчивость асинхронного двигателя: критерий статической устойчивости; предел статической устойчивости; критическое скольжение; критическое напряжение.

#### 2. Задача (20 баллов)

Как изменяется место расположения границы статической устойчивости двухмашинной энергосистемы (см. рис.) от соотношения постоянных инерции генераторов  $T_{j1}$ ,  $T_{j2}$  ?:



### 3. Тестовый вопрос (5 баллов)

Предел передаваемой мощности одномашинной энергосистемы при реактивной связи генератора и приемной системы определяется выражением:

$$1. P_M = \frac{E_q U}{x} \cos 90^\circ;$$

$$2. P_M = \frac{E_q U}{x} \sin 90^\circ;$$

$$3. P_M = \left( \frac{E_q U}{x} \right)^2;$$

$$4. P = \frac{E_q U}{x} \operatorname{tg} \delta.$$

## 7. Рейтинг качества освоения дисциплины

Оценка качества освоения дисциплины в ходе текущей и промежуточной аттестации обучающихся осуществляется в соответствии с приказом ректора № 88/од от 27.12.2013 г. "Положение о проведении текущего оценивания и промежуточной аттестации в ТПУ":

В соответствии с «Календарным планом изучения дисциплины»:

- текущая аттестация (оценка качества усвоения теоретического материала и результаты практической деятельности производится в течение семестра (оценивается в баллах (максимально 60 баллов), к моменту завершения семестра студент должен набрать не менее 33 баллов);
- промежуточная аттестация (экзамен, зачет) производится в конце семестра (оценивается в баллах (максимально 40 баллов), на экзамене (зачете) студент должен набрать не менее 22 баллов).

Итоговый рейтинг по дисциплине определяется суммированием баллов, полученных в ходе текущей и промежуточной аттестаций. Максимальный итоговый рейтинг соответствует 100 баллам.

## **8. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины**

### **Основная литература:**

1. Армеев Д.В. Переходные процессы в электрических системах: сборник задач / Д.В. Армеев, Е.П. Гусев, А.П. Долгов, В.М. Зырянов, В.М. Левин, Л.И. Пушкарева, В.М. Чебан, Э.М. Чекмазов. – Новосибирск: НГТУ, 2014. – 332 с.: ил. – Библиогр.: с. 310. – ISBN 978-5-7782-2498-8.
2. Куликов, Юрий Алексеевич Переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие / Ю. А. Куликов. – Москва: Омега-Л, 2013. – 380 с.: ил. – Высшее техническое образование. – Библиогр.: с. 348-352. – Глоссарий: с. 366-375. – ISBN 978-5-370-02938-7.
3. Хрущёв, Юрий Васильевич Электромеханические переходные процессы в электроэнергетических системах: учебное пособие / Ю. В. Хрущёв, К. И. Заповодников, А. Ю. Юшков; ТПУ. – Томск: Изд-во ТПУ, 2012. – 154 с.: ил. – Библиогр.: с. 153. – ISBN 978-5-4387-0125-5.
4. Хрущёв, Юрий Васильевич Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Лабораторный практикум. Томск: ТПУ, 2002. – 35 с.

### **Дополнительная литература:**

1. Веников В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах. Учебник для ВУЗов. – М.: Высшая школа, 1985.
2. Жданов П.С. Вопросы устойчивости электрических систем. – М.: Энергия, 1979.
3. Хрущёв Ю.В., Готман В.И. Электромеханические переходные процессы в электрических системах. Методические указания к рабочей программе и курсовой работе. – Томск: изд. ТПУ, 2004.

### **Internet –ресурсы:**

1. Электронная версия лабораторных работ по дисциплине (автор, доцент В.И. Готман)  
- <http://portal.main.tpu.ru:7777/SHARED/g/GOTMAN/metod/PP>.
2. Конспект лекций Петрозаводского государственного университета  
- [http://www.petrso.ru/Chairs/KEPIE/Belyakov\\_4.pdf](http://www.petrso.ru/Chairs/KEPIE/Belyakov_4.pdf).

### **Литература для самостоятельной работы студентов:**

1. Гуревич Ю.Е., Либова Л.Е., Окин А.А. Расчёты устойчивости и противоаварийной автоматики в энергосистемах. – М.: Энергоатомиздат, 1990.
2. Глушкин И.З., Иофьев Б.И. Противоаварийная автоматика в энергосистемах. – М.: Знак, 2009. – 568 с.

## 9. Материально-техническое обеспечение дисциплины

Для обеспечения дисциплины используются следующие специализированные аудитории:

№ п/п	Наименование (компьютерные классы, учебные лаборатории, оборудование)	Корпус, ауд.
1	Компьютерные классы: компьютеры на базе Intel Core 2 Duo E4600 – 15 шт.; лицензионное программное обеспечение.	8 уч. корпус, 120, 121, 126 ауд.
2	Специализированные лекционные аудитории с количеством посадочных мест от 100 человек: 101, 201, 301	8 уч. корпус
3	Специализированные аудитории для практических занятий с количеством посадочных мест не менее 30: 315, 316, 317, 310, 312, 306	8 уч. корпус

Программа составлена на основе Стандарта ООП ТПУ в соответствии с требованиями ФГОС по направлению 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» и профилю подготовки: "Электроэнергетические системы и сети".

Программа одобрена на заседании кафедры ЭСиЭ ЭНИН (протокол № 40 от «30» ноября 2015 г.).

Автор:



Хрушев Ю.В., профессор кафедры ЭСиЭ

Рецензент:



Кабышев А.В., профессор кафедры ЭПП