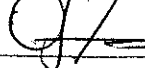


Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого»

УТВЕРЖДАЮ

Первый проректор ГГТУ им. П.О. Сухого

  
\_\_\_\_\_ О.Д. Асенчик

\_\_\_\_\_ 30.06. \_\_\_\_\_ 2016г.

Регистрационный № УД-55-36 /уч

УСТОЙЧИВОСТЬ ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Учебная программа учреждения высшего образования  
по учебной дисциплине для специальности

1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети»

Учебная программа составлена на основе образовательного стандарта высшего образования ОСВО 1-43 01 02-2013; учебного плана учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого» специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети», регистрационный номер № I 43-1-21/уч. (утверждён 17.09.2013 г.).

#### СОСТАВИТЕЛЬ:

К.М. Медведев, заведующий кафедрой «Теоретические основы электротехники» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О.Сухого», кандидат технических наук, доцент.

#### РЕЦЕНЗЕНТЫ:

В.В. Брель, доцент кафедры «Автоматизированный электропривод» ГГТУ им. П.О. Сухого, кандидат технических наук, доцент;

В.Н. Петренко, начальник производственной лаборатории диагностики энергооборудования и качества электроэнергии филиала «Энергонадзор» РУП «Гомельэнерго».

#### РЕКОМЕНДОВАНА К УТВЕРЖДЕНИЮ:

Кафедрой «Электроснабжение» учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 12 от 17.05.2016 г.); *УОЭ - 05 - 37/уч.*

Научно-методическим советом энергетического факультета учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 9 от 30.05.2016 г.);

Научно-методическим советом учреждения образования «Гомельский государственный технический университет имени П.О. Сухого» (протокол № 5 от 28.06.2016).

## ПОЯСНИТЕЛЬНАЯ ЗАПИСКА

### Вступление

Целью изучения дисциплины «Устойчивость электроэнергетических систем» является формирование знаний об электромеханических переходных процессах в электроэнергетических системах – причинах их возникновения, физической стороне явлений, влиянии на работу системы, методах анализа устойчивости, организационных и технических мероприятий повышения устойчивости узлов нагрузки и энергосистемы в целом, а также обучение применению современных компьютерных программ в практической деятельности инженера-энергетика.

Задачей дисциплины является изучение:

- статической устойчивости простейшей электрической системы;
- практических критериев устойчивости;
- динамической устойчивости электрической системы, метода площадей, методов решения уравнения движения ротора генератора;
- статической устойчивости сложных энергосистем с учётом действия регуляторов скорости и возбуждения;
- переходных процессов в узлах нагрузки;
- асинхронных режимов;
- путей и средств повышения устойчивости электрических систем.

Место учебной дисциплины в системе подготовки специалистов, связи с другими учебными дисциплинами

Дисциплина базируется на знаниях, полученных при изучении следующих дисциплин:

- высшая математика;
- физика;
- теоретические основы электротехники;
- электрические сети;
- электроэнергетические системы;
- электромеханика;
- производство электроэнергии.

Знания и умения, полученные при изучении данной дисциплины, необходимы для освоения последующих специальных дисциплин и дисциплин специализации, связанных с проектированием, моделированием, расчетом электроэнергетических систем.

Требования к освоению учебной дисциплины и компетентности специалиста

В результате изучения дисциплины «Устойчивость электроэнергетических систем» студент должен

знать:

- теорию статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем и систем электроснабжения;
- критерии статической и динамической устойчивости;
- пути повышения статической и динамической устойчивости;

уметь:

- составлять схемы замещения для расчёта устойчивости электроэнергетических систем;
- выбирать рациональные пути повышения статической и динамической устойчивости;
- различать особенности устойчивости отдельных объектов и энергосистемы в целом;

владеть:

- методами анализа эффективности управления статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем;
- знаниями по совершенствованию задач управления устойчивостью;
- методами расчёта статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем и узлов нагрузки.

Изучение и освоение дисциплины «Устойчивость электроэнергетических систем» должно обеспечить формирование у будущего специалиста необходимых академических и профессиональных компетенций, таких как:

- уметь применять базовые научно-теоретические знания для решения теоретических и практических задач;
- владеть системным и сравнительным анализом;
- владеть исследовательскими навыками;
- уметь работать самостоятельно;
- владеть междисциплинарным подходом при решении проблем;
- иметь навыки, связанные с использованием технических устройств, управлением информацией и работой с компьютером;
- рассчитывать и анализировать режимы работы, надёжность работы электроэнергетических систем и сетей и намечать пути их улучшения в условиях энергорынка;
- оценивать вклад объекта (элемента) электрической сети (системы), который сооружается или реконструируется, на работоспособность системы при возникновении аварий;
- составлять схемы замещения элементов электроэнергетических систем и сетей для разработки аварийных режимов, расчёта и оценки статической и динамической устойчивости элементов электроэнергетических систем;
- используя показания технологического процесса производства, передачи, распределения и потребления электроэнергии, создавать условия для соответствия режимов действующим стандартам, правилам и нормам;

- обосновано организовывать функционирование устройств автоматического регулирования активной и реактивной мощности, частоты и напряжения в электроэнергетических системах.

Общее количество часов и количество аудиторных часов

Для специальности 1-43 01 02 «Электроэнергетические системы и сети» дневной формы обучения учебная программа дисциплины рассчитана на 156 часов, в том числе 80 часов аудиторных занятий. Трудоёмкость дисциплины 3,5 зачетные единицы.

Форма получения высшего образования: дневная.

Распределение аудиторного времени по видам занятий, курсам и семестрам.

Форма обучения	Дневная	Заочная	Заочная сокращенная
Курс	4		
Семестр	7		
Лекции (часов)	48		
Практические занятия (часов)	16		
Лабораторные занятия (часов)	16		
Всего аудиторных (часов)	80		
Формы текущей аттестации по учебной дисциплине			
Экзамен	7 семестр		
Курсовая работа	8 семестр		

## СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Раздел 1. Общие сведения об электромеханических переходных процессах в электрических системах и системах электроснабжения

Тема 1.1. Введение в курс устойчивости.

Общая характеристика курса. Предмет изучения. Основные понятия и определения. Простейшее определение устойчивости.

Тема 1.2. Характеристика режимов и электромеханических переходных процессов.

Классификация режимов. Требования, предъявляемые к режимам. Осуществимость режима. Условия существования режима. Классификация электромеханических переходных процессов.

Тема 1.3. Методы моделирования электромеханических переходных процессов.

Модели элементов энергосистемы в расчетах установившихся и переходных режимов. Применение собственных и взаимных проводимостей и сопротивлений. Определение токов и мощностей в расчетной схеме. Основные допущения, принимаемые при анализе и расчетах.

Тема 1.4. Понятие простейшей системы.

Структурная схема системы. Угловая характеристика мощности. Векторные диаграммы и соотношения между параметрами в простейшей электрической системе. Понятия о статической и динамической устойчивости.

Раздел 2. Статическая устойчивость электрической системы и простейшие методы ее исследования

Тема 2.1. Качественная характеристика задач и критериев статической устойчивости.

Задачи и методы исследования. Анализ и расчеты статической устойчивости. Устойчивость простейшей системы. Устойчивость в многомашинной системе. Применение ЭВМ для расчетов статической устойчивости.

Тема 2.2. Обеспечение статической устойчивости энергосистем.

Области статической устойчивости. Запас устойчивости. Нормирование запаса статической устойчивости. Технические средства для обеспечения статической устойчивости энергосистем.

Раздел 3. Динамическая устойчивость электроэнергетических систем

Тема 3.1. Понятие о динамической устойчивости системы.

Задачи и методы исследования. Практическая значимость решения задач динамической устойчивости.

Тема 3.2. Методы оценки динамической устойчивости.

Оценка динамической устойчивости системы методом площадей. Определение предельного угла отключения короткого замыкания. Метод последовательных интервалов. Практическое применение методов определения динамической устойчивости.

#### Раздел 4. Устойчивость нагрузки

Тема 4.1. Общие сведения о переходных процессах в узлах нагрузки.

Характеристика узлов нагрузки систем. Представление нагрузки при расчетах статической устойчивости. Характеристики синхронных и асинхронных двигателей.

Тема 4.2. Расчёты и анализ устойчивости узлов нагрузки.

Первичный и вторичные критерии статической устойчивости нагрузки. Статические характеристики нагрузки. Малые и большие возмущения в системах. Процесс опрокидывания двигателей. Влияние загрузки и внешнего сопротивления на устойчивость асинхронных двигателей. Лавина напряжения. Влияние включения в нагрузку конденсаторов на устойчивость асинхронной нагрузки. Критерии устойчивости комплексной нагрузки. Опрокидывание группы асинхронных двигателей. Общая характеристика самозапуска. Разгон электродвигателей при самозапуске. Ресинхронизация синхронных двигателей.

#### Раздел 5. Асинхронные режимы в электроэнергетических системах

Тема 5.1. Общая характеристика переходных процессов в асинхронных режимах.

Возникновение асинхронных режимов. Параметры основных элементов при асинхронных режимах.

Тема 5.2. Последствия асинхронных режимов.

Нарушение синхронизма и переход в асинхронный режим. Ресинхронизация и результирующая устойчивость.

#### Раздел 6. Устойчивость сложных систем

Тема 6.1. Общий подход к анализу устойчивости сложных систем.

Метод малых колебаний. Самораскачивание и самовозбуждение в системе. Различные критерии для оценки статической устойчивости системы.

Тема 6.2. Оценка динамической устойчивости сложных систем.

#### Раздел 7. Повышение устойчивости

Тема 7.1. Противоаварийные мероприятия в энергосистеме.

Тема 7.2. Классификация и описание мероприятий, повышающих устойчивость электроэнергетических систем.

## ХАРАКТЕРИСТИКА КУРСОВОГО ПРОЕКТА

В курсовой работе выполняется расчёт и анализ статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем.

Примерное содержание расчетно-пояснительной записки

Введение.

1. Постановка задачи.
2. Теоретические основы статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем.
3. Расчет установившегося режима электроэнергетической системы.
4. Расчет статической устойчивости электроэнергетической системы.
5. Расчет динамической устойчивости при несимметричном коротком замыкании.
6. Анализ результатов расчётов.

Заключение.

Графическая часть: схема электроэнергетической системы, зависимости угла  $\delta$  от времени при переходном процессе.

Примерный объем курсового проекта:

- 2 листа формата А1 графического материала;
- 25-30 страниц пояснительной записки.

На выполнение курсового проекта в учебном плане предусмотрено 40 часов (1,0 зачетная единица).



Учебно-методическая карта дисциплины  
«Устойчивость электроэнергетических систем»

Номер раздела, темы	Название раздела, темы	Количество аудиторных часов					Количество часов УСР*	Форма контроля знаний
		Лекции	Практические занятия	Семинарские занятия	Лабораторные занятия	Иное		
1	Общие сведения об электромеханических переходных процессах в электрических системах и системах электроснабжения	10						
1.1	Введение в курс устойчивости	2						Э
1.2	Характеристика режимов и электромеханических переходных процессов	2						Э
1.3	Методы моделирования электромеханических переходных процессов	3	2					Э, КР
1.4	Понятие простейшей системы	3	2					Э
2	Статическая устойчивость электрической системы и простейшие методы ее исследования	7						
2.1	Качественная характеристика задач и критериев статической устойчивости	4	2		2			Э, ЗЛР, КР
2.2	Обеспечение статической устойчивости энергосистем	3	2		4			Э, ЗЛР, КР
3	Динамическая устойчивость электроэнергетических систем	8						
3.1	Понятие о динамической устойчивости системы	4						Э, КР
3.2	Методы оценки динамической устойчивости	4	4		2			Э, ЗЛР, КР
4	Устойчивость нагрузки	7						
4.1	Общие сведения о переходных процессах в узлах нагрузки	3						Э
4.2	Расчёты и анализ устойчивости узлов нагрузки	4	4		8			Э, ЗЛР
5	Асинхронные режимы в электроэнергетических системах	6						
5.1	Общая характеристика переходных процессов в асинхронных режимах	3						Э

5.2	Последствия асинхронных режимов	3						Э
6	Устойчивость сложных систем	6						
6.1	Общий подход к анализу устойчивости сложных систем	3						Э
6.2	Оценка динамической устойчивости сложных систем	3						Э
7	Повышение устойчивости	4						
7.1	Противоаварийные мероприятия в энергосистеме	2						Э
7.2	Классификация и описание мероприятий, повышающих устойчивость электроэнергетических систем	2						Э
Всего		48 <sub>v</sub>	16 <sub>v</sub>		16 <sub>v</sub>			

В таблице обозначено Э - экзамен, ЗЛР - защита лабораторных работ, КР – курсовая работа.

## ИНФОРМАЦИОННО-МЕТОДИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

### Основная литература

1. Веников, В.А. Переходные электромеханические процессы в электрических системах : учебник для ст-ов электроэнергет. спец. вузов / В.А. Веников. - 4-е изд., перераб. и доп.. - Москва : Высшая школа, 1985. - 536 с.
2. Жданов, П.С. Вопросы устойчивости электрических систем / Под ред. Л.А. Жукова. - М.; Энергия, 1979. - 456 с.
3. Куликов Ю.А. Переходные процессы в электрических системах: Учеб. Пособие. -Новосибирск: НГТУ, М.: Мир: ООО «Издательство АСТ», 2003. - 283 с.
4. Калентионюк, Е.В. Устойчивость электроэнергетических систем: учебное пособие для вузов / Е.В. Калентионюк. - Минск: Техноперспектива, 2008. - 375 с.

### Дополнительная литература

1. Переходные процессы в системах электроснабжения: Учебник / Под ред. В.Н. Винославского. - К.: Вища школа, 1989. - 422 с.
2. Переходные процессы электрических систем в примерах и иллюстрациях / Под ред. В.А. Веникова. - 2-е изд. - М.- Л.: Энергия. 1967. -456 с.
3. Гамазин, С.И. Переходные процессы в системах промышленного электроснабжения, обусловленные электродвигательной нагрузкой / С.И. Гамазин, В.А. Ставцев, С.А. Цырук. - М.: Изд-во МЭИ, 1997. - 424 с.
4. Голоднов, Ю.М. Самозапуск электродвигателей / Ю.М. Голоднов. - М. : Энергоатомиздат, 1990. - 136 с.
5. Носов, К.Б. Способы и средства самозапуска электродвигателей / К.Б. Носов, Н.М. Дворак. - М.: Энергоатомиздат, 1992. - 144 с.

### Учебно-методические комплексы

1. Токочаков, В.И. Устойчивость электроэнергетических систем : электронный учебно-методический комплекс дисциплины для студ. спец. 1-43 01 02 - "Электроэнергетические системы и сети" / В.И. Токочаков, В.В. Кротенок ; кафедра "Электроснабжение". - Гомель : ГГТУ им. П.О. Сухого, 2014. - 1 папка + 1 электрон. опт. диск. Режим доступа: [elib.gstu.by](http://elib.gstu.by).

Перечень компьютерных программ, наглядных и других пособий, методических указаний и материалов, технических средств обучения

1. Мультимедийный проектор.
2. Устойчивость электроэнергетических систем : методические указания к курсовой работе по одноименной дисциплине для студентов специальности 1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети" дневной формы обучения / В.И. Токочаков, В.В. Кротенок ; Министерство образования Республики Беларусь, Учреждение образования "Гомельский государственный

технический университет имени П.О. Сухого", Кафедра "Электроснабжение". - Гомель : ГГТУ, 2013. - 42 с.

3. Устойчивость электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : лабораторный практикум по одноименному курсу для студентов специальности 1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети" и 1-43 01 03 "Электроснабжение (по отраслям)" по курсу "Переходные процессы в электроэнергетических системах" / сост. : В. И. Токочаков, Ю. А. Рудченко, В. В. Кротенок ; каф. "Электроснабжение". - Гомель : ГГТУ, 2009. - 51 с. Режим доступа: elib.gstu.by.

4. Устойчивость электроэнергетических систем [Электронный ресурс] : практикум по одноименному курсу для студентов специальности 1-43 01 02 "Электроэнергетические системы и сети" дневной формы обучения / В. И. Токочаков, Ю. А. Рудченко, В. В. Кротенок . - Гомель : ГГТУ, 2009. - 54 с. Режим доступа: elib.gstu.by.

*Список литературы сверен А.В. (Тимова И.В.)*

#### Примерный перечень лабораторных работ

1. Статическая устойчивость генератора в простейшей системе. Построение характеристики мощности генератора без АРВ.

2. Исследование влияния АРВ генераторов на параметры и статическую устойчивость электропередачи.

3. Определение предельного угла и времени отключения короткого замыкания в простейшем системе.

4. Анализ динамической устойчивости по методу последовательных интервалов.

5. Исследование устойчивости комплексной нагрузки по практическим критериям.

6. Расчет самозапуска в узле нагрузки со смещенной нагрузкой.

7. Расчет пуска в узле нагрузки со смещенной нагрузкой. Выбор группового реактора для снижения пусковых токов.

8. Моделирование режимов пуска и выбега асинхронного двигателя. Расчет времени выбега и пуска асинхронного двигателя на ЭВМ.

#### Примерный перечень практических занятий

1. Составление схемы замещения. Определение параметров элементов расчетной схемы. Точное и приближенное приведение сопротивлений схемы замещения в именованных и относительных единицах. Собственные и взаимные проводимости. Преобразование схемы.

2. Угловые характеристики мощности синхронных генераторов при наличии и отсутствии АРВ. Расчет предельной мощности и запаса статической устойчивости. Построение векторных диаграмм.

3. Характеристика мощности при сложной связи синхронной машины с энергосистемой. Расчет предельной мощности и запаса статической устойчивости генераторов оснащенных и не оснащенных устройством АРВ при включении шунтирующего реактора.

4. Характеристика мощности при сложной связи синхронной машины с энергосистемой. Расчет предельной мощности и запаса статической устойчивости генераторов при включении комплексной нагрузки.

5. Расчет динамической устойчивости электрической системы методом площадей. Определение предельного угла отключения КЗ.

6. Построение угловых характеристик мощности простейшей системы в нормальном, аварийном и послеаварийном режимах для анализа динамической устойчивости при симметричном и несимметричном КЗ. Расчет сопротивления аварийного шунта КЗ.

7. Расчет самозапуска в узле нагрузки с асинхронными двигателями.

8. Расчет пуска в узле нагрузки с асинхронными двигателями.

#### Методы (технологии) обучения

Основными методами (технологиями) обучения, отвечающими целям изучения дисциплины, являются:

- элементы пробного обучения (проблемное изложение), реализуемое на лекционных занятиях;
- внедрение элементов научных исследований при выполнении практических заданий, а также при самостоятельной работе.

#### Характеристика рекомендуемых методов и технологий обучения

Лекционные занятия чередуются с практическими и лабораторными занятиями, а также с управляемой самостоятельной работой. Учебно-методическое обеспечение ориентировано на освоение студентами основ инновационных технологий, умение работать с научной и технической литературой.

#### Организация самостоятельной работы студентов

При изучении дисциплины рекомендуется использовать следующие формы самостоятельной работы:

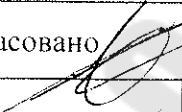

- контролируемая самостоятельная работа в виде решения индивидуальных задач в аудитории во время проведения практических занятий под контролем преподавателя, в соответствии с расписанием;
- управляемая самостоятельная работа, в том числе в виде выполнения индивидуальных расчетных заданий с консультациями у преподавателя.

## Диагностика компетенций студента

Оценка уровня знаний студента производится по десятибалльной шкале. Для оценки достижений студента рекомендуется использовать следующий диагностический инструментарий:

- проведение текущих контрольных опросов по отдельным темам курса с использованием модульно-рейтинговой системы;
- отчеты по лабораторным и практическим работам с устной их защитой;
- выступление студента на конференциях;
- сдача экзамена по дисциплине.

## ПРОТОКОЛ СОГЛАСОВАНИЯ УЧЕБНОЙ ПРОГРАММЫ УВО

Название учебной дисциплины, с которой требуется согласование	Название кафедры	Предложения об изменениях в содержании учебной программы учреждения высшего образования по учебной дисциплине	Решение, принятое кафедрой, разработавшей учебную программу (с указанием даты и номера протокола)
1. Электроэнергетические системы	Электроснабжение	Согласовано 	№ 12 от 17.05.2016
2. Электромагнитные переходные процессы	Электроснабжение	Согласовано 	№ 12 от 17.05.2016

Библиотека ГГТУ ИМЭМО