

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ  
ДОНЕЦКОЙ НАРОДНОЙ РЕСПУБЛИКИ  
ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«ДОНЕЦКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»



УТВЕРЖДАЮ:

Первый проректор

А.А. Каракозов

03 20 23 года

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**  
**Б1.В.19 Электромеханические переходные процессы**  
**в электрических системах**  
(код и наименование дисциплины согласно учебному плану)

Направление подготовки: 13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника  
(код и наименование направления / специальности)  
Направленность (профиль): Электроэнергетические системы и сети  
(наименование профиля / магистерской программы / специализации)  
Программа: бакалавриат  
(бакалавриат, магистратура, специалитет)  
Форма обучения: очная, очно-заочная, заочная  
(очная, заочная, очно-заочная)

Форма обучения	Очная	Очно- заочная	Заочная
Семестр	7	7	8
Общая трудоёмкость в з.е./часах	7/252	7/252	7/252
Контактная работа (час.), в том числе	89	34	16
лекции (час.)	34	12	4
лабораторные работы (час.)	34	8	4
практические (семинарские) занятия (час.)	17	8	2
Самостоятельная работа (час.), в том числе	109	182	200
курсовой проект (работа) (семестр/час.)			
Контроль (экзамен, час./зачёт)	Экзамен (54)	Экзамен (36)	Экзамен (36)

Донецк, 2023 г.

Рабочая программа дисциплины «Электромеханические переходные процессы в электрических системах» составлена в соответствии с учебными планами по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» (направленность (профиль) «Электроэнергетические системы и сети») для 2023 года приёма по очной, заочной и очно-заочной формам обучения.

**Составитель:**

доцент кафедры

«Электрические системы», к.т.н., доцент  Ларин А.М.

(подпись)

Рабочая программа **рассмотрена и принята** на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «07» 03 2023 года № 8

Заведующий кафедрой  Полковниченко Д.В.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **одобрена учебно-методической комиссией** ГОУВПО «ДОННТУ» по направлению подготовки 13.03.02 – «Электроэнергетика и электротехника».

Протокол от «23» 03 2023 года № 3

Председатель  Ткаченко С.Н.

(подпись)

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

(Ф.И.О.)

Рабочая программа **продлена** для 20\_\_ года приёма на заседании кафедры «Электрические системы».

Протокол от «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ года № \_\_\_

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_

(подпись)

(Ф.И.О.)

## 1. ОБЪЕКТ, ЦЕЛЬ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ ДИСЦИПЛИНЫ

Значение дисциплины "Электромеханические переходные процессы в электрических системах" в решении общих народнохозяйственных задач заключается в том, что она будет оказывать содействие не только для повышения надежности функционирования электрических систем в нормальных и переходных режимах в соответствии с определенными правилами, но также и формированию самих правил и стратегий, которые обеспечивают успешность действий.

**Целью дисциплины является:** формирование систематизированных теоретических и практических знаний и навыков анализа электромеханических переходных процессах при малых и больших возмущениях в электроэнергетических системах. Изучение методов анализа статической и динамической устойчивости и мероприятий по их обеспечению.

В результате освоения дисциплины студент должен:

**знать:**

- основную терминологию, физические основы и закономерности протекания электромеханических переходных процессов;
- статические и динамические характеристики синхронных и асинхронных электрических машин;
- критерии устойчивости электромеханического оборудования в нормальном, динамическом аварийном и послеаварийном режимах;
- методы математического анализа электромеханических переходных процессов при больших и малых возмущениях (оценки динамической и статической устойчивости);
- закономерности влияния систем автоматического регулирования возбуждения синхронных генераторов на условия устойчивости электроэнергетических систем;
- нормативно-технические документы, касающиеся статической и динамической устойчивости генераторов электроэнергетических систем, систем электроснабжения и узлов нагрузки;
- методы расчётов статической и динамической устойчивости электроэнергетических систем;
- технические способы и средства улучшения условий статической, динамической и результирующей устойчивости электроэнергетических систем;

**уметь:**

- анализировать научно-техническую информацию, касающуюся электромеханических переходных процессов, устойчивости электроэнергетических систем, систем электроснабжения и узлов нагрузки;
- самостоятельно применять требования нормативных документов при определении условий устойчивости электроэнергетических систем и узлов нагрузки;
- составлять математические модели электроэнергетических систем для проведения расчётов статической и динамической устойчивости;
- рассчитывать параметры электромеханических переходных процессов и

определять условия статической и динамической устойчивости электроэнергетической системы;

- разрабатывать мероприятия и выбирать средства для обеспечения необходимого качества электромеханического переходного процесса, устойчивой и экономичной работы электромеханического оборудования;

- научно анализировать результаты расчётов или исследований электромеханических переходных процессов в электроэнергетических системах и узлах нагрузки;

***владеть:***

- различными способами получения информации о новейших разработках в области электромеханических переходных процессов в электроэнергетических системах;

- знаниями различных методов математического анализа и моделирования электромеханических переходных процессов;

- навыками составления схем замещения и определения их параметров для последующего выполнения расчетов электромеханических переходных процессов.

Перечисленные результаты обучения являются основой для формирования следующих компетенций:

- способность моделировать объекты профессиональной деятельности с использованием стандартных пакетов и средств автоматизированного проектирования (ПК-2);

- способность определять параметры оборудования, рассчитывать режимы работы и участвовать в ведении режимов объектов профессиональной деятельности (ПК-5);

- готовность определять и обеспечивать эффективные режимы технологического процесса по заданной методике (ПК-6).

## **2. МЕСТО ДИСЦИПЛИНЫ В ОСНОВНОЙ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЙ ПРОГРАММЕ**

Дисциплина относится к части, формируемой участниками образовательных отношений, Блока 1 «Дисциплины (модули)» учебного плана.

Базируется на знаниях и умениях, которые студент приобрел при освоении предшествующих дисциплин: «Физика», «Теоретическая механика», «Теоретические основы электротехники», «Электрические машины», «Электрические системы и сети», «Электромагнитные переходные процессы в электрических системах».

Знания и умения, приобретенные при освоении данной дисциплины, реализуются студентом при выполнении курсовых проектов и работ по дисциплинам «Основы релейной защиты и автоматизации энергосистем», «Электрическая часть станций и подстанций», изучении последующих дисциплин: «Основы релейной защиты и автоматизации электрических систем», «Электрическая часть станций и подстанций», «Эксплуатация электрических систем», «Противоаварийная автома-

тика электроэнергетических систем», «Специальные режимы электрических систем », при выполнении научно-исследовательской работы и прохождении государственной итоговой аттестации.

### 3. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

#### 3.1. Распределение учебных часов по темам дисциплины и видам занятий

№ темы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная / очно-заочная / заочная)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Практ. (семин.)	Лабор.	СРС
1	Введение.	2/3/4	1/0/0			1/3/4
2	Основные понятия и определения электромеханических переходных процессов в электрических системах.	2/3/4	1/0/0			1/3/4
3	Основные характеристики синхронного генератора в простейшей и сложной электрических системах. Система относительных единиц. Уравнение движения ротора.	18/19/19	2/2/1	4/2/2	4/2/2	8/13/14
4	Практические критерии статической устойчивости.	10/11/10	2/2/1	3/2/0		5/7/9
5	Метод малых колебаний для исследования переходных процессов при малых возмущениях.	5/6/7	2/0/0			3/6/7
6	Процессы и устойчивость в системе "нерегулируемый генератор - шины бесконечной мощности" без учета переходных процессов в роторе.	14/15/14	2/1/0		4/1/0	8/13/14
7	Процессы и устойчивость в системе "нерегулируемый генератор - шины бесконечной мощности" с учетом переходных процессов в роторе.	10/11/11	2/1/0		2/1/1	6/9/10
8	Процессы и устойчивость в системе "регулируемый генератор с АРВ пропорционального типа - шины бесконечной мощности".	10/11/11	2/1/0		2/0/0	6/10/11
9	Процессы и устойчивость в системе "регулируемый генератор с АРВ сильного действия - шины бесконечной мощности".	8/9/9	2/1/0			6/8/9
10	Анализ статической устойчивости сложной нерегулируемой	10/11/12	2/0/0		2/1/1	6/10/11

№ темы	Наименование тем (содержательных модулей)	Количество часов (очная / очно-заочная / заочная)				
		Всего	В том числе			
			Лекции	Практ. (семин.)	Лабор.	СРС
	позиционной консервативной электрической системы.					
11	Переходные процессы в системах электроснабжения при малых возмущениях.	14/15/16	4/0/0	2/0/0		8/15/16
12	Практический критерий синхронной динамической устойчивости.	18/19/17	2/2/2	2/2/0	4/1/0	10/14/15
13	Анализ устойчивости на основе аналитических и численных методов расчета переходных процессов.	21/22/19	2/0/0	4/2/0	4/2/0	11/18/19
14	Переходные процессы в системах электроснабжения при больших возмущениях.	21/22/23	4/0/0	2/0/0	4/0/0	11/22/23
15	Асинхронный режим синхронных генераторов.	12/14/15	1/0/0		4/0/0	7/14/15
16	Ресинхронизация синхронных генераторов и результирующая устойчивость.	4/5/6	1/0/0			3/5/6
17	Мероприятия по повышению надежности, устойчивости и качества переходных процессов в электрических системах.	15/14/13	2/2/0		4/0/0	9/12/13
Курсовая работа (проект)		-/-/-				-/-/-
Контактная работа (дополнительная)		4/6/6				
Итого по видам занятий		198/216/216	34/12/4	17/8/2	34/8/4	109//182/200
Контроль		54/36/36				
<b>ИТОГО</b>		<b>252</b>				

### Формирование компетенций в результате освоения тем дисциплины

Компетенции	Темы дисциплины, нацеленные на выработку компетенции
ПК-2	Темы 1 - 13
ПК-5	Темы 6 - 13
ПК-6	Темы 14 - 17

## 3.2. Лекции

Тема 1. Введение.

Содержание темы 1: Цель курса и предмет изучения. Основные задачи курса и его связь с другими дисциплинами. Основные понятия и определения. Классификация электромеханических переходных процессов. Основные положения, которые принимаются при анализе. Задачи исследования электромеханических переходных процессов и их особенности. Допущения, принимаемые при анализе электромеханических переходных процессов. Требования к установившимся и переходным режимам. Качество переходного процесса.

Литература к теме 1: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 2. Основные понятия и определения электромеханических переходных процессов в электрических системах.

Содержание темы 2: Понятие простейшей, простой и сложной электрической системы. Векторные диаграммы и соотношения между параметрами в простейшей электрической системе. Угловые характеристики мощности простейшей электрической системы. Влияние несимметрии ротора и АРВ на угловые характеристики. Идеальный предел мощности и запас статической устойчивости.

Литература к теме 2: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 3. Основные характеристики синхронного генератора в сложной электрической системе. Система относительных единиц. Уравнение движения ротора.

Содержание темы 3: Принцип наложения режимов. Собственные и взаимные сопротивления, проводимости, токи. Зависимости активной и реактивной мощностей от угла сдвига ротора в сложной электрической системе. Влияние и учет нагрузки. Действительный предел мощности при учете нагрузки статическими характеристиками и постоянным сопротивлением.

Литература к теме 3: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 4. Практические критерии статической устойчивости.

Содержание темы 4: Энергетическая трактовка практических критериев. Прямой практический критерий статической устойчивости электрической системы. Косвенные (вторичные) практические критерии статической устойчивости. Применение практических критериев статической устойчивости. Обобщение полученных практических критериев статической устойчивости электрической системы.

Литература к теме 4: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 5. Метод малых колебаний для исследования переходных процессов при малых возмущениях.

Содержание темы 5: Сущность метода малых колебаний, которая основана на первой и второй теоремах А.М. Ляпунова. Общая задача исследования статической устойчивости, ее математическая формулировка и методы решения. Влия-



ние расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости на характер переходного процесса. Необходимые и достаточные условия статической устойчивости. Алгебраические и частотные критерии статической устойчивости.

Литература к теме 5: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 6. Процессы и устойчивость в системе "нерегулируемый генератор - шины бесконечной мощности" без учета переходных процессов в роторе.

Содержание темы 6: Уравнение малых колебаний без и с учетом демпфирования. Исследование статической устойчивости нерегулируемой простейшей системы без и с учетом влияния демпфирования.

Литература к теме 6: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 7. Процессы и устойчивость в системе "нерегулируемый генератор - шины бесконечной мощности" с учетом переходных процессов в роторе.

Содержание темы 7: Уравнение малых колебаний с учетом демпфирования и электромагнитных переходных процессов в роторе. Исследование статической устойчивости нерегулируемой простейшей системы с учетом электромагнитных переходных процессов в обмотке возбуждения. Три вида нарушения статической устойчивости (сползание, самовозбуждение, самораскачивание), условия их возникновения.

Литература к теме 7: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 8. Процессы и устойчивость в системе "регулируемый генератор с АРВ пропорционального типа - шины бесконечной мощности".

Содержание темы 8: Структурная схема АРВ пропорционального типа. Уравнение малых колебаний простейшей системы с генераторами, которые имеют АРВ пропорционального типа. Статическая устойчивость простейшей системы при регулировании возбуждения ее генераторов регулятором пропорционального действия.

Литература к теме 8: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 9. Процессы и устойчивость в системе "регулируемый генератор с АРВ сильного действия - шины бесконечной мощности".

Содержание темы 9: Структурная схема АРВ сильного действия. Статическая устойчивость простейшей системы при регулировании возбуждения ее генераторов регулятором сильного действия. Упрощенные соотношения для определения статической устойчивости, вытекающие из метода малых колебаний.

Литература к теме 9: [[1](#), [2](#), [3](#)].

Тема 10. Анализ статической устойчивости сложной нерегулируемой позиционной консервативной электрической системы.

Содержание темы 10: Статическая устойчивость электрической системы, состоящей из двух электростанций, которые работают на общую нагрузку. Основы анализа статической устойчивости сложных систем.



Литература к теме 10: [1, 2, 3].

Тема 11. Переходные процессы в системах электроснабжения при малых возмущениях.

Содержание темы 11: Общая характеристика проблемы. Статические и динамические характеристики асинхронных и синхронных двигателей. Лавина напряжения (статическая устойчивость нагрузки, опрокидывание двигателей). Основные расчетные соотношения. Практические критерии статической устойчивости нагрузки. Переходные процессы при изменении напряжения и частоты в системах электроснабжения.

Литература к теме 11: [1, 2, 3].

Тема 12. Практический критерий синхронной динамической устойчивости.

Содержание темы 12: Понятие динамической устойчивости. Основные допущения, принимаемые при анализе динамической устойчивости. Колебание генераторов и энергетические соотношения при колебаниях, возникающих при больших возмущениях режима. Понятие критериев динамической устойчивости. Метод площадей и вытекающий из него критерий динамической устойчивости. Применение метода площадей к оценке предельного угла отключения короткого замыкания в условиях простейшей системы. Различные применения метода площадей для учета действия АРВ и влияния демпфирования. Применение способа площадей при исследовании динамической устойчивости двух станций.

Литература к теме 12: [1, 2, 3].

Тема 13. Анализ устойчивости на основе аналитических и численных методов расчета переходных процессов.

Содержание темы 13: Способы решения дифференциальных уравнений относительного движения ротора. Аналитическое решение уравнения в случае полного сброса мощности. Численные методы решения уравнения движения ротора. Метод последовательных интервалов. Алгоритмы расчета электромеханических переходных процессов без и с учетом изменения переходной ЕДС и переходных процессов в роторе. Влияние демпфирования и действия автоматического регулирования скорости при полном сбросе мощности. Колебание ротора под воздействием внешней гармонической силы.

Литература к теме 13: [1, 2, 3].

Тема 14. Переходные процессы в системах электроснабжения при больших возмущениях.

Содержание темы 14: Пуск двигателей. Способы пуска электродвигателей. Сравнение различных способов пуска. Уравнение движения при пуске и его интегрирование. Самовозбуждение АД при применении последовательной емкостной компенсации при пуске. Самозапуск электродвигателей. Общие сведения о самозапуске двигателей. Методы расчета самозапуска. Пути обеспечения самозапуска. Внезапные изменения режима в системах электроснабжения. Наброс нагрузки на асинхронные и синхронные двигатели. Сброс напряжения. Влияние резкопеременной нагрузки на работу системы электроснабжения.

Литература к теме 14: [1, 2, 3].

Тема 15. Асинхронный режим синхронных генераторов.

Содержание темы 15: Причины возникновения асинхронного режима. Процессы при выпадении генератора из синхронизма и переходе к установившемуся асинхронному режиму. Физические процессы при установившемся асинхронном режиме. Общая характеристика поведения генератора в асинхронном режиме. Определение асинхронного момента и мощности. Применимость (допустимость) асинхронных режимов. Задачи, возникающие при исследовании асинхронных режимов в электрических системах.

Литература к теме 15: [1, 2, 3].

Тема 16. Ресинхронизация синхронных генераторов и результирующая устойчивость.

Содержание темы 16: Понятие о ресинхронизации. Критерий ресинхронизации.

Литература к теме 16: [1, 2, 3].

Тема 17. Мероприятия по повышению надежности, устойчивости и качества переходных процессов в электрических системах.

Содержание темы 17: Классификация мероприятий. Основные и дополнительные мероприятия по улучшению устойчивости. Мероприятия режимного характера. Сопротивления, включаемые в нейтрали трансформаторов. Установки для электрического торможения. Переключательные пункты. Установки продольной компенсации. Применение синхронных компенсаторов на промежуточных подстанциях. Управление нагрузки. Автоматическая частотная разгрузка.

Литература к теме 17: [1, 2, 3].

### 3.3. Практические занятия

№ п/п	Тема занятия	Объем, час. Очная / очно- заочная, заоч- ная	Литера- тура
1	Определение угловых характеристик простейшей электрической системы. Построение векторных диаграмм. Определение коэффициентов запаса статической устойчивости по идеальному пределу мощности.	2/2/1	[1, 4, 5]
2	Определение угловых характеристик сложных электрических систем. Определение коэффициентов запаса статической устойчивости по действительному пределу мощности.	3/2/0	[1, 4, 5]
3	Определение статических характеристик асинхронной и синхронной нагрузки.	2/0/0	[1, 4, 5]
4	Определение параметров предельного режима по статической устойчивости электропотребителей с учетом питающей сети.	2/0/0	[1, 4, 5]
5	Применение метода площадей к анализу динамической устойчивости электрических систем.	2/2/1	[1, 4, 5]
6	Определение предельного угла отключения коротких замы-	2/2/0	[1, 4, 5]

	каний без учета изменения переходной ЕДС генератора.		
7	Определение предельного угла отключения коротких замыканий с учетом переходных процессов в роторе и действии АРВ.	2/0/0	[1, 4, 5]
8	Определение условий пуска и самозапуска асинхронных двигателей.	2/0/0	[1, 4, 5]
<b>Итого:</b>		<b>17/8/2</b>	

### 3.4. Лабораторные работы

№ п/п	Тема работы	Объем, час. Очная / очно- заочная / заочная	Литера- тура
1	Угловые характеристики мощности простейшей электрической системы.	2/2/2	[1, 2, 6]
2	Исследование влияния коэффициента мощности генератора на статическую устойчивость системы.	2/0/0	[1, 2, 6]
3	Анализ статической устойчивости простейшей нерегулируемой электрической системы без учета переходных процессов в роторе.	2/1/0	[1, 2, 6]
4	Анализ статической устойчивости простейшей нерегулируемой электрической системы с учетом переходных процессов в роторе.	6/1/2	[1, 2, 6]
5	Анализ статической устойчивости простейшей регулируемой электрической системы с АРВ пропорционального типа.	4/0/0	[1, 2, 6]
6	Исследование статической устойчивости системы, состоящей из двух станций, работающих на общую нагрузку.	2/0/0	[1, 2, 6]
7	Исследование электромеханических переходных процессов при возмущениях, вызванных отключением одной цепи двухцепной ЛЭП.	2/0/0	[1, 2, 6]
8	Определение предельного времени отключения короткого замыкания без учета переходных процессов в роторе и влияния автоматического регулирования возбуждения.	4/2/0	[1, 2, 6]
9	Определение предельного времени отключения короткого замыкания с учетом переходных процессов в роторе и влияния форсировки возбуждения.	4/2/0	[1, 2, 6]
10	Исследование переходных процессов при самозапуске асинхронных двигателей.	2/0/0	[1, 2, 6]
11	Исследование переходных процессов при выпадении из синхронизма и переходе в установившийся асинхронный режим.	4/0/0	[1, 2, 6]
<b>Итого:</b>		<b>34/8/4</b>	

### 3.5. Самостоятельная работа студента

№ п/п	Виды самостоятельной работы студента	Объем, час. Очная / очно-заочная / заочная
1	Изучение лекционного материала (не менее 50% от объема лекций)	39/60/167
2	Подготовка к практическим занятиям (не менее 50% от объема аудиторных практических занятий)	22/60/12
3	Подготовка к лабораторным работам (не менее 50% от объема аудиторных лабораторных занятий)	39/53/12
4	Выполнение курсового проекта (36 часов)	-
5	Выполнение курсовой работы (27 часов)	-
6	Выполнение индивидуального задания (не менее 9 часов)	9/9/9
	<b>Итого:</b>	<b>109/182/200</b>

### 3.5 Курсовая работа, индивидуальное задание

Курсовая работа по дисциплине учебным планом не предусмотрена.

**Индивидуальное задание** предусмотрено учебными планами для студентов всех форм обучения.

Тематика заданий РГР направлена на закрепление теоретического материала, предусмотренного рабочими программами и рассматриваемого на лекциях и упражнениях. Она способствует также приобретению практических навыков применения теории к решению инженерных задач, связанных с количественной оценкой влияния явнополюсности генераторов и наличия АРВ пропорционального и сильного действия на предел передаваемой мощности и запас статической и динамической устойчивости ЭЭС.

**Цель** – закрепление теоретического материала и получение практических навыков решения задач, связанных с расчетом угловых характеристик мощности и определении на их основе предела передаваемой мощности и запаса статической и динамической устойчивости, а также построении векторных диаграмм, отражающих взаимосвязь между отдельными параметрами режима.

В результате выполнения индивидуального задания студент должен уметь:

- применять методику расчета угловых характеристик мощности с учетом влияния явнополюсности синхронных генераторов и действия АРВ;
- определять пределы мощности и устойчивости, а также значения углов, при которых они наступают;
- выполнять построения векторных диаграмм напряжений и ЭДС для простейшей системы, содержащей синхронные генераторы с гладким и явнополюсным ротором;
- определять предельные значения угла и времени отключения короткого замыкания из условия предотвращения нарушения динамической устойчивости.

Расчетно-графическая работа выполняется в соответствии с индивидуальным заданием, выдаваемым каждому студенту в соответствии с методическими указаниями [7].

Объем учебной нагрузки при выполнении индивидуального задания – 10 часов.

Рекомендуемый объем пояснительной записки по индивидуальному заданию – не более 10 страниц формата А4 (210×297 мм).

## **4 ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ**

### **4.1 Критерии и шкалы для интегрированной оценки уровня сформированности компетенций**

#### *Составляющая компетенции – полнота знаний*

- нулевой уровень: неверные, не аргументированные, с множеством грубых ошибок ответы на вопросы. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- минимальный уровень: даны не полные, неточные и неаргументированные ответы на вопросы. Допущено много грубых ошибок. Уровень знаний ниже минимальных требований;
- пороговый уровень: даны недостаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Плохо знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено много негрубых ошибок;
- средний уровень: даны достаточно полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. В целом знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- продвинутый уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько негрубых ошибок;
- высокий уровень: даны полные, точные и аргументированные ответы на вопросы. Знает термины, определения и понятия; основные закономерности, соотношения, принципы. Допущено несколько неточностей.

#### *Составляющая компетенции – умения*

- нулевой уровень: полное отсутствие понимания сути методики решения задачи, допущено множество грубейших ошибок / задания не выполнены вообще;
- минимальный уровень: слабое понимание сути методики решения задачи, допущены грубые ошибки. Решения не обоснованы. Не умеет использовать нормативно-техническую литературу;
- пороговый уровень: достаточное понимание сути методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую литературу. Слабо ориентируется в специальной научной литературе;
- средний уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены ошибки. Решения не всегда обоснованы. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;

- продвинутый уровень: в целом понимает суть методики решения задачи, допущены неточности. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу;
- высокий уровень: понимает суть методики решения задачи. Способен обосновать решения. Умеет использовать нормативно-техническую и специальную научную литературу, передовой производственный опыт.

#### *Составляющая компетенции – владение навыками*

- нулевой уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Не может выполнить задания;
- минимальный уровень: не демонстрирует владение навыками выполнения профессиональных задач. Испытывает существенные трудности при выполнении отдельных заданий;
- пороговый уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач на пороговом уровне. Задания выполняет медленно и некачественно;
- средний уровень: владеет навыками выполнения профессиональных задач. Задания выполняет на среднем уровне по скорости и качеству;
- продвинутый уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, иногда допуская незначительные погрешности;
- высокий уровень: владеет уверенными навыками выполнения профессиональных задач. Быстро и качественно выполняет задания, при необходимости демонстрируя творческий подход.

#### *Обобщенная оценка сформированности компетенций*

- нулевой уровень: на нулевом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- минимальный уровень: на минимальном уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- пороговый уровень: на пороговом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- средний уровень: на среднем уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на более высоком уровне;
- продвинутый уровень: на продвинутом уровне сформированы: все составляющие; одна или две из трёх, остальные – на высоком уровне;
- высокий уровень: на высоком уровне сформированы все составляющие компетенций.

## **4.2 Вопросы к экзамену и пример экзаменационного билета**

### **Вопросы к экзамену.**

#### **Теоретическая часть.**

1. Задачи исследования электромеханических переходных процессов и их особенности.
2. Векторная диаграмма явнополюсного генератора и соотношения между параметрами в простейшей системе.

3. Угловая характеристика мощности простейшей нерегулируемой системы по идеальным условиям.

4. Угловая характеристика мощности простейшей системы при наличии АРВ пропорционального типа.

5. Угловая характеристика мощности простейшей системы при наличии АРВ сильного действия.

6. Угловые характеристики системы, содержащей произвольное количество линейных элементов.

7. Действительный предел мощности простейшей электрической системы.

8. Энергетический критерий статической устойчивости электрической системы.

9. Прямой практический критерий статической устойчивости электрической системы.

10. Косвенные (вторичные) критерии статической устойчивости электрической системы.

11. Исследование статической устойчивости электрической системы методом малых колебаний (суть метода, влияние расположения корней характеристического уравнения на комплексной плоскости на характер переходных процессов).

12. Критерии, позволяющие выявлять знаки действительных корней и знаки действительных частей комплексных корней.

13. Анализ статической устойчивости нерегулируемой системы без учета переходных процессов в роторе и без учета влияния демпфирования.

14. Анализ статической устойчивости нерегулируемой системы без учета переходных процессов в роторе, но с учетом влияния демпфирования.

15. Анализ статической устойчивости нерегулируемой системы с учетом переходных процессов в роторе.

16. Текучесть (сползание) режима электрической системы.

17. Сомораскачивание в электрических системах.

18. Самовозбуждение в электрических системах.

19. Анализ статической устойчивости регулируемой электрической системы при наличии АРВ пропорционального типа.

20. Анализ статической устойчивости электрической системы, состоящей из двух станций.

21. Характеристики асинхронной нагрузки.

22. Прямой практический критерий статической устойчивости асинхронного двигателя.

23. Лавина напряжения.

24. Влияние батарей статических конденсаторов на статическую устойчивость асинхронных двигателей.

25. Влияние регуляторов возбуждения синхронного генератора на статическую устойчивость асинхронных двигателей.

26. Характеристики асинхронной нагрузки при изменении частоты в системе.

27. Характеристики синхронной нагрузки.



28. Применение способа площадей для исследования динамической устойчивости двух станций.
29. Включение индуктивных сопротивлений в нейтраль трансформатора.
30. Применение способа площадей к определению предельного угла отключения короткого замыкания. Влияние вида КЗ на значение предельного угла отключения.
31. Переключательные пункты.
32. Качание генераторов и энергетические соотношения при качаниях. Способ площадей и вытекающий из него практический критерий синхронной динамической устойчивости.
33. Отключение части генераторов удаленной станции.
34. Включение активных сопротивлений в нейтраль трансформатора.
35. Определение зависимости изменения угла во времени при больших возмущениях при  $E' = \text{const}$ .
36. Установки поперечной компенсации.
37. Определение зависимости изменения угла во времени при больших возмущениях с учетом электромагнитных переходных процессов в роторе и действия форсировки.
38. Основные мероприятия по повышению устойчивости электрических систем.
39. Установки продольной компенсации.
40. Общие вопросы исследования процессов при пуске двигателей. Схемы пуска.
41. Мероприятия по повышению устойчивости режимного характера.
42. Аналитический и графо-аналитический методы расчета пуска асинхронных двигателей.
43. Устройства для электрического торможения как средство повышения устойчивости электрических систем.
44. Особенности пусковых режимов синхронных двигателей.
45. Влияние индуктивных сопротивлений, включенных в нейтраль трансформатора на устойчивость электрической системы.
46. Сброс напряжения на асинхронный и синхронный двигатели.
47. Наброс мощности на асинхронный и синхронный двигатели
48. Графо-аналитический метод расчета самозапуска двигателей.

### **Практическая часть.**

**Задача.** Из условия устойчивости параллельной работы простейшей системы аналитически и методом площадей определить предельный угол отключения короткого замыкания на одной из цепей двухцепной ЛЭП. Заданы значения пределов передаваемой мощности в исходном ( $P_{1np}$ ), аварийном ( $P_{2np}$ ) и послеаварийном ( $P_{3np}$ ) режимах. Известна так же величина мощности, передаваемой в систему, в исходном режиме ( $P_0$ ).

## Пример экзаменационного билета

ГОУВПО «Донецкий национальный технический университет»	
Уровень высшего профессионального образования:	Бакалавриат
	(бакалавриат, специалитет, магистратура)
Направление подготовки (специальность):	13.03.02 - Электроэнергетика и электротехника
	(код, название)
Профиль (магистерская программа, специализация):	Электроэнергетические системы и сети
	(название)
Семестр:	7 (осенний)
Учебная дисциплина:	Электромеханические переходные процессы в электрических системах

### БИЛЕТ № 1

1. Анализ статической устойчивости нерегулируемой системы без учета переходных процессов в роторе и без учета влияния демпфирования
2. Влияние индуктивных сопротивлений, включенных в нейтраль трансформаторов на устойчивость электрической системы.
3. **Задача:** Из условия устойчивости параллельной работы системы методом площадей определить предельный угол отключения короткого замыкания на одной из цепей двухцепной ЛЭП. ( $P_0 = 0,6$ ;  $P_{1np} = 1,7$ ;  $P_{2np} = 0,6$ ;  $P_{3np} = 1,5$ )

Утверждено на заседании кафедры		Электрические системы
		(наименование кафедры полностью)
Протокол	№ от 2022 г	
Зав. кафедрой	(подпись)	Полковниченко Д.В.
		(Ф.И.О.)
Экзаменатор	(подпись)	Ларин А.М.
		(Ф.И.О.)

## КРИТЕРИИ оценивания экзаменационной работы

по дисциплине «Электромеханические переходные процессы в электрических системах» для обучающихся по направлению 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника (профиль - Электроэнергетические системы и сети)

Форма проведения экзамена – письменная по билетам. Экзаменационные билеты содержат два теоретических вопроса и одну задачу. Каждый теоретический вопрос требует конкретного ответа. При необходимости отвечающий должен сопровождать свои ответы поясняющими рисунками (схемы, диаграммы, характер изменения параметров переходного режим, математические соотношения и др.).

Решение задачи требуют демонстрации практических навыков, полученных студентом в ходе практических занятий, выполнения лабораторных работ и индивидуального задания.

Полный ответ на теоретический вопрос оценивается максимальным баллом 15 по шкале ECTS. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос обучающийся получает ноль баллов.

При подсчете баллов за каждый вопрос от максимального количества баллов снимается за:

- неполное раскрытие вопроса: от 3 до 8 баллов;
- существенные ошибки: от 5 до 10 баллов;
- мелкие ошибки: от 1 до 3 баллов.

Практическое задание, выполненное в полном объеме, оценивается максимальным баллом 20. При отсутствии выполнения задания обучающийся получает ноль баллов.

При подсчете баллов за решение задачи от максимального количества баллов снимается за:

- неполное решение: от 5 до 15 баллов;
- существенные ошибки по ходу решения: от 10 до 15 баллов;
- мелкие ошибки: от 2 до 5 баллов.

Полученные баллы за ответы на вопросы билета суммируются и с учётом результатов текущего контроля работы студента выводится итоговая оценка по 100-балльной шкале.

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ESTS.

Утверждено на заседании кафедры «Электрические системы»,  
протокол № \_\_\_\_ от \_\_. \_\_. 20\_\_ г.

Заведующий кафедрой \_\_\_\_\_ Полковниченко Д.В.

### 4.3 Критерии оценивания

Текущий контроль знаний студента очной формы обучения осуществляется по результатам практических занятий, лабораторных работ; студента заочной формы обучения – по результатам выполнения контрольной работы.

Выполнение лабораторных работ с защитой отчёта, выполнение индивидуального задания (контрольной работы), предусмотренных рабочей программой дисциплины, является необходимым условием допуска студента к экзамену.

Распределение баллов текущего контроля работы студента на протяжении семестра приведено в таблице 1.

Таблица 1 – Распределение баллов текущего контроля

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
Для студентов очной формы обучения		
Отчёт по лабораторной работе	2	Задание выполнено правильно, решения обоснованы, приведен анализ полученного результата
	1	Задание выполнено в целом правильно, решения не всегда обоснованы, возникли трудности в объяснении полученных результатов
<b>Итого по лабораторным работам (максимально возможное)</b>	<b>34</b>	Из расчёта 17 аудиторных занятий для проведения лабораторных работ. Оценивается каждое занятие.

Форма контроля	Возможное количество баллов	Примечание
<b>Контрольные опросы на лекциях</b>	<b>4</b>	Полные аргументированные ответы на поставленные вопросы
	<b>2</b>	Неполное раскрытие вопросов
<b>Итого по контрольным опросам на лекциях (максимально возможное)</b>	<b>16</b>	Из расчёта проведения 4-х опросов по 4-м рассматриваемым темам. Оценивается каждый опрос.
<b>ИТОГО:</b>	<b>50</b>	Максимально возможное
Для студентов заочной формы обучения		
Выполнение контрольной работы (индивидуального задания)	<b>50</b>	При выполнении задания приняты правильные решения, изложение материала аргументированное, последовательное, работа оформлена без замечаний
	<b>30</b>	Задание выполнено в целом правильно, но решения не всегда обоснованы, имеются замечания по оформлению.
<b>ИТОГО:</b>	<b>50</b>	Максимально возможное

**Промежуточная аттестация** по результатам освоения дисциплины в семестре проводится в форме семестрового экзамена. Форма проведения экзамена – письменная. Экзаменационный билет включает в себя два теоретических вопроса, каждый из которых требует конкретного ответа, и практическое задание. При оценивании студента на экзамене преподаватель руководствуется критериями, приведенными в таблице 2.

Максимальное количество баллов за ответ на вопрос экзаменационного билета засчитывается студенту в случае, если ответ подтверждает владение студентом знаниями в полном объеме учебной программы, материал изложен в логической последовательности с выделением главного, содержит точные формулировки, сопровождается иллюстрирующими схемами и рисунками (при необходимости).

В случае, если ответ на вопрос не в полной мере отвечает приведенным требованиям, студенту засчитывается меньшее количество баллов в соответствии с вышеприведенными критериями. При отсутствии правильного ответа на поставленный вопрос студент получает 0 баллов.

Таблица 2 – Распределение баллов по семестровому экзамену

Форма контроля		Максимально возможное количество баллов
Ответ на вопросы экзаменационного билета	вопрос 1	15
	вопрос 2	15
	практическое задание	20
<b>ИТОГО:</b>		<b>50</b>

**Итоговая оценка** определяется путем суммирования количества баллов по результатам текущего контроля и количества баллов по результатам семестрового экзамена. **Максимально возможное количество баллов – 100.**

Полученная оценка по 100-балльной шкале определяет оценку по государственной шкале и шкале ECTS:

Сумма баллов по 100-балльной шкале	Оценка по шкале ECTS	Оценка по государственной шкале
90-100	A	Отлично
80-89	B	Хорошо
75-79	C	
70-74	D	Удовлетворительно
60-69	E	
35-59	FX	Неудовлетворительно
0-34	F*	

\* – с обязательным повторным изучением дисциплины.

#### 4.4 Пример текущего опроса на практических (семинарских) занятиях и лабораторных работах

##### Пример текущего опроса на практических занятиях

На примере темы «Практические критерии статической устойчивости электрической системы».

1. Энергетическая трактовка практических критериев.
2. Прямой практический критерий статической устойчивости электрической системы.
3. Косвенный критерий статической устойчивости  $\frac{d\Delta Q_{G\Sigma}}{du} < 0$ .
4. Косвенный критерий статической устойчивости  $\frac{dE}{du} > 0$ .
5. Какой вид неустойчивости невозможен при выполнении практических критериев?
6. Прямой практический критерий статической устойчивости асинхронного двигателя.
7. Для какой схемы и для чего применяют прямой практический критерий?
8. Для какой схемы и для чего применяют косвенный практический критерий  $\frac{d\Delta Q_{G\Sigma}}{du} < 0$ ?
9. Для какой схемы и для чего применяют косвенный практический критерий  $\frac{dE}{du} > 0$ ?

##### Пример текущего опроса на лабораторных занятиях

На примере темы «Исследование статической устойчивости нерегулируемого синхронного генератора».

1. Что называют синхронизирующей мощностью?
2. Что понимают под операцией линеаризации нелинейных функций? Какой математический смысл линеаризации угловой характеристики мощности?
4. Дайте математическое обоснование характера свободного переходного

процесса в простейшей системе, если корни характеристического уравнения мнимые, комплексно-сопряженные.

5. В чем заключается расхождение между синхронными ЭДС  $E_q$  и  $E_{qe}$ ?

6. Укажите причину возникновения явления самовозбуждения, связанную с ошибками в процессе включения синхронной машины на параллельную работу в ЭЭС.

7. В чем заключается характер влияния активного сопротивления на неустойчивость вида самовозбуждения (самораскачивания)?

8. Почему граница статической устойчивости нерегулируемой системы определяется при постоянстве синхронной ЭДС, а не переходной ЭДС, несмотря на то, что в связи с появлением свободных токов при движении ротора это допущение было бы более логичным?

9. Какая природа и математические признаки самораскачивания (самовозбуждения)?

10. Какой образцовый порядок значений частоты и периода собственных колебаний при движении "в малом"?

## 5 РЕКОМЕНДУЕМАЯ ЛИТЕРАТУРА

### *I Основная литература*

1. Долгов, А. П. Переходные электромеханические процессы электрических систем : учебное пособие / А. П. Долгов. — Новосибирск : Новосибирский государственный технический университет, 2019. — 236 с. — ISBN 978-5-7782-3837-4. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/99204.html>.

2. Цыгулёв, Н. И. Основы электромеханических переходных процессов в электроэнергетических системах : учебное пособие / Н. И. Цыгулёв, В. А. Шелест, В. К. Хлебников. — Ростов-на-Дону : Донской государственный технический университет, 2018. — 157 с. — ISBN 978-5-7890-1642-8. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/117821.html>.

### *II Дополнительная литература*

3. Сенько, В. В. Вопросы устойчивости электроэнергетических систем : учебное пособие / В. В. Сенько. — Самара : Самарский государственный технический университет, ЭБС АСВ, 2021. — 118 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/111754.html>.

4. Мамонтов, Е. В. Электромеханические переходные процессы в системах электроснабжения : учебное пособие / Е. В. Мамонтов, Р. Н. Дятлов. — Рязань : Рязанский государственный радиотехнический университет, 2019. — 64 с. — Текст : электронный // Цифровой образовательный ресурс IPR SMART : [сайт]. — URL: <https://www.iprbookshop.ru/121428.html>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

## 6 УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### Учебно-методические издания, разработанные в ДОННТУ:

5. Методические указания к практическим занятиям по дисциплине "Электромеханические переходные процессы в электрических системах" [Электронный ресурс] : для обучающихся по направлению подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника", (профили подготовки "Электроэнергетические системы и сети", "Электрические станции") / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем ; сост.: А. М. Ларин, А. А. Булгаков. - 1 Мб. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2022. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. Доступ из личного кабинета студента.

6. Методические указания к лабораторным работам по дисциплине "Электромеханические переходные процессы в электрических системах" [Электронный ресурс] : для обучающихся направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" : (профили подготовки "Электроэнергетические системы и сети", "Электрические станции") / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем ; [сост.: А. М. Ларин, Д. В. Полковниченко]. - 702 Кб. - Донецк, 2020. - 1 файл. - Систем. требования: Acrobat Reader. <http://ed.donntu.ru/books/21/m6857.pdf>.

7. Методические рекомендации к самостоятельной работе по дисциплине "Электромеханические переходные процессы в электрических системах" : для обучающихся направления подготовки 13.03.02 "Электроэнергетика и электротехника" (профиль подготовки "Электроэнергетические системы и сети", "Электрические станции") / ГОУВПО "ДОННТУ", Каф. электр. систем ; сост.: А. М. Ларин, А. А. Булгаков. - Донецк : ГОУВПО "ДОННТУ", 2022. - URL: <http://ed.donntu.ru/books/22/m8683.pdf>.

### Электронно-информационные ресурсы

ЭБС ДОННТУ – <http://donntu.ru/library>.

ЭБС IPR SMART - <http://www.iprbookshop.ru/>.

## 7 МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### 7.1 Лекционные занятия:

1. Учебная лаборатория №8.509, учебный корпус 8, для проведения занятий лекционного типа, лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование: С П-1100 (ОС - Windows XP Professional x86 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 3.3.0.4 (бесплатная версия), SMathStudio-0.98 (бесплатная версия), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, столы аудиторные, стулья ученические; демонстрационные стенды и плакаты).



## **7.2 Практические занятия:**

2. Учебная лаборатория №8.509, учебный корпус 8, для проведения занятий лекционного типа, лабораторного типа, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации (мультимедийное оборудование: С II-1100 (ОС - Windows XP Professional x86 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 3.3.0.4 (бесплатная версия), SMathStudio-0.98 (бесплатная версия), мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска аудиторная, столы аудиторные, стулья ученические; демонстрационные стенды и плакаты).

## **7.3 Лабораторные работы:**

3. Дисплейный класс №8.512а, учебный корпус 8, для проведения лабораторных занятий, групповых и индивидуальных консультаций (мультимедийное оборудование: компьютеры Cel/2.53GHz/512Mb/40Gb, Cel/2.53GHz/256Mb/40Gb, Intel Pentium 4 3Ghz/512M, Core i3 3.0 Ghz (ОС - Windows XP Professional x86 и Windows 7 (академическая подписка DreamSparkPremium), LibreOffice 3.3.0.4 (бесплатная версия), SMathStudio-0.98 (бесплатная версия), Mathcad Express (бесплатная версия), LibraCAD 2.1 (бесплатная лицензия), FreeMat (бесплатная лицензия) Digsilent PowerFactory 14.0 (лицензия), мониторы TFT-17'', мультимедийный проектор, экран; специализированная мебель: доска передвижная, столы аудиторные, стулья ученические).

## **7.4 Самостоятельная работа:**

4. Помещения для самостоятельной работы с возможностью подключения к сети "Интернет" и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду организации: читальные залы, учебные корпуса 2,3 (Компьютерная техника с возможностью подключения к сети «Интернет» и обеспечением доступа в электронную информационно-образовательную среду (ЭИОС ДОН-НТУ) и электронно-библиотечную систему (ЭБС IPRbooks), а также возможностью индивидуального неограниченного доступа обучающихся в ЭБС и ЭИОС посредством Wi-Fi с персональных мобильных устройств. ОС- Microsoft Windows 7, OpenOffice 2.0.3 - общественная лицензия MPL 2.0, Grub loader for ALT Linux - лицензия GNU LGPL v3, Mozilla Firefox - лицензия MPL2.0, Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) - лицензия GNU GPL).