



МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования

«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

УТВЕРЖДАЮ:
Директор института
С.И. Лукьянов
«27» сентября 2017 г.



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ (МОДУЛЯ)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Направление подготовки (специальность)
13.03.02 Электроэнергетика и электротехника

Направленность (профиль) программы
Электроснабжение

Уровень высшего образования – бакалавриат

Программа подготовки – академический бакалавриат

Форма обучения
Заочная

Институт
Кафедра
Курс

энергетики и автоматизированных систем
электроснабжения промышленных предприятий
5

Рабочая программа составлена на основе ФГОС ВО по направлению подготовки 13.03.02 Электроэнергетика и электротехника, утвержденного приказом МОиН РФ от 3 сентября 2015 г. № 955.

Рабочая программа рассмотрена и одобрена на заседании кафедры электроснабжения промышленных предприятий «05» сентября 2017 г., протокол № 1.

Зав. кафедрой  / Г.П. Корнилов/
(подпись) (И.О. Фамилия)

Рабочая программа одобрена методической комиссией института энергетики и автоматизированных систем «27» сентября 2017 г., протокол № 2.

Председатель  / С.И. Лукьянов/
(подпись) (И.О. Фамилия)

Рабочая программа составлена: Абдулвелеевым И.Р. – старший преподаватель кафедры электроснабжения промышленных предприятий.

 / И.Р. Абдулвелеев/
(подпись) (И.О. Фамилия)

Рецензент:

начальник ЦЭСиП ПАО «ММК», канд. техн. наук

 / Н.А. Николаев/
(подпись) (И.О. Фамилия)



1 Цели освоения дисциплины

Целью освоения дисциплины «Математическое моделирование в электроэнергетических системах» является изучение методов математического моделирования основных элементов системы электроснабжения и сложносвязанных электрических сетей с использованием современных математических пакетов Mathworks Matlab и National Instruments Multisim.

Задачи дисциплины – усвоение студентами:

- методов математического моделирования основных элементов систем электроснабжения, таких как: генераторы, двигатели постоянного и переменного тока, трансформаторы и т.д., а также способов моделирования сложносвязанных электрических сетей с использованием специализированных математических пакетов;
- основных приемов работы в математических пакетах для моделирования сложных электротехнических комплексов, таких как Mathworks Matlab с приложением Simulink, а также National Instruments Multisim;
- устройства, принципа работы и способов моделирования систем автоматического регулирования скорости, тока, напряжения и возбуждения двигателей и генераторов.

2 Место дисциплины в структуре образовательной программы подготовки бакалавра

Дисциплина «Математическое моделирование в электроэнергетических системах», входящая в вариативную часть дисциплин ОП направления подготовки 13.03.02, занимает важное место в образовательной программе бакалавриата. Знания, полученные студентами после изучения данной дисциплины, используются в следующих специальных дисциплинах бакалавриата – «Электроснабжение» и «Управление качеством электрической энергии».

Изучение дисциплины также позволит магистрантам составлять математические модели электротехнических комплексов и сложносвязанных электрических сетей при написании выпускной квалификационной работы. В дальнейшем, в процессе профессиональной деятельности, знания, полученные в процессе изучения данной дисциплины, позволят специалисту-бакалавру определять эффективные производственно-технологические режимы работы объектов электроэнергетики и электротехники. Также эти знания будут полезны для различных видов научно-исследовательской деятельности.

Дисциплина изучается в 5 семестре и относится к дисциплинам математического и естественнонаучного цикла, вариативная часть – дисциплины по выбору.

Изучение дисциплины основывается на теоретических знаниях, полученных из дисциплин общенаучного и профессионального цикла бакалавриата:

«Информатика»: основные сведения о языках программирования;

«Математические задачи энергетики и применение ЭВМ»: основы статистического анализа, вопросы устойчивости для электроэнергетических систем, способы математического описания сложносвязанных электрических сетей;

«Теоретические основы электротехники»: математическое описание линейных и нелинейных электрических цепей постоянного и переменного тока, исследование переходных процессов в электрических цепях;

«Электрические машины»: математическое описание процессов, происходящих в двигателях и генераторах постоянного/переменного тока и в силовых трансформаторах.

Дисциплина должна давать теоретическую подготовку в области математического моделирования основных элементов электроснабжения и сложносвязанных электрических систем. В курсе также должна быть дана информация о существующих математических пакетах для моделирования сложных динамических систем, таких как Mathworks Matlab с приложением Simulink и National Instruments Multisim. Помимо этого,

должны быть изучены методы анализа результатов математического моделирования и использования их при проектировании систем электроснабжения промышленных предприятий.

3 Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины (модуля) и планируемые результаты обучения

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
ПК-2 Способность обрабатывать результаты экспериментов	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные понятия и определения теории обработки экспериментальных данных; – базовые методики обработки результатов экспериментов, полученных в ходе математического моделирования; – основные методики обработки результатов экспериментов, полученных при исследовании действующих электротехнологических установок – электродуговых печей, прокатных станов, печных трансформаторов и т.д.
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – обрабатывать результаты экспериментов с учетом степени адекватности математической модели физического объекта; – выделять ключевые характеристики, исходя из результатов экспериментов, полученных при исследовании действующих электротехнологических установок; – оценивать основные технологические показатели и показатели качества электроэнергии на основании анализа результатов эксперимента.
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – практическими навыками представления полученных экспериментальных результатов; – методами и навыками, необходимыми для обработки и анализа значительных объемов экспериментальных данных; – способами оценки основных технологических показателей и показатели качества электроэнергии на основании анализа результатов, полученных в ходе математического моделирования.
ПК-4 Способностью проводить обоснование проектных решений	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные определения и понятия для обоснования проектных решений; – математические методы обоснования проектных решений; – содержание методов обоснования проектных решений.
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – выделять основные методы обоснования проектных решений; – использовать методы математического моделирования для обоснования проектных решений при заданных условиях конкретного научно-технического проекта; – научно обосновывать результаты проектных решений.
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – практическими навыками обобщения результатов проектных решений; – методами оценивания значимости и практической пригодности результатов проектных решений; – навыками и методиками принятия проектных решений на основании математического моделирования.
ПК-7 Готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры	

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения
технологического процесса по заданной методике	
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные режимы работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования; – особенности работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования в различных эксплуатационных и аварийных режимах; – физические и математические зависимости параметров работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования в различных эксплуатационных и аварийных режимах.
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – устанавливать причинно-следственные связи между параметрами технологического процесса и нормальным режимом работы электрооборудования; – определять требуемые режимы работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации и технологического процесса; – определять на математической модели номинальные и критические параметры технологического процесса в заданном эксплуатационном режиме.
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – практическими навыками математического моделирования технологического процесса; – методиками и навыками расчета требуемых параметров электрооборудования для заданного технологического процесса на математической модели объекта; – способами расчета требуемых параметров технологического процесса на математической модели объекта с учетом выбора оптимального режима эксплуатации электрооборудования.

В результате освоения дисциплины магистрант должен:

- **знать** методы математического моделирования отдельных элементов систем электроснабжения;
- **уметь** создавать математические модели сложноразветвленных электрических сетей на основе структурного моделирования с помощью математических пакетов; анализировать результаты математического моделирования и использовать их при проектировании систем электроснабжения;
- **владеть** основными приемами работы в математических пакетах моделирования электротехнических комплексов.

4 Структура и содержание дисциплины (модуля)

Общая трудоемкость дисциплины составляет 4 зачетные единицы 144 акад. часа, в том числе:

- контактная работа – 13 акад. часов:
 - аудиторная –12 акад. часов;
 - внеаудиторная –1 акад. час;
- самостоятельная работа – 127.1 акад. часов;
- подготовка к зачету – 3.9 акад. часа

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич. занятия				
1. Введение в математическое моделирование. Основные виды и свойства математических моделей	5	1		1/1И	20	самостоятельное изучение учебной литературы; конспектирование; подготовка к устному опросу №1	Устный опрос №1	ПК-2, ПК-4, ПК-7
2. Основы моделирования в математических пакетах Mathworks Matlab с приложением Simulink и National Instrument Multisim		1		1/1И	20	самостоятельное изучение учебной литературы; конспектирование; подготовка к устному опросу №2; выполнение домашнего задания №1;	Устный опрос №2; домашнее задание №1;	
3. Составление математических моделей отдельных элементов систем электроснабжения		1		1	20	самостоятельное изучение учебной литературы; конспектирование; подготовка к устному опросу №3; выполнение домашнего задания №2;	Устный опрос №3; домашнее задание №2;	
4. Исследование основных характеристик типовых динамических звеньев в математическом пакете Matlab с приложением Simulink, построение частотных характеристик		1		1	20	самостоятельное изучение учебной литературы; конспектирование; подготовка к устному опросу №4; выполнение домашнего задания №3;	Устный опрос №4; домашнее задание №3;	

Раздел/ тема дисциплины	Курс	Аудиторная контактная работа (в акад. часах)			Самостоятельная работа (в акад. часах)	Вид самостоятельной работы	Форма текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации	Код и структурный элемент компетенции
		лекции	лаборат. занятия	практич. занятия				
5. Моделирование замкнутой САР ТП-Д с обратными связями по току, напряжению и скорости	5	1		1	20	самостоятельное изучение учебной литературы; конспектирование; подготовка к устному опросу №5; выполнение домашнего задания №4;	Устный опрос №5; домашнее задание №4;	ПК-2, ПК-4, ПК-7
6. Моделирование сложнзамкнутой электрической сети в математическом пакете Matlab с приложением Simulink		1		1	27,1	самостоятельное изучение учебной литературы; конспектирование; подготовка к устному опросу №6; выполнение домашнего задания №5;	Устный опрос №6; домашнее задание №5;	
Итого по курсу	5	6		6/2И	127,1			
Итого по дисциплине		6		6/2И	127,1		Зачёт с оценкой	

И – в том числе, часы, отведенные на работу в интерактивной форме.

5. Образовательные и информационные технологии

Для реализации предусмотренных видов учебной работы в качестве образовательных технологий в преподавании дисциплины «Математическое моделирование в электроэнергетических системах» используются традиционная и модульно-компетентностная технологии.

Передача необходимых теоретических знаний и формирование основных представлений по курсу «дисциплины «Математическое моделирование в электроэнергетических системах» происходит с использованием мультимедийного оборудования.

Лекции проходят в традиционной форме, в форме лекций-консультаций и проблемных лекций. Теоретический материал на проблемных лекциях является результатом усвоения полученной информации посредством постановки проблемного вопроса и поиска путей его решения. В ходе проведения лекционных занятий предусматривается: 1) использование электронного демонстрационного материала по темам, требующим иллюстрации работы специализированного программного обеспечения, сложных структурных схем и большого объема графического материала; 2) использование электронных учебников по отдельным темам занятий; 3) активные и интерактивные формы обучения: вариативный опрос, дискуссии, устный опрос и т.д.

При проведении практических занятиях используются работа в команде и методы ИТ.

Самостоятельная работа стимулирует студентов в процессе подготовки домашних заданий, при работе на практических занятиях и при подготовке к итоговой аттестации.

6 Учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы обучающихся

Аудиторная самостоятельная работа студентов на практических занятиях заключается: 1) в разработке математических моделей элементов систем электроснабжения и их реализации в прикладных пакетах Mathworks Matlab и National Instruments Multisim; 2) в проведении самостоятельных исследований с последующим анализом и коллективным обсуждением результатов.

Внеаудиторная самостоятельная работа студентов включает в себя: 1) чтение и проработка лекционного материала и рекомендованной литературы; 2) выполнение домашних заданий; 3) подготовку к устным опросам и зачету с оценкой.

Примеры заданий для устных опросов:

Устный опрос №1

1. Дайте определение понятию «моделирование».
2. Назовите классификацию моделей по принципу реализации, по точности и по фактору времени.
3. Каковы ключевые отличия математического и физического моделирования?
4. Какие требования предъявляются к математическим моделям?
5. Что такое адекватность модели?

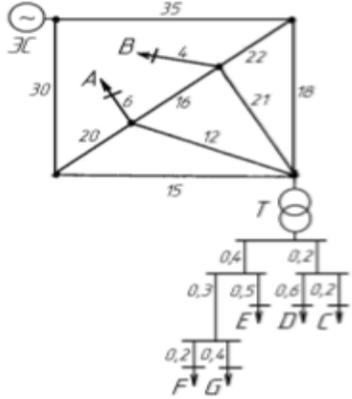
Устный опрос №2

1. Назовите основные типовые динамические звенья
2. Что такое переходные и импульсные функции звеньев?
3. Что показывают частотные характеристики звеньев?
4. Какая САР может считаться устойчивой?
5. По каким параметрам оценивается качество САР?

7 Оценочные средства для проведения промежуточной аттестации

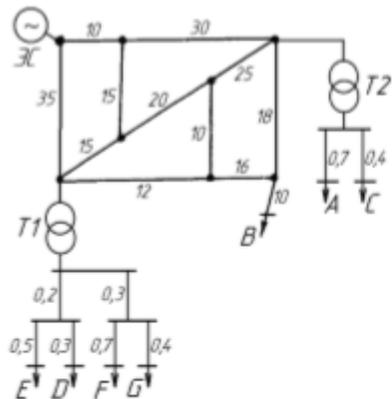
а) Планируемые результаты обучения и оценочные средства для проведения промежуточной аттестации:

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
ПК-2 Способность обрабатывать результаты экспериментов		
Знать	<p>– основные понятия и определения теории обработки экспериментальных данных;</p> <p>– базовые методики обработки результатов экспериментов, полученных в ходе математического моделирования;</p> <p>– основные методики обработки результатов экспериментов, полученных при исследовании действующих электротехнологических установок – электродуговых печей, прокатных станов, печных трансформаторов и т.д.</p>	<p>Перечень теоретических вопросов к зачёту:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Понятие моделирования. 2. Классификация математических моделей по принципу реализации, по точности, по фактору времени (статические и динамические). 3. Математическое моделирование. Требования, предъявляемые к математическим моделям. 4. Понятия подобия и адекватности модели. 5. Понятие эксперимента и его классификация. 6. Основы работы в математическом пакете Mathworks Matlab. 7. Основы работы в математическом пакете National Instrumentst Multisim. 8. Математическая модель трехфазного трансформатора с учетом насыщения магнитопровода. 9. Математическая модель синхронного генератора. 10. Математическая модель двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. 11. Математическая модель асинхронного двигателя. 12. Математическая модель линии с сосредоточенными параметрами. <p><i>Методические рекомендации для подготовки к зачету</i></p> <p>Подготовка к промежуточной аттестации (зачет) по дисциплине заключается в самостоятельной детальной проработке лекционного материала и материала, вынесенного на самостоятельное изучение с использованием рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Рекомендуется производить подготовку систематически, используя все время, предусмотренное учебным планом для самостоятельной работы.</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																										
<p>Уметь</p>	<p>– обрабатывать результаты экспериментов с учетом степени адекватности математической модели физического объекта;</p> <p>– выделять ключевые характеристики, исходя из результатов экспериментов, полученных при исследовании действующих электротехнологических установок;</p> <p>– оценивать основные технологические показатели и показатели качества электроэнергии на основании анализа результатов эксперимента.</p>	<p>Примерные практические задания к зачёту:</p>  <p>1. В математическом пакете MatLab с приложением Simulink составить имитационную модель сложной замкнутой электрической сети. Электрические нагрузки представить источниками тока с фиксированными значениями амплитуды и фазы. Внешнюю питающую сеть представить источником ЭДС бесконечной мощности.</p> <p>2. Провести расчет установившегося режима с использованием метода Phasor.</p> <p>3. Измерить токи и напряжения во всех узлах и ветвях электрической сети, а также провести измерение активной, реактивной и полной мощности, передаваемой по каждой ветви.</p> <p>4. При расчете принять мощность в узлах нагрузки A, B, C и D следующей: $S_A = 4 + j18$ МВА, $S_B = 22 + j13$ МВА, $S_C = 28 + j15$ МВА, $S_D = 31 + j17$ МВА.</p> <table border="1" data-bbox="1131 981 1989 1295"> <thead> <tr> <th colspan="2">Номинальное напряжение, кВ</th> <th colspan="2">Марка трансформаторов</th> <th colspan="3">Эл. нагрузка узлов сети, МВА</th> </tr> <tr> <th>ВН</th> <th>НН</th> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>S_E</th> <th>S_F</th> <th>S_G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>110</td> <td>10</td> <td>2 x ТДЦ - 40</td> <td>-</td> <td>$10 + j8$</td> <td>$16 + j12$</td> <td>$5 + j3$</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН</th> <th colspan="3">Марка и сечение кабелей НН</th> </tr> <tr> <td colspan="2">линии связи с энергосистемой</td> <td colspan="2">прочие ЛЭП</td> <td colspan="2">отходящие от трансформаторов</td> <td>прочие ЛЭП</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1 x AC-500</td> <td colspan="2">2 x AC-240</td> <td colspan="2">10 x ААБ-240</td> <td>8 x ААБ-185</td> </tr> </tbody> </table>	Номинальное напряжение, кВ		Марка трансформаторов		Эл. нагрузка узлов сети, МВА			ВН	НН	T1	T2	S_E	S_F	S_G	110	10	2 x ТДЦ - 40	-	$10 + j8$	$16 + j12$	$5 + j3$	Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН				Марка и сечение кабелей НН			линии связи с энергосистемой		прочие ЛЭП		отходящие от трансформаторов		прочие ЛЭП	1 x AC-500		2 x AC-240		10 x ААБ-240		8 x ААБ-185
Номинальное напряжение, кВ		Марка трансформаторов		Эл. нагрузка узлов сети, МВА																																								
ВН	НН	T1	T2	S_E	S_F	S_G																																						
110	10	2 x ТДЦ - 40	-	$10 + j8$	$16 + j12$	$5 + j3$																																						
Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН				Марка и сечение кабелей НН																																								
линии связи с энергосистемой		прочие ЛЭП		отходящие от трансформаторов		прочие ЛЭП																																						
1 x AC-500		2 x AC-240		10 x ААБ-240		8 x ААБ-185																																						

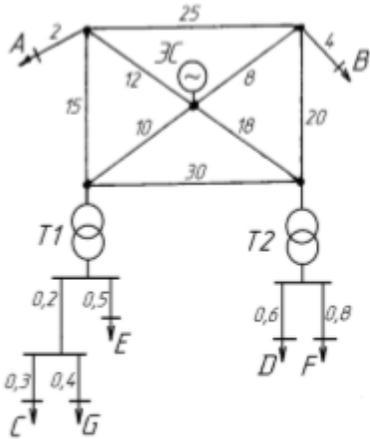
Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – практическими навыками представления полученных экспериментальных результатов; – методами и навыками, необходимыми для обработки и анализа значительных объемов экспериментальных данных; – способами оценки основных технологических показателей и показатели качества электроэнергии на основании анализа результатов, полученных в ходе математического моделирования. 	<p>Примеры домашних заданий:</p> <p><u>Основы работы в математическом пакете Mathworks Matlab</u> (графический интерфейс программы; основные операции с массивами данных; основы встроенного языка программирования; основные библиотеки приложения Simulink; работа с основными блоками электрических элементов библиотеки SimPowerSystem; методы расчета моделей; оформление результатов математического моделирования) (по вариантам).</p> <p><u>Основы работы в математическом пакете National Instrument Multisim</u> (графический интерфейс программы; работа с основными блоками электрических элементов; оформление результатов математического моделирования) (по вариантам).</p>
ПК-4 Способностью проводить обоснование проектных решений		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные определения и понятия для обоснования проектных решений; – математические методы обоснования проектных решений; – содержание методов обоснования проектных решений. 	<p>Перечень теоретических вопросов к зачёту:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Математическая модель линии с распределенными параметрами. 2. Типовые динамические звенья. 3. Переходные и импульсные функции динамических звеньев. 4. Частотные характеристики динамических звеньев. 5. Структурные схемы и их преобразование. 6. Построение логарифмических частотных характеристик динамических звеньев. 7. Структурные схемы замкнутых и разомкнутых САР. 8. Стационарные режимы САР. 9. Устойчивость линейных САР. 10. Качество систем автоматического регулирования. 11. Коррекция САР. 12. Оптимальные линейные САР. 13. Системы автоматического регулирования, настроенные на модульный и симметричный оптимум.

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p><i>Методические рекомендации для подготовки к зачету</i></p> <p>Подготовка к промежуточной аттестации (зачет) по дисциплине заключается в самостоятельной детальной проработке лекционного материала и материала, вынесенного на самостоятельное изучение с использованием рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Рекомендуется производить подготовку систематически, используя все время, предусмотренное учебным планом для самостоятельной работы.</p>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – выделять основные методы обоснования проектных решений; – использовать методы математического моделирования для обоснования проектных решений при заданных условиях конкретного научно-технического проекта; – научно обосновывать результаты проектных решений. 	<p>Примерные практические задания к зачёту:</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																										
		<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <ol style="list-style-type: none"> 1. В математическом пакете MatLab с приложением Simulink составить имитационную модель сложносамкнутой электрической сети. Электрические нагрузки представить источниками тока с фиксированными значениями амплитуды и фазы. Внешнюю питающую сеть представить источником ЭДС бесконечной мощности. 2. Провести расчет установившегося режима с использованием метода Phasor. 3. Измерить токи и напряжения во всех узлах и ветвях электрической сети, а также провести измерение активной, реактивной и полной мощности, передаваемой по каждой ветви. 4. При расчете принять мощность в узлах нагрузки A, B, C и D следующей: $S_A = 19 + j12$ МВА, $S_B = 35 + j25$ МВА, $S_C = 14 - j16$ МВА, $S_D = 25 + j10$ МВА. </div> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Номинальное напряжение, кВ</th> <th colspan="2">Марка трансформаторов</th> <th colspan="3">Эл. нагрузка узлов сети, МВА</th> </tr> <tr> <th>ВН</th> <th>НН</th> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>S_E</th> <th>S_F</th> <th>S_G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>110</td> <td>10</td> <td>2 x ТДЦ - 80</td> <td>1 x ТДЦ - 80</td> <td>10 + j8</td> <td>16 + j12</td> <td>5 + j3</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН</th> <th colspan="3">Марка и сечение кабелей НН</th> </tr> <tr> <td colspan="2">линии связи с энергосистемой</td> <td colspan="2">прочие ЛЭП</td> <td>отходящие от трансформаторов</td> <td colspan="2">прочие ЛЭП</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1 x AC-500</td> <td colspan="2">2 x AC-240</td> <td>10 x ААБ-240</td> <td colspan="2">8 x ААБ-185</td> </tr> </tbody> </table>	Номинальное напряжение, кВ		Марка трансформаторов		Эл. нагрузка узлов сети, МВА			ВН	НН	T1	T2	S _E	S _F	S _G	110	10	2 x ТДЦ - 80	1 x ТДЦ - 80	10 + j8	16 + j12	5 + j3	Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН				Марка и сечение кабелей НН			линии связи с энергосистемой		прочие ЛЭП		отходящие от трансформаторов	прочие ЛЭП		1 x AC-500		2 x AC-240		10 x ААБ-240	8 x ААБ-185	
Номинальное напряжение, кВ		Марка трансформаторов		Эл. нагрузка узлов сети, МВА																																								
ВН	НН	T1	T2	S _E	S _F	S _G																																						
110	10	2 x ТДЦ - 80	1 x ТДЦ - 80	10 + j8	16 + j12	5 + j3																																						
Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН				Марка и сечение кабелей НН																																								
линии связи с энергосистемой		прочие ЛЭП		отходящие от трансформаторов	прочие ЛЭП																																							
1 x AC-500		2 x AC-240		10 x ААБ-240	8 x ААБ-185																																							

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – практическими навыками обобщения результатов проектных решений; – методами оценивания значимости и практической пригодности результатов проектных решений; – навыками и методиками принятия проектных решений на основании математического моделирования. 	<p>Примеры домашних заданий:</p> <p>Математическая модель трехфазного трансформатора с учетом насыщения магнитопровода. Математическая модель синхронного генератора. Математические модели двигателя постоянного тока с независимым возбуждением и асинхронного двигателя. Математические модели линий с сосредоточенными и с распределенными параметрами (по вариантам).</p> <p>Составление схемы замещения сложнотокмоутой электрической сети. Расчет параметров схемы замещения. Реализация математической модели сложнотокмоутой электрической сети в программных пакетах Mathworks Matlab и National Instruments Multisim. Особенности расчета токов и напряжений в сложнотокмоутой электрической цепи в векторной форме. Анализ потерь активной мощности в сложнотокмоутой электрической сети.</p>
ПК-7 Готовность обеспечивать требуемые режимы и заданные параметры технологического процесса по заданной методике		
Знать	<ul style="list-style-type: none"> – основные режимы работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования; – особенности работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования в различных эксплуатационных и аварийных режимах; – физические и математические зависимости параметров работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования в различных эксплуатационных и аварийных режимах. 	<p>Перечень теоретических вопросов к зачёту:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Математические модели силовой части тиристорных преобразователей с 6-ти и 12-ти импульсными схемами выпрямления. 2. Математическая модель системы импульсно-фазового управления. 3. Основные энергетические и электрические показатели тиристорных преобразователей. 4. Высшие гармоники тока, генерируемые тиристорным преобразователем. 5. Принципы построения двухконтурной системы подчиненного регулирования скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения. 6. Составление схемы замещения сложнотокмоутой электрической сети. 7. Расчет параметров схемы замещения. 8. Реализация математической модели сложнотокмоутой электрической сети в программных пакетах Mathworks Matlab и National Instruments Multisim. 9. Особенности расчета токов и напряжений в сложнотокмоутой электрической цепи в векторной форме. 10. Анализ потерь активной мощности в сложнотокмоутой электрической сети

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
		<p><i>Методические рекомендации для подготовки к зачету</i></p> <p>Подготовка к промежуточной аттестации (зачет) по дисциплине заключается в самостоятельной детальной проработке лекционного материала и материала, вынесенного на самостоятельное изучение с использованием рекомендуемой основной и дополнительной литературы. Рекомендуется производить подготовку систематически, используя все время, предусмотренное учебным планом для самостоятельной работы.</p>
Уметь	<ul style="list-style-type: none"> – устанавливать причинно-следственные связи между параметрами технологического процесса и нормальным режимом работы электрооборудования; – определять требуемые режимы работы низковольтного и высоковольтного электрооборудования в зависимости от условий эксплуатации и технологического процесса; – определять на математической модели номинальные и критические параметры технологического процесса в заданном эксплуатационном режиме. 	<p style="text-align: center;">Примерные практические задания к зачёту:</p>

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства																																										
		<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: flex-start;"> <div style="width: 45%;">  </div> <div style="width: 50%;"> <ol style="list-style-type: none"> 1. В математическом пакете MatLab с приложением Simulink составить имитационную модель сложной замкнутой электрической сети. Электрические нагрузки представить источниками тока с фиксированными значениями амплитуды и фазы. Внешнюю питающую сеть представить источником ЭДС бесконечной мощности. 2. Провести расчет установившегося режима с использованием метода Phasor. 3. Измерить токи и напряжения во всех узлах и ветвях электрической сети, а также провести измерение активной, реактивной и полной мощности, передаваемой по каждой ветви. 4. При расчете принять мощность в узлах нагрузки A, B, C и D следующей: $S_A = 8 + j6$ МВА, $S_B = 18 + j22$ МВА, $S_C = 21 + j16$ МВА, $S_D = 54 + j20$ МВА. </div> </div> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr> <th colspan="2">Номинальное напряжение, кВ</th> <th colspan="2">Марка трансформаторов</th> <th colspan="3">Эл.нагрузка узлов сети, МВА</th> </tr> <tr> <th>ВН</th> <th>НН</th> <th>T1</th> <th>T2</th> <th>S_E</th> <th>S_F</th> <th>S_G</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>110</td> <td>6</td> <td>2 x ТДЦ - 80</td> <td>2 x ТДЦ - 80</td> <td>$10 + j8$</td> <td>$16 + j12$</td> <td>$5 + j3$</td> </tr> <tr> <th colspan="4">Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН</th> <th colspan="3">Марка и сечение кабелей НН</th> </tr> <tr> <td colspan="2">линии связи с энергосистемой</td> <td colspan="2">прочие ЛЭП</td> <td>отходящие от трансформаторов</td> <td colspan="2">прочие ЛЭП</td> </tr> <tr> <td colspan="2">1 x AC-500</td> <td colspan="2">2 x AC-240</td> <td>10 x ААБ-240</td> <td colspan="2">8 x ААБ-185</td> </tr> </tbody> </table>	Номинальное напряжение, кВ		Марка трансформаторов		Эл.нагрузка узлов сети, МВА			ВН	НН	T1	T2	S_E	S_F	S_G	110	6	2 x ТДЦ - 80	2 x ТДЦ - 80	$10 + j8$	$16 + j12$	$5 + j3$	Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН				Марка и сечение кабелей НН			линии связи с энергосистемой		прочие ЛЭП		отходящие от трансформаторов	прочие ЛЭП		1 x AC-500		2 x AC-240		10 x ААБ-240	8 x ААБ-185	
Номинальное напряжение, кВ		Марка трансформаторов		Эл.нагрузка узлов сети, МВА																																								
ВН	НН	T1	T2	S_E	S_F	S_G																																						
110	6	2 x ТДЦ - 80	2 x ТДЦ - 80	$10 + j8$	$16 + j12$	$5 + j3$																																						
Марка и сечение проводов ВЛЭП ВН				Марка и сечение кабелей НН																																								
линии связи с энергосистемой		прочие ЛЭП		отходящие от трансформаторов	прочие ЛЭП																																							
1 x AC-500		2 x AC-240		10 x ААБ-240	8 x ААБ-185																																							

Структурный элемент компетенции	Планируемые результаты обучения	Оценочные средства
Владеть	<ul style="list-style-type: none"> – практическими навыками математического моделирования технологического процесса; – методиками и навыками расчета требуемых параметров электрооборудования для заданного технологического процесса на математической модели объекта; – способами расчета требуемых параметров технологического процесса на математической модели объекта с учетом выбора оптимального режима эксплуатации электрооборудования. 	<p style="text-align: center;">Примеры домашних заданий:</p> <p>Математические модели силовой части тиристорных преобразователей с 6-ти и 12-ти пульсными схемами выпрямления. Математическая модель системы импульсно-фазового управления. Основные энергетические и электрические показатели тиристорных преобразователей: угол коммутации, угол управления, средние значения выпрямленного тока и напряжения. Высшие гармоники тока, генерируемые тиристорным преобразователем. Принципы построения двухконтурной системы подчиненного регулирования скорости двигателя постоянного тока независимого возбуждения (по вариантам).</p>

б) Порядок проведения промежуточной аттестации, показатели и критерии оценивания:

Промежуточная аттестация по дисциплине «Математическое моделирование в электроэнергетических системах» включает теоретические вопросы, позволяющие оценить уровень усвоения обучающимися знаний, и практические задания, выявляющие степень сформированности умений и владений, проводится в форме зачёта с оценкой. Обязательным условием сдачи зачёта является успешное выступление с подготовленным во время обучения докладом.

Зачёт по данной дисциплине проводится в устной форме по экзаменационным билетам, каждый из которых включает 2 теоретических вопроса.

Критерии оценки (в соответствии с формируемыми компетенциями и планируемыми результатами обучения):

– на оценку **«отлично»** – студент должен показать высокий уровень знаний не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам, оценки и вынесения критических суждений в области моделирования электроэнергетических систем и сетей;

– на оценку **«хорошо»** – студент должен показать знания не только на уровне воспроизведения и объяснения информации, но и интеллектуальные навыки решения проблем и задач, нахождения уникальных ответов к проблемам;

– на оценку **«удовлетворительно»** – студент должен показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, интеллектуальные навыки решения простых задач;

– на оценку **«неудовлетворительно»** – студент не может показать знания на уровне воспроизведения и объяснения информации, не может показать интеллектуальные навыки решения простых задач.

8 Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины (модуля)

а) Основная литература

1. Николаев, А. А. Математическое моделирование в электроэнергетических системах : учебное пособие / А. А. Николаев, И. Р. Абдулвелеев, В. В. Анохин ; МГТУ. - [2-е изд., подгот. по печ. изд. 2016 г.]. - Магнитогорск : МГТУ, 2017. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=3147.pdf&show=dcatalogues/1/1136470/3147.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

б) Дополнительная литература

1. Корнилов, Г. П. Анализ показателей качества электроэнергии в системах электроснабжения крупных металлургических предприятий : учебное пособие / Г. П. Корнилов, А. А. Николаев, А. В. Малафеев. - Магнитогорск : МГТУ, 2012. - 1 электрон. опт. диск (CD-ROM). - Загл. с титул. экрана. - URL: <https://magtu.informsystema.ru/uploader/fileUpload?name=1050.pdf&show=dcatalogues/1/1119364/1050.pdf&view=true> (дата обращения: 14.05.2020). - Макрообъект. - Текст : электронный. - Сведения доступны также на CD-ROM.

2. Рейзлин, В. И. Математическое моделирование : учебное пособие для вузов / В. И. Рейзлин. — 2-е изд., перераб. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2020. — 126 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-08475-7. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/451402> (дата обращения: 22.09.2020).

3. Тарасик, В. П. Математическое моделирование технических систем : учебник / В.П. Тарасик. — Минск : Новое знание ; Москва : ИНФРА-М, 2018. — 592 с. — (Высшее образование: Бакалавриат). - ISBN 978-5-16-104762-0. - Текст : электронный. - URL: <https://znanium.com/catalog/product/952123> (дата обращения: 22.09.2020). – Режим доступа: по подписке.

4. Советов, Б. Я. Моделирование систем : учебник для академического бакалавриата / Б. Я. Советов, С. А. Яковлев. — 7-е изд. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 343 с. — (Бакалавр. Академический курс). — ISBN 978-5-9916-3916-3. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/425228> (дата обращения: 22.09.2020). – Режим доступа: по подписке.

5. Коткин, Г. Л. Компьютерное моделирование физических процессов с использованием Matlab : учебное пособие для вузов / Г. Л. Коткин, Л. К. Попов, В. С. Черкасский. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2019. — 202 с. — (Университеты России). — ISBN 978-5-534-10512-4. — Текст : электронный // ЭБС Юрайт [сайт]. — URL: <https://urait.ru/bcode/430702> (дата обращения: 22.09.2020). – Режим доступа: по подписке.

в) Методические указания

1. **Корнилов, Г.П.** Лабораторный практикум по дисциплинам «Теоретические основы электротехники» и «Основы электротехники и электроники» с выполнением на персональном компьютере [Текст]: Учебное пособие для студентов специальности 140211 «Электроснабжение» / Г.П. Корнилов, А.А. Николаев. - Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ, 2011. 76 с.

г) Программное обеспечение и Интернет – ресурсы

Перечень программного обеспечения:

Наименование ПО	№ договора	Срок действия лицензии
MS Windows 7	Д-1227 от 08.10.2018 Д-757-17 от 27.06.2017	11.10.2021 27.07.2018
MS Office 2007	№ 135 от 17.09.2007	бессрочно
7Zip	свободно распространяемое	бессрочно
MatLab	К-89-14 от 08.12.2014	бессрочно
Mathcad Education - University Edition (200 pack)	Д-1662-13 от 22.11.2013	бессрочно
STATISTICA в.6	К-139-08 от 22.12.2008	бессрочно
Multisim Education	К-118-08 от 20.10.2008	бессрочно
FAR Manager	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Calculate Linux Desktop Xfce	свободно распространяемое ПО	бессрочно
Linux Calculate	свободно распространяемое ПО	бессрочно

1. Список Интернет-ресурсов, доступ к которым при регистрации обеспечен с любого компьютера:
2. Международная справочная система «Полпред» polpred.com отрасль «Образование, наука». – URL: <http://education.polpred.com/>.
3. Национальная информационно-аналитическая система – Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). – URL: https://elibrary.ru/project_risc.asp.
4. Поисковая система Академия Google (Google Scholar). – URL: <https://scholar.google.ru/>.
5. Информационная система - Единое окно доступа к информационным ресурсам. – URL: <http://window.edu.ru/>.
6. Федеральное государственное бюджетное учреждение «Федеральный институт промышленной собственности». – Режим доступа: <http://www1.fips.ru/>.
7. Сайт о моделировании и исследовании: систем, объектов, технических процессов и физических явлений [Электронный ресурс] \ Н.В. Клиначёв \ Электрон. дан. URL: <http://model.exponenta.ru/> (дата обращения: 30.11.2011).
8. Сайт, посвященный составлению математических моделей в среде MATLAB-Simulink [Электронный ресурс] \ И.В. Черных \ Электрон. дан. URL: <http://matlab.exponenta.ru/> (дата обращения: 30.11.2011).

9 Материально-техническое обеспечение

В соответствии с учебным планом по дисциплине «Математическое моделирование в электроэнергетических системах» предусмотрены следующие виды занятий: лекции, практические занятия, самостоятельная работа, консультации (столбец ВНКР) и зачет с оценки.

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
Учебные аудитории для проведения занятий лекционного типа	Мультимедийные средства хранения, передачи и представления информации.
Учебные аудитории для	Доска, мультимедийный проектор, экран

Тип и название аудитории	Оснащение аудитории
проведения практических занятий, групповых и индивидуальных консультаций, текущего контроля и промежуточной аттестации	
Помещения для самостоятельной работы обучающихся	Персональные компьютеры с пакетом MS Office, выходом в Интернет и с доступом в электронную информационно-образовательную среду университета
Помещение для хранения и профилактического обслуживания учебного оборудования	Стеллажи, сейфы для хранения учебного оборудования