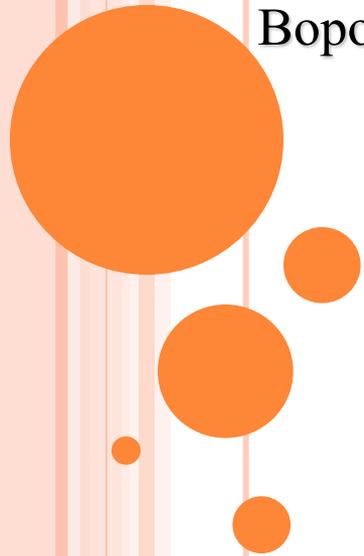


# Дисциплина «Математическое моделирование в электротехнике»

Лектор:

К.т.н., доцент ОЭЭ ИШЭ ТПУ

Воронина Наталья Алексеевна



# Распределение учебного времени

Лекций – 24 часа;

Лабораторных работ – 40 часов;

Всего аудиторных занятий – 64 часа;

Самостоятельная работа – 80 часов;

Всего по дисциплине – 144 часа;

Итоговая аттестация – экзамен.

# Перечень работ

1. Лекций – 10 (12);
2. Лабораторных работ – 4-5 (по тематике), но 20 аудиторных занятий;
3. Конференц-недели – 2;  
на первой конференц-неделе – контрольная работа, доклад или реферат (9 неделя);  
на второй конференц-неделе – защита Лаб. работ, подготовка к экзамену!

# Рейтинг

- 1.Выполнение лабораторной работы на занятии – 5 балл;
  - 2.Представление отчета оформленного по требованиям ОСТ ТПУ – 5 балла, при любом отступлении от ОСТ ТПУ – 0 баллов;
  - 3.Защита отчета на «отлично» – 5 балла;  
на «хорошо» – 3 балла;  
на «удовлетворительно» – 2 балл.
- Итого максимум за работу (по теме) –15 баллов.

4. Контрольная работа – 5 баллов;

5. Доклад или реферат – 5 баллов;

6. Дополнительные от 1–10 баллов студент может заработать при выполнении конкурсной работы или отдельного специального задания.

Итого за выполнение лабораторных работ при посещении всех занятий студент должен получить для допуска к экзамену:  
максимум – 80 баллов.

# Требования к студенту

Студенты должны иметь навыки и знания по

- Теоретические основы электротехники 1.1;
- Теоретические основы электротехники 2.1;
- Силовая электроника;
- Механика 1.2.

# Цель дисциплины

- Подготовка специалистов, владеющих общими принципами и методами и средствами познания, самостоятельного обучения и самоконтроля современных тенденций развития технического прогресса и имеющих навыки их практического использования в области электроэнергетики и электротехники.
- Владеть основными понятиями классических разделов высшей математики (аналитической геометрии, линейной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления, теорий вероятности, математической статистики, функций комплексного переменного и численные методы решения алгебраических и дифференциальных уравнений)
- Уметь использовать инструментария для решения задач проектного и исследовательского характера в сфере профессиональной деятельности по электроэнергетике и электротехнике

# Темы лекционных занятий

- **Раздел 1. Общие вопросы математического моделирования электротехнике**
- Классификация моделей. Математическое описание статических и динамических режимов работы в электрических цепях, электротехнических устройствах и системах. Представление моделей в пространстве состояний. Общая постановка задачи Коши. Показатели качества регулирования по временным и частотным характеристикам. Линейные и нелинейные модели. Применение интегральных преобразований и операционного исчисления при математическом моделировании в электротехнике. Точные методы решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ): а) метод Крамера, б) метод обратной матрицы, в) метод Гаусса.

# Темы лекционных занятий

- **Раздел 2. Методы решения систем дифференциальных уравнений, описывающих динамику линейных электромеханических систем**
- Классический метод решения систем дифференциальных уравнений. Алгоритм классического метода решения систем дифференциальных уравнений. Методы решения систем линейных алгебраических уравнений. Операторный метод решения систем дифференциальных уравнений. Прямое и обратное преобразования Лапласа. Математическое описание. Свойства преобразования Лапласа (теоремы). Таблица преобразований Лапласа. Изображения по Лапласу стандартных управляющих сигналов ЭМС (ступенька, линейное, гармоническое). Преобразования по Лапласу СДУ, описывающих процессы в ЭМС, с ненулевыми начальными условиями. Решение систем дифференциальных уравнений с применением определителей Вандермонда.

# Темы лекционных занятий

- **Раздел 3. Математические модели электромеханических систем и их элементов**
- Математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями первого порядка.
- Математические модели, описываемые дифференциальными уравнениями второго порядка. Математическая модель фильтра низких частот (ФНЧ). Математическая модель фильтра высоких частот (ФВЧ). Математическая модель двигателя постоянного тока независимого возбуждения (ДПТ НВ).
- Математические модели силовых преобразователей в электромеханических системах. Математическая модель широтно-импульсного преобразователя (ШИП).
- Математические модели регуляторов замкнутых ЭМС. Математическая модель П-регулятора. Математическая модель ПИ-регулятора.
- Математические модели замкнутых электромеханических систем. Математическая модель замкнутой электромеханической системой с П-регулятором, двигателем постоянного тока независимого возбуждения и силовым преобразователем, представленным апериодическим звеном 1-го порядка. Математическая модель замкнутой электромеханической системой с ПИ-регулятором, двигателем постоянного тока независимого возбуждения и силовым преобразователем, представленным пропорциональным звеном.

# Темы лекционных занятий

- **Раздел 4. Анализ выходных процессов электромеханических систем с применением классических способов решения задачи Коши**
- Методы решения дифференциальных уравнений, описывающих простейшие электрические цепи. Примеры на  $RL$ -,  $RC$ - и  $RLC$ -цепях.
- Решение задачи Коши с нулевыми начальными условиями на примере нагруженного фильтра низких частот 2-го порядка.
- Анализ динамики пуска, реверса, останова, наброса и сброса нагрузки ДПТ НВ с применением классических способов решения задачи Коши.
- Анализ динамики замкнутой электромеханической системы (пуск, реверс, торможение, наброс и сброс нагрузки) с применением классических способов решения систем дифференциальных уравнений.
- Моделирование нестационарной ЭМС с применением классических способов решения СДУ.

# Темы лекционных занятий

- **Раздел 5. Анализ динамики ЭМС с применением преобразования Лапласа**
- Решение задачи Коши на примере  $RL$ - и  $RC$ -цепей.
- Решение задачи Коши на примере  $RLC$ -ФНЧ 2-го порядка с нулевыми и ненулевыми начальными условиями.
- Анализ динамики ДПТ НВ на холостом ходу (пуск, реверс) с применением преобразования Лапласа с нулевыми и ненулевыми начальными условиями.
- Моделирование системы «Двуполярный ШИП – ДПТ НВ» аналитически с применением преобразования Лапласа
- Моделирование нестационарной ЭМС с ДПТ НВ с применением преобразования Лапласа с ненулевыми начальными условиями.

# Темы лекционных занятий

- Раздел 6. *Моделирование электромеханических систем, представленных в пространстве состояний, с применением определителей Вандермонда*
- Анализ динамики  $RLC$ -ФНЧ 2-го порядка в нагруженном режиме методом Вандермонда.
- Анализ динамики ДПТ НВ с применением определителя Вандермонда

# Темы лекционных занятий

- **Раздел 7. Моделирование электромеханических систем, с применением численных методов решения дифференциальных уравнений**
- Явные численные методы решения СДУ: а) метод Эйлера, б) модифицированный метод Эйлера, в) методы Рунге-Кутты.
- Численные методы решения дифференциальных уравнений, описывающих простейшие электрические цепи. Примеры на  $RL$ -,  $RC$ - и  $RLC$ -цепях.
- Решение задачи Коши с нулевыми начальными условиями численными методами на примере нагруженного фильтра низких частот 2-го порядка.
- Анализ динамики пуска, реверса, останова, наброса и сброса нагрузки ДПТ НВ с применением численных способов решения задачи Коши.
- Анализ динамики замкнутой электромеханической системы (пуск, реверс, торможение, наброс и сброс нагрузки) с применением численных способов решения систем дифференциальных уравнений.
- Моделирование нестационарной ЭМС с применением численных способов решения СДУ.

# Темы лабораторных работ

1. Моделирование переходных процессов в электрических цепях.
2. Математическое моделирование двигателя постоянного тока независимого возбуждения
3. Математическое моделирование асинхронного электродвигателя
4. Исследование замкнутого электропривода постоянного тока

# Учебно-методическое обеспечение

## Основная литература:

- Глазырин А.С. Математическое моделирование электромеханических систем. Аналитические методы: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2009. – 216 с.  
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C207474>
- Бурулько Л.К. Математическое моделирование электромеханических систем. Часть 1: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2014. – 104 с.  
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C297012>
- Бурулько Л.К. Математическое моделирование электромеханических систем: Лабораторный практикум: учебное пособие. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2014. – 68 с.  
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C293382>
- Терёхин В. Б. Компьютерное моделирование систем электропривода постоянного и переменного тока в Simulink: учебное пособие). – Томск: Изд-во ТПУ, 2013.  
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C275634>

# Учебно-методическое обеспечение

## Основная литература:

- Терехин В.Б. Моделирование систем электропривода в Simulink (Matlab 7.0. 1) учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.  
<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C209074>

## Дополнительная литература:

- Аристов А.В. Имитационное моделирование электромеханических систем: учебное пособие для вузов / А.В. Аристов, Л.А. Паюк. – Томск: Изд-во ТПУ, 2010.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C213050>

- Тарасик В.П. Математическое моделирование технических систем: учебник для вузов / В. П. Тарасик. – 2-е изд., испр. и доп. – Минск: Дизайн ПРО, 2004. – 640 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/LANBOOK%5C4324>

- Терехина Л. И., Фикс И. И. Высшая математика. Часть 4. Дифференциальные уравнения. Ряды. Функции комплексного переменного. Операционный метод. Учебное пособие. Издательство «Дельтаплан». Томск, 2007. – 264 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C133823>

# Учебно-методическое обеспечение

## Дополнительная литература:

- Удут Л. С. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Часть 1. Введение в технику регулирования линейных систем. Часть 2. Оптимизация контура регулирования: учебное пособие / Л. С. Удут, О. П. Мальцева, Н. В. Кояин. – 2-е изд., перераб. и доп. – Томск: Издательство Томского политехнического университета, 2007. – 156 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C15232>

- Удут Л. С., Кояин Н. В., Мальцева О. П. Проектирование и исследование автоматизированных электроприводов. Ч. 3. Электрические машины постоянного тока в системах автоматизированного электропривода: Учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 152 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C148071>

- Малышенко А. М. Математические основы теории систем: Учебное пособие для втузов. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 364 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C194770>

# Учебно-методическое обеспечение

## Дополнительная литература:

- Мальцева О.П. и др. Системы управления электроприводов: учебное пособие. – Томск: Изд-во ТПУ, 2011. – 152 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C237428>

- Купцов А.М. МАТНСАД с примерами по электротехнике / А. М. Купцов; Томский политехнический университет (ТПУ). – Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 52 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C140134>

- Поршнева С.В., Бленкова И.В. Численные методы на базе MathCAD. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 464 с.

<http://catalog.lib.tpu.ru/catalogue/simple/document/RU%5CTPU%5Cbook%5C127562>

# Учебно-методическое обеспечение

## Информационное обеспечение

- Internet-ресурсы (в т.ч. в среде LMS MOODLE и др. образовательные и библиотечные ресурсы):
  - 1. <http://www.power-e.ru> – Журнал «Силовая электроника»;
  - 2. <http://matlab.ru> – Официальный сайт MatLAB;
  - 3. <http://www.ptc.ru.com/engineering-math-software/mathcad> – Официальный сайт MathCAD;
  - 4. <http://www.elektro-journal.ru/archive> – Журнал «Электро» – Электротехника, электроэнергетика, электротехническая промышленность.
- Используемое лицензионное программное обеспечение (в соответствии с Перечнем лицензионного программного обеспечения ТПУ): MathCAD; MATLAB Classroom new Product From 100 Concurrent Licenses (Per License).

# КЛАССИФИКАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ

Математические модели технических устройств могут быть классифицированы по ряду признаков:

1. По характеру отображаемых процессов выделяют:

- статические
- динамические модели.

2. По способу представления модели различают:

- аналитические
- графические
- табличные

3. По характеру зависимостей модели делятся на:

- линейные
- нелинейные

4. По диапазону рабочих сигналов модели классифицируются на:

- модели большого сигнала
- малосигнальные

5. По диапазону рабочих частот выделяют:

- низкочастотные
- высокочастотные
- сверхвысокочастотные

# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Объектом моделирования** является электромеханическая система, включающая в себя совокупность электродвигательного, преобразовательного, передаточного и управляющего устройств, и являющаяся с точки зрения теории моделирования динамической системой.

Под системой обычно понимают совокупность предметов как реальных, так и идеальных, которая каким-то образом организована. Такую совокупность называют полем системы, а данные, которые описывают организацию системы, - *характеристиками*.

Когда ни поле системы, ни ее характеристики не зависят от времени, говорят о **статической системе**.

Системы, характеристики которых или их поле изменяются во времени, называются **динамическими**.

Динамические системы являются главным объектом изучения имитационного моделирования. Статические системы применяются в исследовании, главным образом, **как** идеализированные и рассматриваются как состояния динамической системы.

# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Имитационная модель** - это динамическая модель, временная часть которой отображает время неубывающим.

**Модель** - определенное соотношение между двумя системами, одну из которых называем моделируемой системой (оригиналом), а другую - моделирующей системой (моделью).

**Имитационное моделирование** - метод исследования, основанный на том, что изучаемая динамическая система заменяется ее имитатором, и с ним проводятся эксперименты в целях получения информации об изучаемой системе.

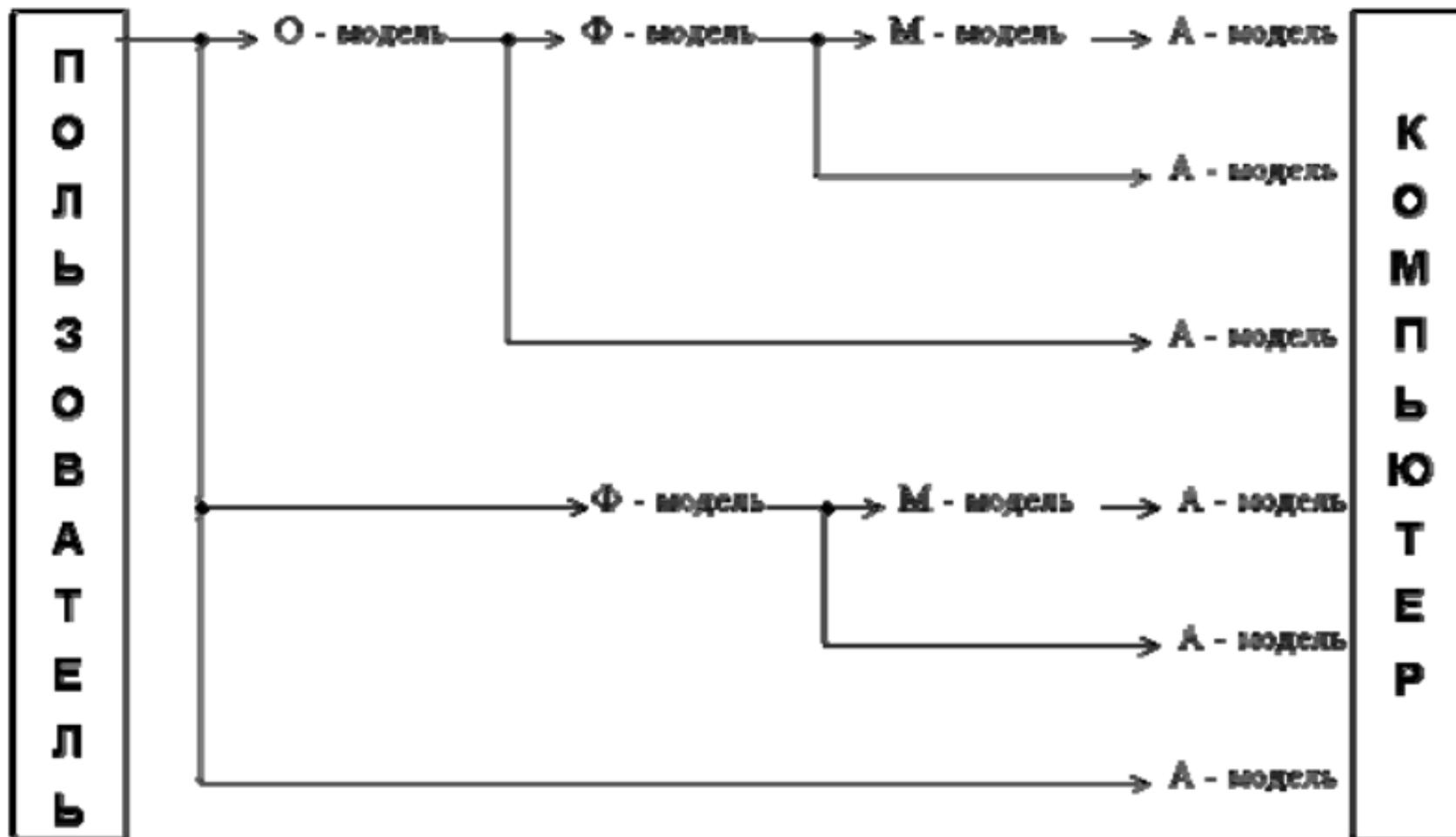
# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ

**Структурная модель** - некоторая схема из взаимосвязанных элементов, выделяемых по физическому назначению или выполняемой математической функции.

Можно выделить четыре уровня представления структурных моделей: алгоритмический, математический, функциональный и описательный.

- *Алгоритмический уровень* описания структурной модели - описание модели в виде некоторой схемы, элементы которой используются ЭВМ непосредственно для планирования вычислительного процесса.
- *Математический уровень* описания структурной модели - описание модели в виде совокупности блоков уравнений.
- *Функциональный уровень* описания структурной модели - описание модели в виде схемы соединения физических элементов ЭМС или их отдельных частей (электродвигатель, преобразователь и т.п.).
- *Описательный уровень* структурной модели - представление модели в виде одного блока, параметры которого указывают структурные и параметрические свойства исследуемой системы.

# ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ



# Требования ТПУ

- <http://standard.tpu.ru/standart.html>
- <http://portal.tpu.ru:7777/ido-tpu/students/documents/trebovania>

Спасибо за внимание!