Федеральное государственное бюджетное образовательное

учреждение высшего образования

Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова

Факультет вычислительной математики и кибернетики

**УТВЕРЖДАЮ**

декан факультета вычислительной математики и кибернетики

**\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_/И.А. Соколов /**

**«\_\_\_» \_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_\_20\_\_\_г.**

**РАБОЧАЯ ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ**

**Наименование дисциплины:**

**Современные компьютерные технологии в теории управления и оптимизации**

**Уровень высшего образования:**

**бакалавриат**

**Направление подготовки / специальность:**

**01.03.02 «Прикладная математика и информатика» (3++)**

**Направленность (профиль):**

**Математические методы обработки информации и принятия решений**

**Форма обучения:**

**очная**

**Москва 2023**

Рабочая программа дисциплины (модуля) разработана в соответствии с самостоятельно установленным МГУ образовательным стандартом (ОС МГУ) для реализуемых основных профессиональных образовательных программ высшего образования по направлению подготовки 01.03.02, 01.04.02 "Прикладная математика и информатика" программы бакалавриата Утвержден приказом МГУ от 30 августа 2019 года № 1041 (в редакции приказов МГУ от 11 сентября 2019 года № 1109, от 10 июня 2021 года № 609, от 7 октября 2021 года № 1048, от 21 декабря 2021 года № 1404, от 2 ноября 2022 года № 1299)

**1.** Место дисциплины (модуля) в структуре ОПОП ВО:

дисциплина относится к вариативной части ОПОП ВО.

**2.** Входные требования для освоения дисциплины (модуля), предварительные условия (если есть):

Освоение дисциплин «Математический анализ», «Линейная алгебра и аналитическая геометрия», «Дифференциальные уравнения», «Математические методы в теории управления и оптимизации».

**3.** Результаты обучения по дисциплине (модулю), соотнесенные с требуемыми компетенциями выпускников*.*

|  |
| --- |
| Компетенции выпускников, формируемые (полностью или частично) при реализации дисциплины (модуля):**ПК-1.2:** способен проводить научные исследования по заданным методикам и (или) осуществлять разработки по отдельным разделам (этапам, заданиям) проекта или темы под руководством специалиста более высокой квалификации;**ПК-2.1:** способен применять актуальные алгоритмы компьютерной математики и реализовывать их в современных программных комплексах.Планируемые результаты обучения по дисциплине (модулю):**Знать:**1. основные современные методы и проблематику организации математических вычислений в программах математического моделирования.**Уметь**1. эффективно применять системы математического моделирования для решения прикладных задач теории управления и оптимизации.**Владеть:** 1. современными технологиями применения вычислительной техники и систем компьютерной математики для компьютерного моделирования и автоматизированного решения типовых задач математической теории управления и оптимизации, 2. методами самостоятельного поиска информации при помощи технической документации, справочных систем и средств поиска в сети Интернет.**Иметь опыт**работы с пакетами прикладных программ. |

**4.** Формат обучения очный.

 **5.** Объем дисциплины (модуля) составляет 2 з.е., в том числе 36 академических часа, отведенных на контактную работу обучающихся с преподавателем, 36 академических часа на самостоятельную работу обучающихся.

**6.** Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и виды учебных занятий

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Наименование и краткое содержание разделов и тем дисциплины (модуля),****Форма промежуточной аттестации по дисциплине (модулю)** | **Всего****(часы**) | В том числе |
| **Контактная работа (работа во взаимодействии с преподавателем)****Виды контактной работы, часы** | **Самостоятельная работа обучающегося,** **часы**  |
| Занятия лекционного типа\* | Занятия семинарского типа\* | **Всего** |  |
| Тема 1. Наиболее распространённые системы компьютерной математики и их классификация. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 2. Язык программирования системы MATLAB. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 3. Режимы работы в системе MATLAB. Графические возможности системы. GUI-приложения. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 4. Матричный подход к вычислениям в системе MATLAB. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 5. Пакетная организация системы MATLAB. Основные пакеты. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 6. Методы пакета Symbolic Math Toolbox. Вычисления с произвольной точностью. Нахождение аналитических решений. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 7. Пакет интервальных вычислений IntLab. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 8. Решение линейных матричных неравенств (LMI) с помощью MATLAB. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 9. Среда моделирования Simulink. | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Тема 10. Различные типы представления динамических систем и переходы между ними. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 11. Основные функции пакетов Control System Toolbox и Robust Control Toolbox для изучения свойств динамических систем. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 12. Графические интерфейсы исследования свойств динамических систем: SISOtool, LTIView и т.д. | 4 | 2 | 0 | 2 | 2 |
| Тема 13. Проектирование и анализ систем управления при помощи Simulink Control Design. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 14. Переходная и весовая характеристики динамической системы. Частотные характеристики динамических систем. Реализация в MATLAB. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 15. Критерии устойчивости полиномов и линейных систем. Реализация в MATLAB. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 16. Управляемость и наблюдаемость линейных объектов. Реализация в MATLAB. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 17. Реализация различных законов управления линейными динамическими системами. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 18. Реализация дискретных систем. | 3 | 2 | 0 | 2 | 1 |
| Тема 19. Реализация многосвязных систем. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 20. Реализация нестационарных систем. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 21. Робастная устойчивость полиномов. Метод D-разбиения. Интервальные семейства полиномов. Теорема Харитонова. Радиус устойчивости. Реализация в MATLAB. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 22. Реализация модели замкнутой системы управления в Simulink. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 23. Моделирование реальных объектов по их математическим моделям. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 24. Построение фазовых портретов и полей градиента. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 25. Методы оптимизации в MATLAB. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Тема 26. Внешние интерфейсы взаимодействия MATLAB с другими системами программирования. Использование S-функ-ции для анимационной визуализации моделируемого процесса. | 2 | 1 | 0 | 1 | 1 |
| Контрольные практические задания по темам 1-26 | 2 | 0 | 0 | 0 | 2 |
| **Промежуточная аттестация: зачёт (6 семестр)** | 6 | 6 |
| **Итого** | **72** | **36** | **36** |

7. Фонд оценочных средств (ФОС) для оценивания результатов обучения по дисциплине (модулю)

7.1. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения текущего контроля успеваемости.

Семестровые индивидуальные задания, такие как:

* Решение задачи стабилизации курса корабля с заданным уравнением движения по показаниям приборов. Процесс управления движением корабля описывается следующими уравнениями:

$$\left\{\begin{array}{c}I\ddot{φ+h\dot{φ=-kψ,}}\\T\dot{ψ+ψ=u.}\end{array}\right.$$

Здесь $I$ — момент инерции корабля относительно вертикальной оси вращения, проходящей через центр масс корабля, $ψ$ — угол отклонения руля от продольной оси лодки, $u$ — управляющий сигнал. $T>0$, $h>0$, $k>0$. Стабилизировать курс корабля ($φ=0$) с помощью обратной связи по состоянию и по выходу.

* Решение задачи стабилизации динамической системы из двух перевёрнутых маятников на тележке по выходу с анимацией.
* Исследование свойств замкнутой системы при замыкании линейной отрицательной обратной связью. Подбор коэффициента обратной связи в зависимости от требований к переходной характеристике.

7.2. Типовые контрольные задания или иные материалы для проведения промежуточной аттестации.

* Минимизировать Trace(X) для LMI $A^{T}X+XA+XBB^{T}X+Q<0$, где $A=\left(\begin{matrix}-1&-2&1\\3&2&1\\1&-2&-1\end{matrix}\right)$, $B=\left(\begin{matrix}1\\0\\1\end{matrix}\right)$, $Q=\left(\begin{matrix}1&-1&0\\-1&-3&-12\\0&-12&-36\end{matrix}\right)$.
* Реализация проверки полинома $α\left(s\right)=5s^{4}+4s^{3}+3s^{2}+2s+1$ на устойчивость при помощи различных критериев устойчивости (критерий Гурвица, критерий Рауса, критерий Михайлова, критерий Эрмита-Билера).
* Для динамической системы, описываемой передаточной функцией $W\left(s\right)=\frac{s-2}{\left(s+2\right)(s+1)^{2}}$выполнить следующие пункты при помощи MATLAB:
1. задать систему через передаточную функцию;
2. преобразовать к представлению в пространстве состояний;
3. реализовать переход к описанию с помощью обыкновенного дифференциального уравнения с учётом согласования начальных условий;
4. представить систему в Simulink при помощи блоков интеграторов и усилителей, задать начальные условия, наблюдать выходные сигналы при помощи блока-осциллографа Scope;
5. реализовать различные представления системы в Simulink при помощи специальных блоков (State-Space, Transfer Fcn, …).
* Найти передаточную функцию системы



* Для динамического объекта, заданного уравнением $\ddot{y}+4\dot{y}+3y=5\dot{u}+4u$ реализовать переход к описанию в пространстве состояний с учётом согласования начальных условий.
* Для динамического объекта, описанного передаточной функцией $W\left(s\right)=\frac{s-1}{\left(s+2\right)^{2}(s+1)}$ реализовать следующие задания:
1. найти весовую и переходную функции;
2. найти фазово-частотную и амплитудно-частотную характеристики.
* Для линейного объекта $\dot{x}=Ax+bu$, $y=cx$, где

$A=\left(\begin{matrix}1&1\\1&-1\end{matrix}\right)$, $b=\left(\begin{matrix}1\\2\end{matrix}\right)$, $с=\left(\begin{matrix}2&1\end{matrix}\right)$

рассчитать управление так, чтобы в замкнутой системе спектр был $σ=\{-1,-2,-3,-4\}$.

* Для линейного объекта с передаточной функцией $W\left(s\right)=\frac{s-2}{s^{2}+2s-3}$ методом полиномиальной стабилизации построить регулятор, обеспечивающий следующий знаменатель замкнутой системе $φ\left(s\right)=\left(s+1\right)^{2}(s+2)$.
* Для системы $A=\left(\begin{matrix}1&-2&3\\4&5&3\\0&-1&6\end{matrix}\right), B=\left(\begin{matrix}1&4\\2&0\\3&-1\end{matrix}\right), C= \left(\begin{matrix}0&1&-5\end{matrix}\right)$
1. построить декомпозицию Калмана;
2. построить форму Ассео или Йокоямы;
3. найти индексы управляемости и наблюдаемости.
* Исследовать на управляемость и наблюдаемость нестационарную систему $A= \left(\begin{matrix}t&\sin(t)\\0&t-2\end{matrix}\right), B= \left(\begin{matrix}t\\1\end{matrix}\right), C= \left(\begin{matrix}t&1\end{matrix}\right)$.
* Исследовать устойчивость дискретной системы, у которой характеристическое уравнение имеет следующий вид:

$z^{3}-3z^{2}+2z+4=0$.

* Реализация проверки робастной устойчивости интервального семейства полиномов [p](s)=[a\_4]s^4+2s^3+[a\_2 ] s^2+[a\_1 ]s+[a\_0], где 1≤a\_4≤2, 2≤a\_2≤3, 1≤a\_1≤2, 2≤a\_0≤3 (теорема Харитонова).
* Разработать ПИД-регулятор для объекта, описанного передаточной функцией $W\left(s\right)=\frac{1}{\left(s+1\right)^{3}}$.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|

|  |
| --- |
| **ШКАЛА И КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ результатов обучения (РО) по дисциплине (модулю)**  |
| ОценкаРО исоответствующие виды оценочных средств  | 2 | 3 | 4 | 5 |
| **Знания***(экзамен, устные опросы, контрольные практические задания )* | Отсутствие знаний | Фрагментарные знания | Общие, но не структурированные знания | Сформированные систематические знания |
| **Умения***(практические задания)* | Отсутствие умений | В целом успешное, но не систематическое умение | В целом успешное, но содержащее отдельные пробелы умение (допускает неточности непринципиального характера) | Успешное и систематическое умение |
| **Навыки (владения, опыт деятельности)***(контрольные практические задания)*  | Отсутствие навыков (владений, опыта) | Наличие отдельных навыков (наличие фрагментарного опыта) | В целом, сформированные навыки (владения), но используемые не в активной форме | Сформированные навыки (владения), применяемые при решении задач |

  |

8. Ресурсное обеспечение:

* Перечень основной и дополнительной литературы:
1. Емельянов С.В., Коровин С.К., Фомичев В.В., Фурсов А.С. "Задачи и теоремы по теории линейной обратной связи". – М.: Издательский отдел факультета ВМиК МГУ им. М.В.Ломоносова, 2004.
2. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т. 2. Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы— 2-е изд. испр. и доп. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2007 — 440 с.
* Перечень лицензионного программного обеспечения: MATLAB 2007.
* Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети «Интернет»: https://docs.exponenta.ru

9. Язык преподавания: Русский.

10. Преподаватель: Мальцева А.В.

11. Автор (авторы) программы: доцент кафедры РДСиПУ Фурсов А.С., Мальцева А.В.