

# ПРОГРАММА КАНДИДАТСКОГО ЭКЗАМЕНА 01.02.01

## ЧАСТЬ 2. АНАЛИЗ И СИНТЕЗ УПРАВЛЯЕМЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

### ТЕОРИЯ

#### 1. Анализ движения и устойчивости

##### 1.1. Методы построения приближенных математических моделей динамических систем

Нормализация уравнений движения, введение малых параметров. ([1], гл. I, §2, с. 15-24). Регулярно возмущенные системы. Теорема Пуанкаре и ее приложения. Секулярные члены. ([1], гл. II, §3, с. 34-35; §4, с. 36-41; [2], гл. I, §3, с. 15-16). Сингулярно возмущенные системы. Метод осреднения в системах с одной и несколькими быстрыми фазами. ([1], гл. III, §6, с. 50-59; §7, с. 64-66; §9, с. 73-76, 79-81). Теоремы Тихонова и Васильевой. ([1], гл. IV, §11, с. 89-94; §12, с. 100-104; [2], гл. II, §4, с. 21-34). Разделение движений в системах с разрывными правыми частями. ([3]).

##### 1.2. Метод функций Ляпунова

Теорема об устойчивости при постоянно действующих возмущениях. ([4], гл. VI, §70, с. 301-305). Теорема Барбашина–Красовского об асимптотической устойчивости для систем с периодическими по времени правыми частями. ([5], гл. III, §14, с. 81-83). Теоремы об экспоненциальной устойчивости. ([6], гл. IV, §8, с. 255-257).

##### 1.3. Периодические движения и их устойчивость

Линейные системы с периодическими коэффициентами. Теорема Флоке. Характеристические показатели. Мультипликаторы. ([6], гл. III, §15, с. 187-191). Теоремы об устойчивости и асимптотической устойчивости периодического решения нелинейной системы. ([6], гл. IV, §18, с. 297-299; §20, с. 316). Орбитальная устойчивость. ([6], гл. IV, §19, с. 299-303; §20, с. 309-310). Предельные циклы и автоколебания. ([7], гл. III, §6, с. 229-231; гл. V, §6, с. 324-328).

##### 1.4. Методы анализа абсолютной (робастной) устойчивости

Абсолютная устойчивость систем с неполной информацией. Круговой и вариационный критерии абсолютной устойчивости. ([8], гл. II, §4, с. 63-66; 251-258; [9], гл. I, § 1.1, с. 12-42).

##### \* 1.5. «Хаос» в динамических системах

Детерминированный хаос. Странные аттракторы в диссипативных системах. ([10], лекции 3, 4, с. 48-83).

#### 2. Оценивание и обработка сигналов

2.1. Сингулярное разложение матриц. Сингулярные числа как меры оцениваемости. Применение к методу наименьших квадратов и методу обобщенных наименьших квадратов ([11], стр. 7–15, 18–24, 31–32, 90–90, [12], стр. 59–62).

2.2. Стационарные случайные процессы, спектральная плотность и корреляционная функция, формирующий фильтр ([12], стр. 5–38).

2.3. Параметрические методы спектрального оценивания случайных процессов ([15], стр. 214–229).

2.4. Фильтр Калмана (дискретный и непрерывный сглаживающий фильтр Калмана) ([12], стр. 62–71, 80–86).

\* 2.5. Цифровые фильтры, их методы построения. Сглаживающие, полосовые фильтры, сигма-множители Ланцоша ([13], стр. 36–40, 47–49, 58–60, 85–110). Дискретизация данных, теорема Котельникова ([13], стр. 132–142). Периодограммный метод оптимального оценивания ([15], стр. 164–183, 191).

### **3. Оптимальное управление движением**

- 3.1. Принцип Лагранжа для экстремальных задач. Формулировка принципа максимума Понтрягина в лагранжевой и гамильтоновой формах. ([16], стр. 143–149, [8], стр. 107–116).
- 3.2. Регулярный синтез управления по Болтянскому. ([8], 170–178).
- 3.3. Нерегулярные участки оптимального управления:
  - а) особые экстремали и обобщенное необходимое условие Келли. ([17], стр. 301–312 или [18], стр. 78–87).
  - б) существование оптимальных управлений с учащающимися переключениями в управляемых механических системах. ([19], стр. 103–110).
- 3.4. Оптимальная стабилизация линейных стохастических систем. Теорема разделения. ([20], стр. 498–508).
- \* 3.5. Динамические игры. Минимаксная стабилизация и максиминное тестирование качества робастной стабилизации. ([21], стр. 230–240, [22], стр. 43–50).

## **ПРИЛОЖЕНИЯ**

### **1. Приближенные модели управляемого полета**

Полет в экваториальной плоскости. Геостационарный спутник. Положения углового равновесия на орбите и их устойчивость. ([8], [23], стр. 11–13, 20–22).  
Приближенные модели для разных классов продольного движения самолета. ([1], гл. VI, §21, стр. 191–196).

### **2. Динамика колесного экипажа**

Модель взаимодействия колеса с дорогой. Занос автомобиля. ([24], стр. 50–52, [25], стр. 86–95, [26]).

### **3. Приближенные модели гироскопических систем**

Прецессионная и нутационная модели гироскопии. ([27], гл. II, §2.1–2.3, стр. 84–101; [1], гл. VI, §19, стр. 168–172). Прецессионные модели гироскопа в кардановом подвесе и гиротаксметра ([1], гл. VI, § 19, стр. 174–175; [28], стр. 10–15). Систематические уходы гироскопа в кардановом подвесе ([1], гл. II, §4, стр. 41–44).

### **4. Принципы работы инерциальных навигационных систем**

Устройство платформенных и безплатформенных ИНС. Инерциальная навигация на плоскости (модельные уравнения и уравнения ошибок) ([29], [30]).

### **5. Определение координат по кодовым измерениям спутниковой навигационной системы ([31]).**

### **6. Инерциальное управление баллистической ракетой, экстремальная задача А. Ю. Ишлинского ([33], стр. 21–38).**

### **7. Оптимальное управление манипулятором (четтеринг-режим и особое управление) ([38]).**

### **\* 8. Математическое моделирование движений человека в сагиттальной плоскости**

Силы и моменты, действующие на скелетный многозвенник человека. Равновесие, устойчивость и движение ([35]).

### **\* 9. Элементы бионавигации**

Инерциальные механорецепторы ([36], стр. 6–22, 61–79). Математическая модель Хочкина-Хаксли формирования нервных импульсов ([37], стр. 175–179, 192–196).

\* **10. Основные соотношения авиационной гравиметрии**

Понятия нормального и аномального поля силы тяжести. Формулы редукции аномального поля вверх и вниз (в приближение плоской Земли). Состав аэрогравиметрической системы. Основные уравнения аэрогравиметрии. Его решение с помощью сглаживающего фильтра Калмана ([32]).

\* **11. Инерциальная навигация в пространстве**

(модельные уравнения и уравнения ошибок).

**ЛИТЕРАТУРА**

1. *Новожилов И. В.* Фракционный анализ. М.: Изд-во мех.-мат. ф-та МГУ, 1995.
2. *Васильева А. Б., Бутузов В. Ф.* Асимптотические методы в теории сингулярных возмущений. М.: Высшая школа, 1990.
3. *Влахова А. В., Новожилов И. В.* Разделение движений в системах с разрывными правыми частями. М.: Физматлит, 2003. С.187-195.
4. *Малкин И. Г.* Теория устойчивости движения. М.: Наука, 1966.
5. *Красовский Н. Н.* Некоторые задачи теории устойчивости. М.: Физматлит, 1959.
6. *Демидович Б. П.* Лекции по математической теории устойчивости. - 2-е изд. - М.: Изд-во Моск. ун-та, 1998.
7. *Андронов А. А., Витт А. А., Хайкин С. Э.* Теория колебаний. М.: Физматгиз, 1959.
8. *Александров В. В., Болтянский В. Г., Лемак С. С., Парусников Н. А., Тихомиров В. М.* Оптимизация динамики управляемых систем. М.: Изд-во МГУ, 2000.
9. *Гелиг А. Х., Леонов Г. А., Якубович В. А.* Устойчивость нелинейных систем с неединственным состоянием равновесия. М.: Наука, 1978.
- \* 10. *Анищенко В. С.* Знакомство с нелинейной динамикой. Саратов: Изд-во Колледж, 2000.
11. *Лоусон, Хенсон.* Численное решение задач метода наименьших квадратов. М.: Наука, 1986.
12. *Парусников Н. А.* Элементы теории оценивания. М.: МГУ, 1997 (пособие).
13. *Хемминг Р.* Цифровые фильтры. М.: Недра, 1987.
14. *Мудров, Кушко.* Методы обработки измерений. М.: Радио, 1976.
15. *Марпл С. Л.* Цифровой спектральный анализ и его приложения. М.: Мир, 1990.
16. *Иоффе А. Д., Тихомиров В. М.* Теория экстремальных задач. М.: Наука, 1974.
17. *Брайсон А., Хо Ю-Ши.* Прикладная теория оптимального управления. М.: Мир, 1972.
18. *Габасов Р., Кириллова Ф. М.* Особые оптимальные управления. М.: Наука, 1973.
19. *Зелинкин М. И., Борисов В. Ф.* Синтез оптимального управления с накоплением переключений// Книга «Итоги науки и техники». 2002. Т. 90.
20. *Ройтенберг Я.* Автоматическое управление. М.: Наука, 1992.
21. *Петросян Л. А. и др.* Теория игр. М.: Высшая школа, 1998.
22. *Александров В. В. и др.* Максиминное тестирование точности стабилизации и седловые точки в геометрических играх// Вестник МГУ. 2005. № 1.
23. *Маркеев А. П.* Теоретическая механика. М.: Наука. 1999.
24. *Новожилов И. В.* Качение колеса// Изв. РАН. МТТ. 1998. №4.
25. *Новожилов И. В., Кручинин П. А., Магомедов М. Х.* Контактные силы взаимодействия колеса с опорной поверхностью// Сб. научно-методических статей. М.: Изд-во МГУ, 2000. Вып. 23.
26. *Влахова А. В., Новожилов И. В.* О заносе колесного экипажа при «блокировке» и «пробуксовке» одного из колес// Фундаментальная и прикладная математика. 2005.
27. *Меркин Д. Р.* Гироскопические системы. М.: Наука, 1974.

28. *Новожилов И. В.* О переходе к прецессионным уравнениям гироскопических систем на бесконечном интервале времени// Изв. АН СССР. МТТ. 1971. №5.
29. *Ишлинский А. Ю.* Ориентация, гироскопы и инерциальная навигация. М.: Наука, 1976
30. *Парусников Н. А. и др.* Задача коррекции в инерциальной навигации. М.: МГУ, 1982.
31. *Голован А. А. и др.* Математические модели и алгоритмы обработки измерений спутниковой навигационной системы GPS. М.: Препринт МГУ, 2001.
32. *Болотин Ю. В. и др.* Уравнения авиагравиметрии. М.: препринт МГУ, 2002.
33. *Ишлинский А. Ю.* Инерциальное управление баллистическими ракетами. М.: Наука, 1968.
34. *Осипов С. Н., Формальский А. М.* Задача о быстрейшем повороте манипулятора// ПММ. 1998. Т. 52, вып. 6.
- \* 35. *Копылов И. А., Кручинин П. А., Новожилов И. В.* О реализуемости движений по Н. А. Бернштейну// Изв. РАН. МТТ. 2003. №5. С. 39–49.
- \* 36. Отчет института механики № 4746, 2004.
- \* 37. *Рубин А. Б.* Биофизика. Т. 2. М.: КД Университет, 2000.
- \* 38. *Борисов В. Ф., Зеликин М. И.* Режимы с учащающимися переключениями// ПММ.1988. Т. 52, вып. 6.

\* – вопросы по согласованию с научным руководителем.