

МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «СПЕЦИАЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ»

ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель дисциплины – формирование у будущих специалистов профессиональных знаний и практических навыков по исследованию, разработке и эксплуатации систем управления движением летательных аппаратов и подвижных объектов различного назначения.

Задачи дисциплины – научить студентов разбираться в математических моделях нелинейных систем автоматического управления (САУ); методах анализа нелинейных САУ; понимать и владеть методами синтеза систем с заданными показателями качества.

Компетенции, достижение которых планируется по завершении изучения курса (см. табл. 1):

Таблица 1

Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции)	Планируемые результаты обучения по дисциплине (ЗУНы)
ОПК-3 способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач и критически оценить освоенные теории и концепции, границы их применимости	Знать: основные положения методов анализа и синтеза систем автоматического управления
	Уметь: применять методы анализа и синтеза систем автоматического управления
	Владеть: навыками решения задач анализа и синтеза систем автоматического управления
ПК-37 способностью выполнять работы по обеспечению высокого качества техники на всех стадиях ее жизненного цикла	Знать: основные способы оценки качества переходных процессов
	Уметь: решать задачи на определение качества процессов
	Владеть: навыками получения и анализа показателей качества процессов
ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Знать: методы моделирования и исследования нелинейных систем с сосредоточенными детерминированными параметрами
	Уметь: синтезировать системы управления различной природы с заданными динамическими показателями качества
	Владеть: методами математического моделирования процессов и объектов на базе стандартных пакетов автоматизированного проектирования и исследований

СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Таблица 2

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	ВВЕДЕНИЕ. Нелинейные модели систем управления. Методы линеаризации нелинейных моделей. Классификация нелинейностей. Типовые нелинейные звенья (НЗ). Особые звенья нелинейных систем. Дифференциальные и разностные кусочно-линейные модели нелинейных объектов и систем.	6	6	0	0
2	СТАТИКА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ. Соединение НЗ и преобразование нелинейных структурных схем. Анализ равновесных режимов.	10	4	2	4
3	ДИНАМИКА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ. АНАЛИЗ ПОВЕДЕНИЯ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА ФАЗОВОЙ ПЛОСКОСТИ	29	11	8	10
4	ГАРМОНИЧЕСКАЯ ЛИНЕАРИЗАЦИЯ	26	10	16	0
5	Критерий абсолютной устойчивости В.М. Попова.	10	2	8	0
6	Нелинейные корректирующие устройства (НКУ). НКУ с опережающими петлевыми характеристиками. Псевдолинейные КУ.	1	1	0	0
7	Методы оценки качества нелинейных систем	8	2	2	4

ЛЕКЦИИ

Таблица 3

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	ВВЕДЕНИЕ. Нелинейные модели систем управления. Методы линеаризации нелинейных моделей. Классификация нелинейностей. Типовые нелинейные звенья (НЗ). Особые звенья нелинейных систем. Дифференциальные и разностные кусочно-линейные модели нелинейных объектов и систем.	6
2	2	СТАТИКА НЕЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ. Соединение НЗ и преобразование нелинейных структурных схем. Анализ равновесных режимов.	4
3	3	Фазовое пространство, фазовая плоскость и ее свойства. Особые точки фазовой плоскости.	2
4	3	Типы особых точек и фазовые портреты линейных систем (поведение системы при малых отклонениях от положения равновесия).	2
5	3	Особые точки и фазовые портреты нелинейных систем (поведение системы при больших отклонениях от положения равновесия).	2
6	3	Особенности устойчивости нелинейных систем: устойчивость	2

		положения равновесия и устойчивость автоколебаний. Особые кривые на фазовой плоскости.	
7	3	Метод изоклин и его применение для определения периодических режимов.	2
8	3	Метод припасовывания.	1
9	4	Общая характеристика метода.	1
10	4	Методика определения ЭККУ. Свойства и особенности коэффициентов гармонической линеаризации для типовых нелинейностей.	2
11	4	Вывод ЭККУ различных нелинейных элементов.	2
12	4	Анализ симметричных автоколебаний. Исследование устойчивости симметричных автоколебаний нелинейных систем методом гармонической линеаризации (частотный и алгебраический методы).	2
13	4	Исследование периодических режимов системы методом гармонического баланса.	1
14	4	Анализ несимметричных автоколебаний.	1
15	4	Применение метода ГЛ при наличии нескольких нелинейностей.	1
16	5	Критерий абсолютной устойчивости В.М. Попова.	2
17	6	Нелинейные корректирующие устройства (НКУ). НКУ с опережающими петлевыми характеристиками. Псевдолинейные КУ.	1
18	7	Методы оценки качества нелинейных систем	2

ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Таблица 4

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	2	Соединения нелинейных звеньев	2
2	3	Особые точки на фазовой плоскости. Фазовые портреты нелинейных систем	4
3	3	Метод изоклин	4
4	4	Метод гармонической линеаризации. ЭККУ нелинейных элементов	8
5	4	Исследование нелинейной системы на возможность возникновения в ней симметричных автоколебаний	8
6	5	Исследование абсолютной устойчивости положения равновесия системы.	8
7	7	Исследование влияния имеющихся в системе нелинейностей на качество процесса управления	2

ЛАБОРАТОРНЫЕ РАБОТЫ

Таблица 5

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание лабораторной работы	Кол-во часов
1	2	Получение эквивалентной структурной схемы СУ. Анализ равновесных режимов.	4
2	3	Построение фазовых портретов СУ	6
3	3	Анализ фазовых портретов СУ	4
4	7	Исследование изменения качества СУ под влиянием имеющихся в системе нелинейностей	4

САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Таблица 6

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к практическим занятиям	Основная печатная литература - 1-3	18
Подготовка к экзамену	Основная печатная литература - 1-5, Основная электронная литература - 1. Дополнительная печатная литература - 1-4	36

ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Таблица 7

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ОПК-3 способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач и критически оценить освоенные теории и концепции, границы их применимости	Экзамен	1-4
Все разделы	ПК-37 способностью выполнять работы по обеспечению высокого качества техники на всех стадиях ее жизненного цикла	Экзамен	5-8
Все разделы	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Экзамен	9-11
Все разделы	ОПК-3 способностью использовать базовые положения математики, естественных, гуманитарных и экономических наук при решении социальных и профессиональных задач и критически оценить освоенные теории и концепции, границы их применимости	Проверка подготовки к практическим занятиям	1-21

ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ, ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕДЕНИЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

1. Проверка подготовки к практическим занятиям

Студенту выдается задание для проверки подготовки к практическим занятиям. В случае, если студент не может ответить на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы.

Критерии оценивания:

Зачтено: Правильное решение более 75% заданий.

Не зачтено: Решение менее 75% заданий.

Пример

1. Исследовать устойчивость положений равновесия для системы 1-го порядка:

$$\dot{x} = \sin x;$$

2. Построить фазовый портрет нелинейной системы

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = \sin x_1 \\ \dot{x}_2 = -\sin x_2 \end{cases}$$

3. Построить семейства интегральных кривых моделей НС 1-го и 2-го порядков

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2^2 \\ \dot{x}_2 = x_1 \end{cases}$$

4. Найти аналитически фазовый портрет для системы:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = x_2^2 / x_1 \end{cases};$$

5. Построить фазовый портрет НС канонической структуры, для которой

$$W(s) = 1/(s(1+s));$$

$$\Phi(\varepsilon) = \begin{cases} \operatorname{sgn} \varepsilon, & |\varepsilon| \geq 0,5 \\ 0, & |\varepsilon| < 0,5; \end{cases} \quad g(t) \equiv 0.$$

6. Построить фазовый портрет НС канонической структуры, для которой

$$W(s) = \frac{1}{s^2 + 4s + 6}; \Phi(\varepsilon) = \begin{cases} 2, \varepsilon > 1, \dot{\varepsilon} < 0 \text{ или } \varepsilon \geq 1 \\ -2, \varepsilon < 1, \dot{\varepsilon} > 0 \text{ или } \varepsilon \leq -1 \end{cases}$$

7. Найти линейное представление в окрестности особой точки и построить его локальный ФП для НС:

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_1 - x_2 - \exp(x_1) \\ \dot{x}_2 = x_1 - x_2 - 1 \end{cases}; \begin{cases} \dot{x}_1 = x_2^2 \\ \dot{x}_2 = x_2(2x_1 - x_2) \end{cases};$$

8. Построить фазовый портрет замкнутой НС с $W(s) = 1/s^2$, содержащей логический элемент в качестве управляющего устройства, алгоритм работы которого

$$U(x_1, x_2) = \begin{cases} 1, & x_1 \geq 1, x_2 \geq -1; \\ -1, & x_1 \leq -1, x_2 \leq 14; \\ 0, & \text{в остальных случаях.} \end{cases}$$

9. Какой будет результирующая характеристика:

а). Двух НЭ с характеристиками нечувствительности и ограничения, соединенных последовательно?

б). Двух НЭ с характеристиками идеального реле и ограничения, соединенных параллельно?

в). Двух НЭ с характеристиками нечувствительности и идеального реле, соединенных последовательно? (3-х позиционное реле)

10. Изобразить характеристику, которой обладает НЭ – звено с характеристикой ограничения, охваченное ПОС?

11. Движение НСУ описывается уравнениями

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = -x_2 + x_1 x_2 - x_1^3 - 0,5x_1 x_2^2 \\ \dot{x}_2 = -3x_2 + 4x_1 x_2 + x_1^2 x_2 - 0,5x_1 x_2^2 \end{cases}$$

Использовать функцию $V(x_1, x_2) = 0,5(3x_1^2 - 2x_1 x_2 + x_2^2)$ для исследования устойчивости положения покоя системы.

12. НС имеет ЛЧ с ПФ

$$W(s) = \frac{20}{s(s+1)(s^2 + s + 10)}$$

Определите условия абсолютной устойчивости этой системы.

13. Определить предельное значение коэффициента усиления, при котором положение покоя НС канонической структуры будет абсолютно устойчивым, если ПФ ЛЧ

$$W(s, k) = \frac{k}{(s+1)(s+2)}$$

И характеристика НЗ является характеристикой 3-х позиционного реле

$$\Phi(\varepsilon) = \begin{cases} 0, |\varepsilon| < 1 \\ 3 \operatorname{sgn} \varepsilon, |\varepsilon| \geq 1 \end{cases}$$

14. Верно ли, что НС с ЛЧ, для которой

$$W(s) = \frac{s+2}{(s-1)(s+3)}$$

будет абсолютно устойчивой в секторе $[1,5; \infty)$?

15. НС канонической структуры имеет ПФ ЛЧ

$$W(s) = \frac{10}{(s+1)(s^2 + 3s + 2)}$$

16. Определить, будет ли положение покоя системы асимптотически устойчиво, если нелинейный регулятор имеет характеристику:

$$\Phi(\varepsilon) = \begin{cases} 0, |\varepsilon| \leq 1 \\ 2(\varepsilon - \operatorname{sgn} \varepsilon), |\varepsilon| > 1 \end{cases}$$

17. В НС канонической структуры характеристика «вход-выход» регулятора

$$\Phi(\varepsilon; k) = k \operatorname{sat} \varepsilon,$$

$$\text{ОУ имеет ПФ } W(s) = \frac{10}{s(0,1s+1)(0,01s+1)}$$

Найти величину коэффициента передачи регулятора, при котором в системе возникнут автоколебания.

18. В НС канонической структуры характеристика «вход-выход» регулятора

$$\Phi(\varepsilon) = \varepsilon^3,$$

ОУ имеет ПФ
$$W(s) = \frac{1}{(s+1)^3}$$

Исследовать возможность возникновения в такой системе автоколебаний.

19. Найти условия возникновения автоколебаний для НС, в которой ЛЧ имеет ПФ

$$W(s) = \frac{k}{s(T_1s+1)(T_2s+1)},$$

а НЭ – характеристика идеального реле с параметром В.

20. В НС канонической структуры в качестве регулятора используется 3-х позиционное реле без гистерезиса с характеристикой

$$\Phi(\varepsilon) = \begin{cases} 25 \operatorname{sign} \varepsilon, & |\varepsilon| \geq 0,9 \\ 0, & |\varepsilon| < 0,9 \end{cases}$$

Возникнут ли в системе а/к?

21. Двухконтурная НС, содержащая во внутреннем контуре НЭ с характеристикой идеального реле $\Phi(\varepsilon) = B \operatorname{sign} \varepsilon$ и последовательно соединенное звено с ПФ

$$W_0(s) = \frac{k_0}{s(T_0s+1)}$$

охвачена ООС с коэффициентом k . Внешний контур, содержащий фильтр в виде инерционного звена

$$W_1(s) = \frac{k_1}{T_1s+1}$$

и последовательно соединенный внутренний контур, охвачен ЕООС. В системе возникают а/к, близкие к гармоническим. Найти параметры этих колебаний.

22. Известна структурная схема системы (рис.1)

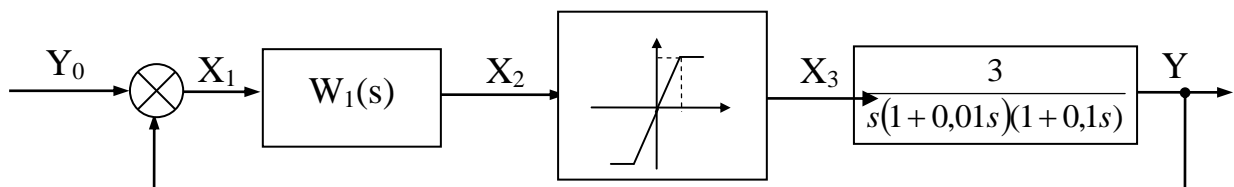
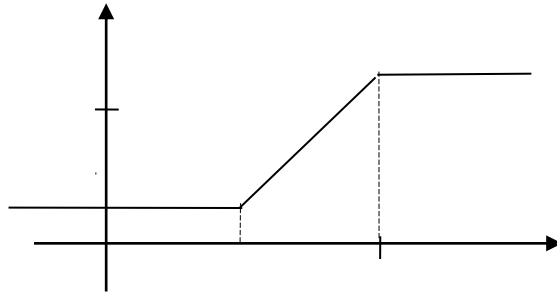


Рис.1

Передаточная функция $W_1(s)$ содержит минимально-фазовые звенья и может быть идентифицирована по следующей ЛАЧХ:



Задание:

22.1. Определить класс СУ: а) линейная; б) нелинейная; в) статическая; г) астатическая; д) система программного управления; е) следящая система; ж) система стабилизации.

22.2. Определить $W_1(s)$.

22.3. Провести анализ линеаризованной системы: оценить устойчивость системы по критерию Найквиста на комплексной плоскости; оценить качество системы в установившемся режиме.

22.4. Провести анализ нелинейной системы: исследовать частотным методом систему на возможность возникновения в ней симметричных автоколебаний.

2. Экзамен

Студент письменно отвечает на 11 заданий. В случае, если студент не может ответить на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы по этой теме.

Критерии оценивания:

Отлично: Правильный ответ на 10-11 заданий.

Хорошо: Правильный ответ более чем на 8 заданий.

Удовлетворительно: Правильный ответ более чем на 6 заданий.

Неудовлетворительно: Решение менее 6 заданий.

Задание

1. Для экспериментального получения временной характеристики звена (системы) используется входной тестовый сигнал:

А) единичный ступенчатый; Б) единичный импульсный;

В) линейно-нарастающий; Г) синусоидальный.

2. Дать суждение об устойчивости системы, если известны корни ее характеристического уравнения: (0, -3, -1)

3. Расположите по порядку наклоны асимптотической ЛАЧХ, если

$$W(s) = \frac{10 \cdot (1+s)}{s \cdot (1+0.01s)}$$

передаточная функция РС имеет вид:

А) 0 дБ/дек; Б) 20 дБ/дек; В) -20 дБ/дек; Г) 40 дБ/дек; Д) -40 дБ/дек; Е) 60 дБ/дек; Ж) -60 дБ/дек.

4. Установите соответствие между типом динамического звена и его дифференциальным уравнением.

5. Найдите корни характеристического уравнения системы $\dot{x}(t) = Ax(t)$ и дайте суждение об её устойчивости

6. Запишите передаточную функцию замкнутой системы по возмущению, если известна структурная схема системы

7. На рисунке представлена структурная схема системы, запишите матрицы в пространстве состояний

8. Найти коэффициент чувствительности перерегулирования этой системы к постоянной времени

9. Система управления, в которой малые вариации операторов и параметров звеньев не приводят к большим (качественным) изменениям свойств систем в целом, является...

устойчивой; грубой; стационарной; астатической.

10. Выход механического устройства связан со входом нелинейной зависимостью

$$y = 0,9x - 0,84x^3$$

Составить линейную модель этой зависимости в точке

$$x_0 = 1,8.$$

11. Известна структурная схема системы (рис.1). Передаточная функция $W_1(s)$ содержит минимально-фазовые звенья и может быть идентифицирована по ЛАЧХ.

Задание:

11.1. Определить класс СУ: а) линейная; б) нелинейная; в) статическая; г) астатическая; д) система программного управления; е) следящая система; ж) система стабилизации.

11.2. Определить $W_1(s)$.

11.3. Провести анализ линеаризованной системы: оценить устойчивость системы по критерию Найквиста на комплексной плоскости; оценить качество системы в установившемся режиме.

11.4. Провести анализ нелинейной системы: исследовать частотным методом систему на возможность возникновения в ней симметричных автоколебаний.

УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Печатная литература

а) основная литература:

1. Бесекерский, В. А. Теория систем автоматического управления [Текст] В. А. Бесекерский, Е. П. Попов. - 4-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Профессия, 2007. - 747, [2] с. ил.

2. Дорф, Р. К. Современные системы управления Р. К. Дорф, Р. Х. Бишоп; Пер. с англ. Б. И. Копылова. - М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2004. - 831 с. ил.

3. Петров, Ю. П. Очерки истории теории управления [Текст] Ю. П. Петров. - СПб.: БХВ-Петербург, 2007. - 266 с. ил. 22 см.

4. Петраков, Ю. В. Теория автоматического управления технологическими системами [Текст] учеб. пособие для вузов по направлению 220100 "Систем. анализ и упр." Ю. В. Петраков, О. И. Драчев. - М.: Машиностроение, 2008. - 336 с. ил. 1 электрон. опт. диск

5. Буренок, В. М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем [Текст] В. М. Буренок, В. Г. Найденев, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Ким, Д. П. Теория автоматического управления Т. 2 Многомерные, нелинейные, оптимальные и адаптивные системы Учеб. пособие для вузов по направлению "Автоматизация и упр." Д. П. Ким. - М.: Физматлит, 2004. - 463 с.

2. Певзнер, Л. Д. Практикум по теории автоматического управления [Текст] учеб. пособие для вузов Л. Д. Певзнер. - М.: Высшая школа, 2006. - 589, [1] с.

3. Павловская, О. О. Теория автоматического управления [Текст] Ч. 2 Нелинейные системы учеб. пособие по специальности 160403 "Системы упр. летат. аппаратами" и др. специальностям О. О. Павловская ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Системы упр.; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательский Центр ЮУрГУ, 2011. - 89, [1] с. ил.

4. Павловская, О. О. Теория автоматического управления Ч. 1 Линейные системы Учеб. пособие О. О. Павловская, Н. В. Плотникова; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Системы упр.; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2004. - 73, [2] с. электрон. версия

Электронная учебно-методическая документация (табл. 8):

Таблица 8

№	Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
1	Основная литература	Буренок, В. М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем / Текст В. М. Буренок, В. Г. Найденев, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил.	https://e.lanbook.com/	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет / Авторизованный

ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие сведения.....	1
Содержание дисциплины.....	2
Лекции	2
Практические занятия.....	3
Лабораторные работы	4
Самостоятельная работа студента	4
Паспорт фонда оценочных средств	4
Типовые задания, процедуры проведения, критерии оценивания.....	5
1. Проверка подготовки к практическим занятиям.....	5
2. Экзамен	8
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	9