

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ПРАКТИКУМ ПО СИСТЕМАМ УПРАВЛЕНИЯ ЛЕТАТЕЛЬНЫМИ АППАРАТАМИ»

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цель дисциплины – практическое решение задач для усвоения основ и принципов работы систем управления летательными аппаратами.

Задачи дисциплины – научить студентов методикам и средствам решения задач по соответствующей области систем управления летательными аппаратами.

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-5 способностью к освоению новых образцов программных, технических средств и информационных технологий	Знать: основные методы получения сигналов с использованием имитационного и полунатурного моделирования
	Уметь: выполнять теоретический анализ математических моделей систем управления летательными аппаратами
	Владеть: навыками математического и полунатурного моделирования СУЛА
ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Знать: принципы построения систем управления ЛА; основные элементы системы управления: датчики, управляющие устройства, исполнительные механизмы
	Уметь: проводить анализ установившихся и переходных режимов работы системы ее устойчивости и показателей качества; синтезировать управляющие и корректирующие устройства СУ
	Владеть: навыками проверки работоспособности оборудования системы управления и его настройки; методикой проведения натурных испытаний
ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Знать: характеристики ЛА как объекта управления
	Уметь: рассчитывать или определять экспериментально характеристики элементов и всей системы управления
	Владеть: методами математического и полунатурного моделирования СУЛА

ОК-5 способностью понимать социальную значимость своей профессии, цели и смысл государственной службы, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства	Знать:знать значимость изучаемых технологий и методологий
	Уметь:выполнять оптимизацию параметров для увеличения качества процессов
	Владеть:навыками проведения комплексного анализа с целью получения оценок параметров СУЛА для последующего повышения эффективности функционирования
ОК-8 способностью к письменной и устной деловой коммуникации, к чтению переводу текстов по профессиональной тематике на одном из иностранных языков	Знать:терминологию на английском языке по теме изучаемой дисциплины
	Уметь:анализировать иностранные источники литературы
	Владеть:навыками проведения обзора отечественных и зарубежных исследований, алгоритмов и оборудования

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Таблица 2

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц)	Кол-во часов
Подготовка к зачету	Основная 1-5. Дополнительная - 1-3	24
Выполнение курсовой работы	Основная -1-3, 5. Дополнительная - 4-5	84

## ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Таблица 3

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНы	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Все разделы	ОПК-5 способностью к освоению новых образцов программных, технических средств и информационных технологий	Защита курсовой работы	3-5
Все разделы	ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Защита курсовой работы	2
Все разделы	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Защита курсовой	1

		работы	
Все разделы	ОК-5 способностью понимать социальную значимость своей профессии, цели и смысл государственной службы, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства	Защита курсовой работы	3-5
Все разделы	ОК-8 способностью к письменной и устной деловой коммуникации, к чтению переводу текстов по профессиональной тематике на одном из иностранных языков	Защита курсовой работы	1
Все разделы	ОПК-5 способностью к освоению новых образцов программных, технических средств и информационных технологий	Зачет	1
Все разделы	ПК-4 способностью на основе системного подхода анализировать работу систем управления летательных и подвижных аппаратов различного назначения как объектов - ориентации, стабилизации и навигации и создавать их математические модели движения, позволяющие прогнозировать тенденцию развития их как объектов управления и тактики их применения	Зачет	1
Все разделы	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Зачет	1
Все разделы	ОК-5 способностью понимать социальную значимость своей профессии, цели и смысл государственной службы, обладать высокой мотивацией к выполнению профессиональной деятельности, защите интересов личности, общества и государства	Зачет	1
Все разделы	ОК-8 способностью к письменной и устной деловой коммуникации, к чтению переводу текстов по профессиональной тематике на одном из иностранных языков	Зачет	1

## **ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ, ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕДЕНИЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ**

### **1. Защита курсовой работы**

#### *Процедура проведения*

В начале семестра студенту выдается индивидуальное задание на математическое описание, анализ и идентификация двумерных динамических объектов. Студент выполняет все необходимые расчеты и представляет на защиту оформленную пояснительную записку. Преподаватель задает уточняющие вопросы по содержанию работы.

### *Критерии оценивания*

*Отлично:* Правильно выполнены все 5 глав работы, студент отвечает на все вопросы.

*Хорошо:* Выполнены 4-5 главы работы, имеются некоторые неточности, студент отвечает на большинство задаваемых вопросов.

*Удовлетворительно:* Выполнены только 3 главы работы, студент слабо подготовлен и не отвечает на вопросы.

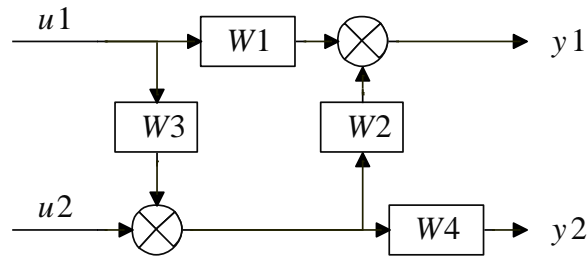
*Неудовлетворительно:* Выполнено менее 3 глав работы

### *Вопросы*

1. Первая группа перекрестных связей многомерных САР.
2. Модель параллельных цепочек. Структурная схема, функция выходного сигнала.
3. Вторая группа перекрестных связей многомерных САР.
4. Виды оценок.
5. Классификация многомерных САР по характеру зависимостей статических ошибок регулирования от внешних воздействий.
6. Прямые и обратные перекрестные связи.
7. Погрешности в методе фильтрации Калмана.
8. Влияние погрешностей в методе фильтрации Калмана на систему и методы их устранения.
9. Классификация многомерных САР по принципу использования перекрестных связей в регуляторе МСАР.
10. Постановка задачи идентификации одномерного динамического объекта.
11. Классификация многомерных САР по соотношению между числом регулируемых и управляющих координат.
12. Методы идентификации.
13. Управляемость. Определение и основные условия.
14. Классификация идентифицируемых элементов.
15. Наблюдаемость. Определение и основные условия.
16. Области применения идентификации.
17. Идентифицируемость. Определение и основные условия.
18. Объекты идентификации.
19. Виды используемых функций при идентификации. Составляющие сигналов.
20. Понятие структуры, элемента и математической модели.
21. Основные отличия идентификации по временным и частотным характеристикам.

### Пример

Структурная схема исследуемого двумерного динамического объекта:



$$W1(s) = b_{10}/(a_{10}+s); W2(s)= k_2; W3(s)=b_{30}/(a_{30}+a_{31}s+s^2); W4(s)= k_4;$$
$$u_{11}=5; u_{21}=10; u_{12}=10; u_{22}=5.$$

1. Для заданной структурной схемы двумерного объекта составить математическую модель (блочные матричные выражения и соотношения элементов системы).

2. Выбрать параметры элементов системы таким образом, чтобы система стала устойчивой. Для этого провести моделирование для двух экспериментов. Привести графики выходов модели объекта  $Y_{11}$ ,  $Y_{21}$ ,  $Y_{12}$ ,  $Y_{22}$  для каждого эксперимента. Выполнить анализ объекта в начальный и конечный момент времени. Свести теоретические и экспериментальные значения выходов системы в таблицу.

3. Провести идентификацию во временной области всех передаточных функций. Сравнить оценочные значения параметров звеньев со значениями, полученными аналитическим методом. Привести диалоговое окно программы с результатами идентификации, а также полученные графические зависимости входа передаточной функции, реального и оценочного выхода.

4. Выполнить проектирование математического описания в программном продукте аналитических вычислений. Используя методы теории управления, получить действительную и мнимую части всех передаточных функций. Провести анализ теоретических значений передаточных функций при  $\omega=0$  и  $\omega \rightarrow \infty$ , полученные через пределы и через уравнения для выходов двух опытов, и сравнить их. Построить графики АФЧХ для каждого звена.

5. Провести идентификацию в частотной области. Сравнить оценочные значения параметров звеньев со значениями, полученными аналитическим методом. Привести диалоговое окно программы с результатами идентификации, а также полученные графические зависимости действительной и мнимой части реального и оценочного сигнала.

### Пример выполнения

1. Системы уравнений для первого и второго выхода:

$$\begin{cases} Y_{11} = U_{11}W_1 + Y_{21}W_4^{-1}W_2 \\ Y_{12} = U_{12}W_1 + Y_{22}W_4^{-1}W_2 \end{cases}; \quad \begin{cases} Y_{21} = U_{11}W_3W_4 + U_{21}W_4 \\ Y_{22} = U_{12}W_3W_4 + U_{22}W_4 \end{cases}.$$

Системы уравнений приведены к матричному виду:

$$\begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{12} \\ Y_{21} \\ Y_{22} \end{bmatrix} = \left[ \begin{array}{cc|cc} U_{11} & Y_{21} & & \\ U_{12} & Y_{22} & & \\ \hline & & U_{11} & U_{21} \\ & & U_{12} & U_{22} \end{array} \right] \cdot \begin{bmatrix} W_1 \\ W_4^{-1}W_2 \\ W_3W_4 \\ W_4 \end{bmatrix}$$

С помощью системы блочных матричных уравнений получены обобщенные временные последовательности:

$$W_1 = \frac{\begin{vmatrix} Y_{11} & Y_{21} \\ Y_{12} & Y_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} U_{11} & Y_{21} \\ U_{12} & Y_{22} \end{vmatrix}} = \frac{Y_{11}Y_{22} - Y_{12}Y_{21}}{U_{11}Y_{22} - U_{12}Y_{21}};$$

$$W_3W_4 = \frac{\begin{vmatrix} Y_{21} & U_{21} \\ Y_{22} & U_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} U_{11} & U_{21} \\ U_{12} & U_{22} \end{vmatrix}} = \frac{Y_{21}U_{22} - Y_{22}U_{21}}{U_{11}U_{22} - U_{12}U_{21}};$$

$$W_4^{-1}W_2 = \frac{\begin{vmatrix} U_{11} & Y_{11} \\ U_{12} & Y_{12} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} U_{11} & Y_{21} \\ U_{12} & Y_{22} \end{vmatrix}} = \frac{U_{11}Y_{12} - U_{12}Y_{11}}{U_{11}Y_{22} - U_{12}Y_{21}};$$

$$W_4 = \frac{\begin{vmatrix} U_{11} & Y_{21} \\ U_{12} & Y_{22} \end{vmatrix}}{\begin{vmatrix} U_{11} & U_{21} \\ U_{12} & U_{22} \end{vmatrix}} = \frac{U_{11}Y_{22} - U_{12}Y_{21}}{U_{11}U_{22} - U_{12}U_{21}};$$

$$W_2 = (W_4^{-1}W_2)W_4 = \frac{U_{11}Y_{12} - U_{12}Y_{11}}{U_{11}U_{22} - U_{12}U_{21}};$$

$$W_3 = (W_3W_4) \frac{1}{W_4} = \frac{Y_{21}U_{22} - Y_{22}U_{21}}{U_{11}Y_{22} - U_{12}Y_{21}}.$$

2. Значения параметров звеньев выбираются таким образом, чтобы обеспечить устойчивость системы.

Построена модель системы для двух опытов (рис. 1).

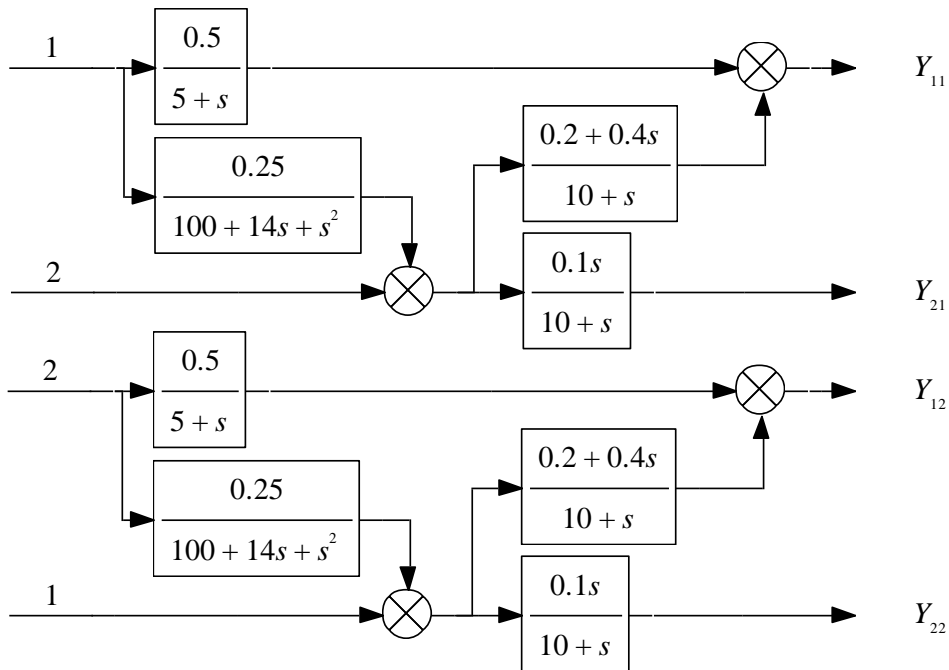


Рис. 1. Модель системы с выбранными параметрами

Проведено моделирование за 2 секунды и в результате получены выходные сигналы системы для двух опытов, которые представлены на рисунке 2.

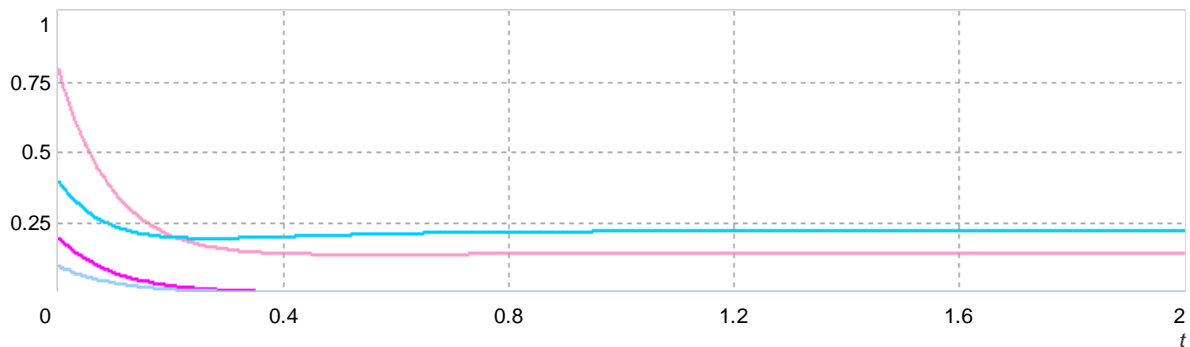


Рис. 2. Графики выходов системы для двух опытов

Анализ сигналов в начальный момент времени.

Выходные сигналы:

$$\begin{cases} Y_{11} = U_{11}W_1(\infty) + Y_{21}W_4^{-1}(\infty)W_2(\infty) \\ Y_{12} = U_{12}W_1(\infty) + Y_{22}W_4^{-1}(\infty)W_2(\infty) \end{cases}, \quad \begin{cases} Y_{21} = U_{11}W_3(\infty)W_4(\infty) + U_{21}W_4(\infty) \\ Y_{22} = U_{12}W_3(\infty)W_4(\infty) + U_{22}W_4(\infty) \end{cases}$$

Сначала определяются сигналы  $Y_{21}$  и  $Y_{22}$ , затем их значения подставляются в выражения для нахождения  $Y_{11}$  и  $Y_{12}$ . В случае если сигналы взаимозависимы, необходимо сначала получить независимые выражения, а потом подставить соответствующие значения.

Значения четырёх передаточных функций равны 0, 0,4, 0 и 0,1 соответственно, тогда значения сигналов для первого выхода равны 0,8 и 0,4, а значения сигналов для второго выхода равны 0,2 и 0,1.

Анализ сигналов в конечный момент времени.

Выходные сигналы:

$$\begin{cases} Y_{11} = U_{11}W_1(0) + Y_{21}W_4^{-1}(0)W_2(0) \\ Y_{12} = U_{12}W_1(0) + Y_{22}W_4^{-1}(0)W_2(0) \end{cases}, \quad \begin{cases} Y_{21} = U_{11}W_3(0)W_4(0) + U_{21}W_4(0) \\ Y_{22} = U_{12}W_3(0)W_4(0) + U_{22}W_4(0) \end{cases}$$

Значения четырёх передаточных функций равны 0,1, 0,02, 0,0025 и 0 соответственно, тогда значения сигналов для первого выхода равны 0,14 и 0,22, а значения сигналов для второго выхода равны 0.

Результаты сравнения значений выходных сигналов, полученных теоретическим и экспериментальным методами, сведены в таблицы 4 и 5.

Таблица 4

Параметр	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{21}$	$Y_{22}$
Теоретическое	0,8	0,4	0,2	0,1
Экспериментальное	0,8	0,4	0,2	0,1
Погрешность, %	0	0	0	0

Таблица 5

Параметр	$Y_{11}$	$Y_{12}$	$Y_{21}$	$Y_{22}$
Теоретическое	0,14	0,22	0	0
Экспериментальное	0,140045	0,220091	0	0
Погрешность, %	0,03	0,04	0	-

### 3. Идентификация во временной области.

Используя обобщенные временные последовательности, путем применения свертки сигналов для каждой передаточной функции отдельно формируются числитель и знаменатель. Например, для звена  $W_1$  модель системы со сверткой имеет следующий вид (рис. 3):

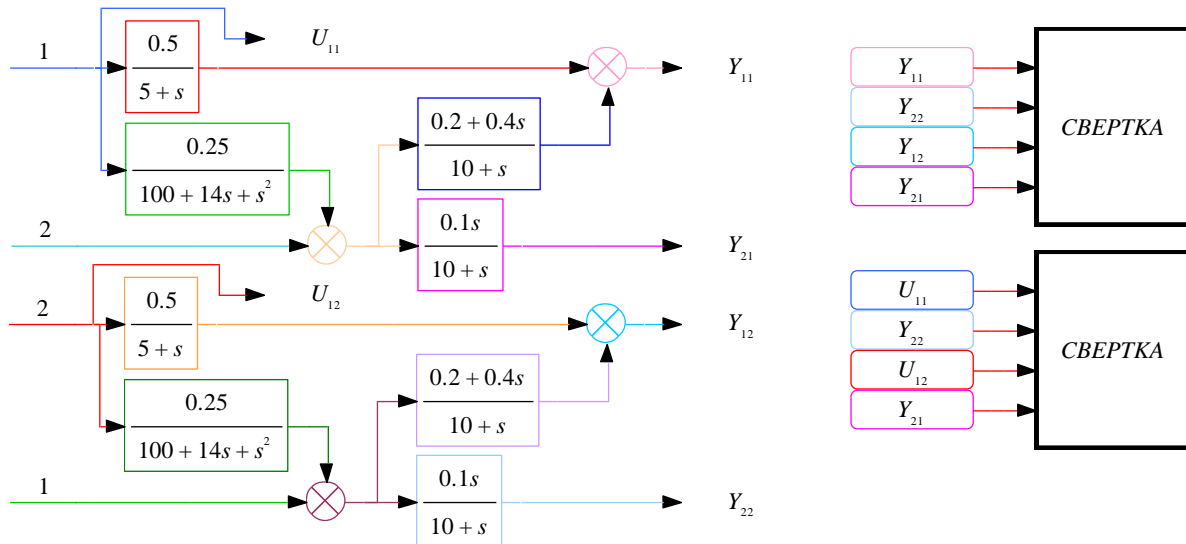


Рис. 3. Модель системы для получения обобщенных координат  $W_1$

На рисунке 4 представлен диалог с результатами идентификации  $W_1$ .



Рис. 4. Диалог с результатами идентификации  $W_1$

Сравнение оценочных значений параметров с истинными сведено в табл. 6.

Таблица 6

Коэффициент	B0	A0	A1
Оценка	0,499145	4,991067	1
Истинное	0,5	5	1
Погрешность, %	0,171	0,17866	0

Аналогично выполняется идентификация для остальных звеньев.





## 5. Идентификация в частотной области.

На рисунке 6 представлен диалог с результатами идентификации  $W_1$ .

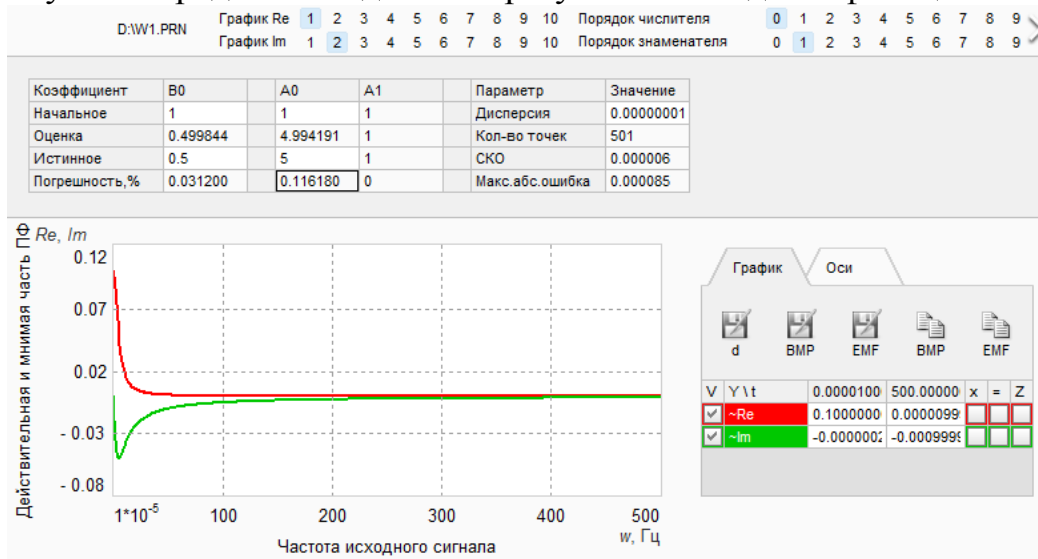


Рис. 6. Диалог с результатами идентификации  $W_1$

Сравнение оценочных значений параметров с истинными сведено в табл. 7.

Таблица 7

Коэффициент	B0	A0	A1
Оценка	0,499844	4,994191	1
Истинное	0,5	5	1
Погрешность, %	0,0312	0,11618	0

Аналогично выполняется идентификация для остальных звеньев.

## 2. Зачет

### Процедура проведения

Студенту задается 1 вопрос из перечня. Если студент не отвечает на вопрос, ему задаются уточняющие вопросы.

### Критерии оценивания

*Зачтено:* правильный ответ на вопрос, допускаются неточности.

*Не зачтено:* неправильный ответ на вопрос.

### Вопросы

1. Основные компоненты конструирования моделей по результатам наблюдений.
2. Причины несовершенства моделей.
3. Постановка задачи идентификации во временной области двумерного объекта.
4. Классификация признаков, присущая различным методам идентификации.
5. Понятие идентификации в широком смысле.

6. Понятие идентификации в узком смысле.
7. Обобщенная процедура идентификации.
8. Классификация многомерных САР по принципу действия.
9. Активная идентификация.
10. Классификация многомерных САР по целевому назначению.
11. Пассивная идентификация.
12. Постановка задачи идентификации в частотной области двумерного объекта.
13. Критерии идентификации.
14. Условия повышения качества идентификации.
15. Модель Гаммерштейна. Структурная схема, функция выходного сигнала.
16. Основные причины расхождения процесса фильтрации частотного метода идентификации двумерных динамических объектов.
17. Модель Винера. Структурная схема, функция выходного сигнала.
18. Количественная мера близости объекта и модели в пространстве выходных сигналов при идентификации частотным методом.
19. Модель общего вида. Структурная схема, функция выходного сигнала.

## **УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ**

### **Печатная учебно-методическая документация**

#### *а) основная литература:*

1. Буренок, В. М. Математические методы и модели в теории информационно-измерительных систем [Текст] В. М. Буренок, В. Г. Найденков, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил.
2. Разоренов, Г. Н. Системы управления летательными аппаратами (баллистическими ракетами и их головными частями) Учеб. для вузов по специальности "Системы упр. летат. аппаратами" направления подгот. дипломир. специалистов "Системы упр. движением и навигация" Г. Н. Разоренов, Э. А. Бахрамов, Ю. Ф. Титов; Под ред. Г. Н. Разоренова. - М.: Машиностроение, 2003. - 581,[1] с. ил.
3. Поршнева, С. В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB [Текст] учеб. пособие для вузов С. В. Поршнева. - 2-е изд., испр. - СПб. и др.: Лань, 2011. - 726 с. ил. 1 электрон. опт. диск
4. Haber, R. Nonlinear system identification - input - output modelling approach [Текст] Vol. 1 Nonlinear system parameter identification R. Haber, L. Keviczky ; ed. R. Lowen. - Dordrecht et al.: Kluwer Academic Publishers, 1999
5. Haber, R. Nonlinear system identification - input - output modelling approach [Текст] Vol. 2 Nonlinear system structure identification R. Haber, L. Keviczky ; ed. R. Lowen. - Dordrecht et al.: Kluwer Academic Publishers, 1999

*б) дополнительная литература:*

1. Чембровский, О. А. Общие принципы проектирования систем управления [Текст] О. А. Чембровский, Ю. И. Топчеев, Г. В. Самойлович. - М.: Машиностроение, 1972. - 414 с. черт.

2. Ануфриев, И. Е. MATLAB 7 Наиболее полное рук. И. Е. Ануфриев, А. Б. Смирнов, Е. Н. Смирнова. - СПб.: БХВ-Петербург, 2005. - 1104 с.

3. Пикина, Г. А. Математические модели технологических объектов [Текст] учеб. пособие по курсу "Моделирование систем управления" Г. А. Пикина ; под ред. А. В. Андрушина ; Моск. энерг. ин-т (техн. ун-т). - М.: Издательский дом МЭИ, 2007. - 299, [1] с. ил.

4. Устюгов, М. Н. Идентификация линейных двухмерных динамических объектов и систем [Текст] учеб. пособие М. Н. Устюгов ; Юж.-Урал. гос. ун-т, Каф. Системы упр.; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2005. - 87, [1] с. ил.

*в) отечественные и зарубежные журналы по дисциплине, имеющиеся в библиотеке:*

1. Ракетная техника и космонавтика
2. Теория и системы управления

**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. Найденов, В. И. Поляков ; Рос. акад. ракет. и артиллер. наук. - М.: Машиностроение, 2011. - 334 с. ил.	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет / Авторизованный

**ОГЛАВЛЕНИЕ**

Общие сведения.....	1
Самостоятельная работа студента .....	2
Паспорт фонда оценочных средств .....	2
Типовые задания, процедуры проведения, критерии оценивания .....	3
1. Защита курсовой работы.....	3
2. Зачет .....	10
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	11