

# МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ ПО ОСВОЕНИЮ ДИСЦИПЛИНЫ «ПРОЕКТИРОВАНИЕ СИСТЕМ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ»

## ОБЩИЕ СВЕДЕНИЯ

Цели: усвоение основ проектирования систем управления летательными аппаратами (СУЛА), закрепление знаний по теории моделирования, методов и алгоритмов построения и реализации математических моделей на ЭВМ сложных систем, анализа полученных результатов, понимания основ автоматизированного проектирования систем.

Задачи: научить студентов моделировать на ЭВМ системы управления движением летательных аппаратов с использованием современных программных средств, использовать современные программные средства САПР для построения и моделирования на ЭВМ математических моделей системы различной сложности.

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

Таблица 1

№ п/п	Компетенция	Уровень овладения
1.	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	знать: основы проектирования СУЛА; уметь: применять математический аппарат для проектирования СУ движением ЛА; владеть: программными средствами проектирования СУ движением ЛА.
2.	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: основы анализа СУЛА; уметь: проектировать модели движения ЛА по системам дифференциальных и алгебраических уравнений, оценивать их характеристики; владеть: программными продуктами моделирования сложных динамических систем при действии возмущений.
3.	ПК-9 способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты управляющих, навигационных и электроэнергетических комплексов летательных аппаратов с использованием математического моделирования и средств автоматизации проектирования	знать: основы математического аппарата моделирования систем; уметь: проектировать в программных продуктах модели систем управления летательных аппаратов; владеть: навыками разработки СУЛА.
4.	ПК-11 способностью разрабатывать варианты решения проблемы, проводить	знать: основные математические формулы для проведения аналитических

	системный анализ этих вариантов, определять компромиссные решения в условиях многокритериальности, неопределенности и с целью планирования реализации проекта	расчетов; уметь: выбирать необходимые способы расчета и корректно проводить по ним вычисления; владеть: навыками применения вычислительной техники для решения аналитических задач.
--	---	---

## СОДЕРЖАНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

Дисциплина включает в себя один раздел, который сведен в таблицу 2.

Таблица 2

№ раздела	Наименование разделов дисциплины	Объем аудиторных занятий по видам в часах			
		Всего	Л	ПЗ	ЛР
1	Основы проектирования САУ движением ЛА	48	16	32	0

## ЛЕКЦИИ

Проводится 12 лекций общим объемом 16 часов (табл. 3).

Таблица 3

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Обзор литературы. Модели и моделирование. Классификация моделей. Примеры моделей движения ЛА.	1
2	1	Теоремы подобия и дополнения к теории подобия. Подобие сложных и нелинейных систем. Другие виды подобия. Исследование и проектирование систем управления с источниками питания ограниченной мощности. Модельный источник и модельный потребитель, их физические реализации.	1
3	1	Три основных этапа: формулировка замысла модели, реализация, получение и анализ результатов построения математической модели. Построение блок-схемы этапов.	2
4	1	Методы автоматизированного построения математических моделей систем, описываемых структурными схемами, стационарными и нестационарными дифференциальными и алгебраическими уравнениями и их модификациями.	2
5	1	Построение математических моделей систем, описываемых «жесткой системой» нелинейных дифференциальных уравнений.	2
6	1	Языки, программные средства и системы моделирования СУЛА.	2
7	1	Реализация на ЭВМ математических моделей систем, описываемых структурными схемами, стационарными и нестационарными дифференциальными и алгебраическими уравнениями и их модификациями.	1

8	1	Реализация на ЭВМ математических моделей систем, описываемых «жесткой системой» нелинейных дифференциальных уравнений	1
9	1	Методы аналогий в построении математических моделей систем управления различной физической природы. Компонентные и топологические уравнения.	1
10	1	Электрические и механические подсистемы	1
11	1	Построение математических моделей СУ, состоящих из различных подсистем. Виды взаимосвязи подсистем. Моделирование и исследование их на ЭВМ.	1
12	1	Современные программные средства моделирования и проектирования сложных систем	1

## ПРАКТИЧЕСКИЕ ЗАНЯТИЯ

Проводится 6 практических занятий общим объёмом 32 часа (табл. 4).

Таблица 4

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия	Кол-во часов
1	1	Проектирование, моделирование и исследование линейных стационарных СУЛА	6
2	1	Моделирование и исследование линейных нестационарных СУЛА со статическими и динамическими алгебраическими контурами	6
3	1	Моделирование и исследование нелинейных стационарных СУЛА	6
4	1	Моделирование и исследование нелинейных нестационарных СУЛА со статическими и динамическими алгебраическими контурами	6
5	1	Моделирование и исследование нелинейных нестационарных систем, описываемых «жесткой» системой дифференциальных уравнений	2
6	1	Построение, моделирование и исследование мат. моделей систем различной физической природы с использованием метода аналогий	6

### Методические указания по выполнению практических заданий

Практические задания представляют собой решение задач моделирования САУ движением ЛА для конкретной исходной схемы системы в программных продуктах моделирования. Для выполнения каждой задачи необходимо составить математическое описание заданной системы, выполнить проектирование в программных продуктах моделирования и провести сравнительный анализ значений параметров, полученных теоретически, со значениями параметров, которые получены в продуктах моделирования. Выполнение заданий позволяет приобрести необходимые навыки и умения работы в продуктах моделирования и проектирования, а также овладеть соответствующим математическим аппаратом теории систем для выполнения контрольных работ и для подготовки к зачету.

## САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ РАБОТА СТУДЕНТА

Каждый студент самостоятельно выполняет работу (см. табл. 5):

Таблица 5

Выполнение СРС		
Вид работы и содержание задания	Список литературы	Кол-во часов
Подготовка к зачету. Чтение специализированной литературы, ознакомление и выполнение пробной задачи по проектированию и моделированию в специализированных программных продуктах системы управления движением летательного аппарата.	Основная литература – 1-3. Дополнительная литература - 1-10.	9
Выполнение расчетно-графической работы. Проектирование, синтез, моделирование и идентификация САУ движением ЛА.	Основная литература - 1-3	51

## ПАСПОРТ ФОНДА ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Список оценочных средств представлен в табл. 6.

Таблица 6

Наименование разделов дисциплины	Контролируемая компетенция ЗУНЫ	Вид контроля (включая текущий)	№№ заданий
Основы проектирования САУ движением ЛА	ПСК-9.1 способностью проектировать системы управления движением летательных аппаратов	Зачет	1
Основы проектирования САУ движением ЛА	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	2
Основы проектирования САУ движением ЛА	ПК-9 способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты управляющих, навигационных и электроэнергетических комплексов летательных аппаратов с использованием математического моделирования и средств автоматизации проектирования	Зачет	3
Основы проектирования САУ движением ЛА	ПК-11 способностью разрабатывать варианты решения проблемы, проводить системный анализ этих вариантов, определять компромиссные решения в условиях многокритериальности, неопределенности и с целью планирования реализации проекта	Зачет	4

Основы проектирования САУ движением ЛА	ПК-9 способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты управляющих, навигационных и электроэнергетических комплексов летательных аппаратов с использованием математического моделирования и средств автоматизации проектирования	Тестирование	1
Основы проектирования САУ движением ЛА	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	Контрольная работа	1
Все разделы	ПК-9 способностью разрабатывать эскизные, технические и рабочие проекты управляющих, навигационных и электроэнергетических комплексов летательных аппаратов с использованием математического моделирования и средств автоматизации проектирования	Проверка расчетно-графической работы	1-5

## ТИПОВЫЕ ЗАДАНИЯ, ПРОЦЕДУРЫ ПРОВЕДЕНИЯ, КРИТЕРИИ ОЦЕНИВАНИЯ

### 1. Тестирование

#### *Процедура проведения*

Студент проходит тестирование, включающее в себя ответ на 3 случайно выбранных вопроса по основам проектирования математических моделей ЛА.

#### *Критерии оценивания*

*Зачтено:* правильные ответы на 2-3 вопроса.

*Не зачтено:* отсутствие ответов или ответ только на 1 вопрос.

#### *Пример*

1. Математическая модель ЛА – это:

- результат компьютерного моделирования процессов ЛА,
- +описание ЛА, выполненное с помощью математической символики,
- основные свойства ЛА,
- результаты исследования ЛА.

2. К детерминированным моделям ЛА относятся модели, отображающие...
- +процессы ЛА, в которых предполагается отсутствие случайных воздействий,
  - вероятностные процессы ЛА и события,
  - поведение ЛА в какой-либо момент времени,
  - поведение ЛА во времени.

## 2. Контрольная работа

### Задание

Для заданной структурной схемы системы в общем виде выполнить последовательную сквозную нумерацию элементов системы и составить матричную математическую модель системы.

### Процедура проведения

Проводится письменно. Студенту необходимо ознакомиться с основными правилами составления матричной математической модели ЛА.

### Критерии оценивания

Правильно выполненное задание без ошибок – 10 баллов.

За неправильно выполненную последовательную сквозную нумерацию элементов системы – штраф 5 баллов.

Каждая допущенная ошибка в ячейке матричной математической модели соответствует штрафу в 1 балл.

*Зачтено:* получение не менее 7 баллов.

*Не зачтено:* получение менее 7 баллов.

### Пример

1. Последовательная сквозная нумерация звеньев системы (рис. 1).

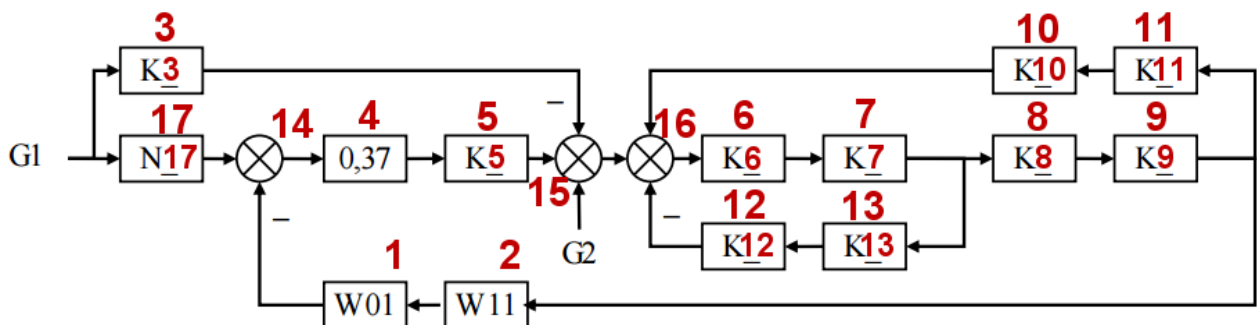


Рис. 1. Последовательная сквозная нумерация звеньев системы



### Пример

Система управления движением летательного аппарата по тангажу.

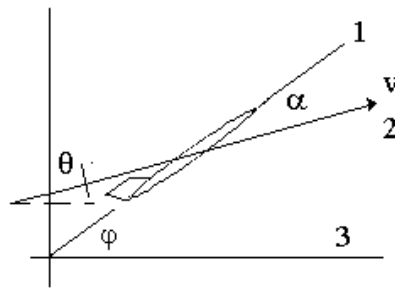


Рис. 2. Углы ориентации летательного аппарата

Рассматривается движение летательного аппарата в вертикальной плоскости. На рисунке приняты следующие обозначения: 1 – ось летательного аппарата, 2 – направление вектора мгновенной линейной скорости  $v$ , 3 – горизонталь. Обозначены угол тангажа  $\varphi$ , угол атаки  $\alpha$ , угол наклона траектории  $\theta$ .

Считается, что назначение системы управления сводится к поддержанию малых отклонений параметров движения от их установившихся значений. Регулируемой величиной является угол тангажа  $\varphi$ . В качестве регулирующего органа используется руль высоты.

Приняв, что скорость полета меняется незначительно, для полета, близкого к горизонтальному, на малом интервале времени угловое движение ЛА можно приближенно описать следующей системой линейных дифференциальных и алгебраических уравнений, где  $\delta$  – отклонение руля высоты,  $d_{ij}$  – аэродинамические коэффициенты,  $T$  и  $k$  – характеристики рулевой машинки:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} = d_{11} \frac{d\varphi}{dt} + d_{12} \alpha + d_{13} \delta + d_{14} \frac{d\alpha}{dt},$$
$$\frac{d\alpha}{dt} = \frac{d\varphi}{dt} + d_{21} \alpha, \alpha = \varphi - \theta, T \dot{\delta} + \delta = k u.$$

Значения параметров ЛА следующие:  $d_{11}=-2,2$ ,  $d_{12}=-16,0$ ,  $d_{13}=-100$ ,  $d_{21}=-2,5$ ,  $d_{14}=-0,7$ ,  $T=0,2$  с,  $k=1$ . Перерегулирование не более 10%, время переходного процесса не более 5 секунд.

## 4. Выполнение расчетно-графической работы

### Задание

1. Для системы по уравнениям составить структурную схему системы.
2. Синтезировать непрерывный модальный регулятор по полному вектору состояния, обеспечивающий заданное время переходного процесса с точностью 10% при распределении полюсов по Баттерворту. Проверить результаты моделированием в среде Matlab/Simulink.
3. Синтезировать непрерывный модальный регулятор по полному вектору состояния, обеспечивающий заданное время переходного процесса с точностью



10% при биномиальном распределении полюсов. Проверить результаты моделированием в среде Matlab/Simulink.

4. Для полученной устойчивой системы, задавая последовательно 1, 2, 3 неизвестных параметра на модели, в программе Acsocad:SimACS выполнить идентификацию объекта и привести результаты идентификации.

5. В продукте MATLAB создать автономное программное обеспечение с пользовательским интерфейсом, в котором в форме предусмотреть задание всех параметров системы, выполнение её моделирования по этим значениям, вывод полученных графиков переходных процессов. А также предусмотреть при помощи синтеза автоматизированный выбор параметров регулятора для заданных параметров качества системы с приведением графика выхода системы с графическим отображением линий или точек окончания переходного процесса (5 и 10% барьер).

#### *Процедура проведения*

В начале семестра студенту выдается техническое задание на проектирование системы автоматического управления движением летательного аппарата. Студент выполняет расчёты и оформляет их в виде пояснительной записки на 20-25 листов, представляет работу на защиту. Преподаватель оценивает работу и при необходимости задает уточняющие вопросы.

#### *Критерии оценивания*

*Зачтено:* выполнение не менее 60% заданий.

*Не зачтено:* выполнение менее 60% заданий.

#### *Пример*

Имеется реальная система, на вход которой подаётся стабильное напряжение  $U$ , равное 1 В. Уравнения, описывающие процессы реальной системы, имеют следующий вид:

$$T_d \dot{U}_d + K_{дд} U_d = K_d U - U_{я},$$

$$\dot{U}_{я} + T_{я} \dot{U}_{я} = K_{я} U_d.$$

Тогда для каждого уравнения в левой части уравнения необходимо оставить только старшую производную и выполнить подстановку  $s = d/dt$ .

$$s U_d = \frac{K_d}{T_d} U - \frac{1}{T_d} U_{я} - \frac{K_{дд}}{T_d} U_d,$$

$$s^2 U_{я} = K_{я} U_d - T_{я} s U_{я}.$$

Необходимо провести оценку различными методологиями и построить алгоритм решения задачи. Сначала необходимо построить структурную схему системы, затем реализовать интерфейс в программном продукте, связать модель и интерфейс, скомпоновать приложение, выполнить документирование.

Структурная схема системы строится путём реализации каждого уравнения при помощи суммирующих блоков и интеграторов. Подставив значения параметров  $K_d=0,5$ ,  $K_{дд}=10$ ,  $K_{я}=0,2$ ,  $T_d=10$ ,  $T_{я}=0,4$ , будет получена следующая структурная схема (рис. 3) и выходной процесс (рис. 4):

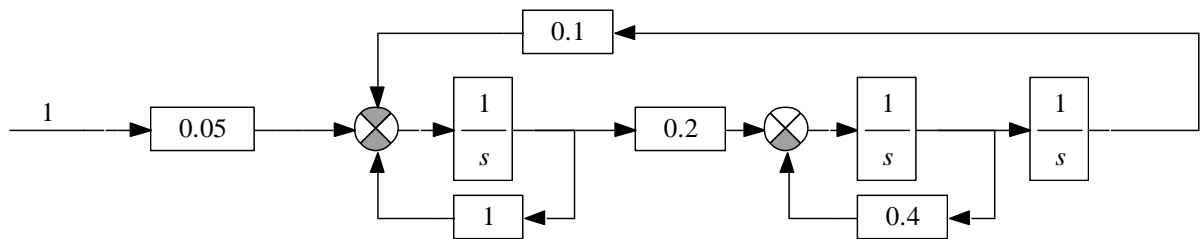


Рис. 3. Структурная схема исследуемой системы

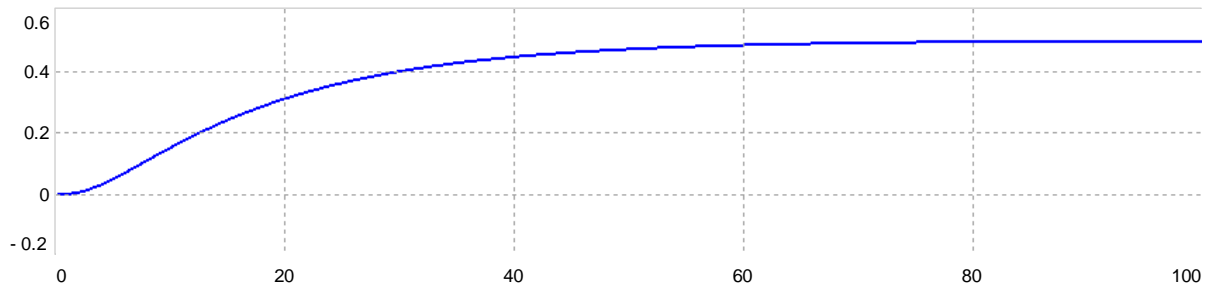


Рис. 4. Выход системы

В программном продукте выполняется создание пользовательского интерфейса (рис. 5), в котором бы имелась возможность задания начальных значений параметров системы, далее выполнялось моделирование системы и результаты отображались на форме (рис. 6).

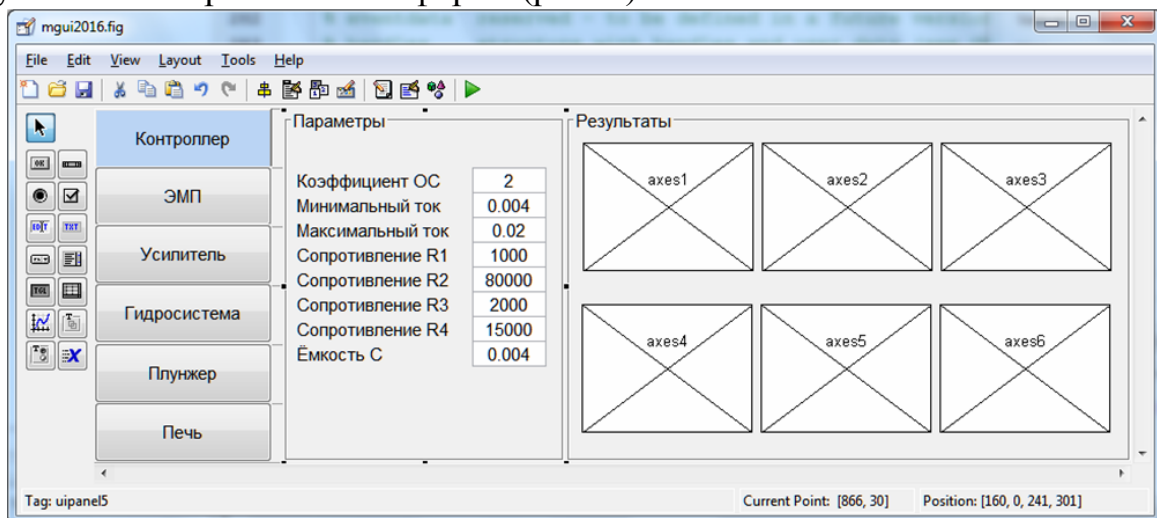


Рис. 5. Создание интерфейса пользователя

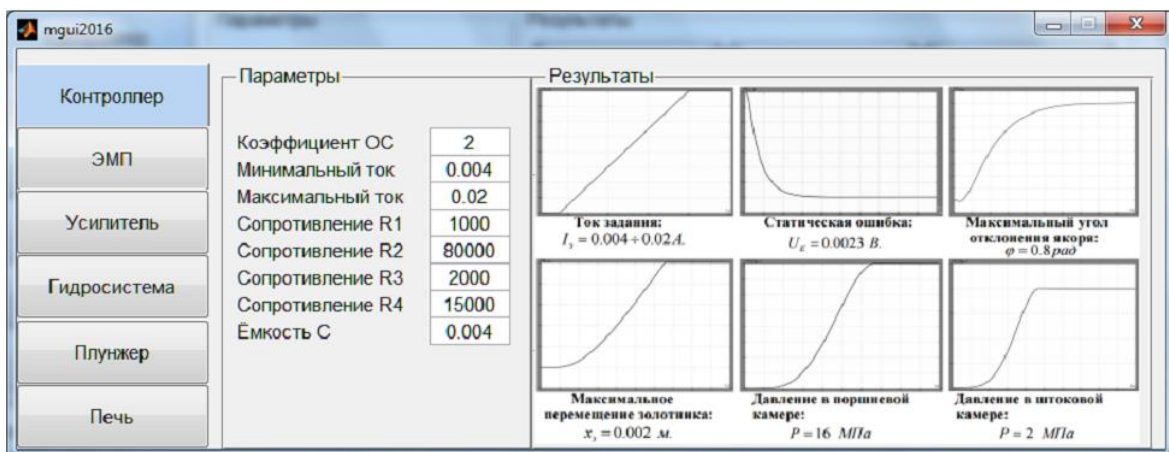


Рис. 6. Интерфейс пользователя с реальными данными

После разработки интерфейса и связи с моделью осуществляется компоновка программного обеспечения.

## УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ДИСЦИПЛИНЫ

### *а) основная литература:*

1. Математическое моделирование при формировании облика летательного аппарата / В.В. Гуляев, О.Ф. Демченко, Н.Н. Долженков и др.; Под ред. В. А. Подобедова. - М.: Машиностроение: Машиностроение-Полет, 2005. - 494, [1] с. ил.

2. Буренок, В.М. Математические методы и модели в теории информационно измерительных систем / В.М. Буренок, В.Г. Найденев, В.И. Поляков.– М.: Издательство Лань, 2011.–416 с.

3. Володин, В.В. Автоматизация проектирования летательных аппаратов. - М.: Машиностроение, 1991. - 255 с. ил.

### *б) дополнительная литература:*

1. Поршнев, С.В. Компьютерное моделирование физических процессов в пакете MATLAB Текст учеб. пособие для вузов / С.В. Поршнев. – 2-е изд., испр. - СПб. и др.: Лань, 2011. – 726 с. ил. 1 электрон. опт. диск

2. Норенков, И.П. Автоматизированные информационные системы. Текст учеб. пособие по направлению 230100 "Информатика и вычисл. техника" / И. П. Норенков. - М.: Издательство МГТУ им. Баумана, 2011.

3. Норенков, И.П. Ведение в автоматизированное проектирование технических устройств и систем. Учеб. Пособие / И.П. Норенков.–М: Высшая школа, 1986.– 304с.

4. Веников, В.А. Теория подобия и моделирования: Применительно к задачам электроэнергетики. Учеб. для вузов для электроэнерн. спец. - 2-е изд., перераб. и доп. / В.А. Веников. – М.: Высшая школа, 1976. - 479 с. ил.

5. Дьяконов, В. П. MATLAB 6.5 SP1/7 + Simulink 5/6: Основы применения / В. П. Дьяконов. – М.: Солон-Пресс, 2005. – 798 с.

6. Лазарев, Ю. Моделирование процессов и систем в MATLAB: Учеб. курс / Ю. Лазарев. – СПб. и др. : Питер:ВНУ, 2005. – 511 с.

7. Пикина, Г.А. Математические модели технологических объектов: учеб. пособие по курсу "Моделирование систем управления" / Г. А. Пикина ; под ред. А. В. Андрюшина; Моск. энерг. ин-т (техн. ун-т), 2007. – 299 с.

8. Долбенков, В. И. Simulink в задачах систем автоматического управления: Учеб. пособие / В. И. Долбенков. – Челябинск: Издательство ЮУрГУ, 2005. – 101 с.

9. Устюгов, М.Н. Автоматизированное исследование нелинейных систем управления Учеб. пособие ЧГТУ, Каф. Системы автомат. упр.; ЮУрГУ. - Челябинск: Издательство ЧГТУ, 1996. - 131, [1] с.

10. Устюгов, М.Н. Моделирование нелинейных систем: Учебное пособие. / М.Н. Устюгов, Н.В. Плотникова, Н.С. Малявкина. – Челябинск: Изд. ЮУрГУ, 2009. – 156 с.

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

1. Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия: Математическое моделирование и программирование: науч. журн. / Юж.-Урал. гос. ун-т; ЮУрГУ, 2008.

2. Системні дослідження та інформаційні технології : междунар. науч.-техн. журн. на укр., рус., англ. яз. / Нац. акад. наук України, Учеб.-науч. комплекс "Институт прикладного системного анализа" НТУУ "КПИ". – Киев, 2010.

Электронная учебно-методическая документация (табл. 7):

Таблица 7

Вид литературы	Наименование разработки	Ссылка на информационный ресурс	Наименование ресурса в электронной форме	Доступность (сеть Интернет / локальная сеть; авторизованный / свободный доступ)
Основная литература	Буренок, В.М. Математические методы и модели в теории информационно измерительных систем	<a href="https://e.lanbook.com/">https://e.lanbook.com/</a>	Электронно-библиотечная система Издательства Лань	Интернет / Авторизованный

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Общие сведения.....	1
Содержание дисциплины.....	2
Лекции .....	2
Практические занятия .....	3
Самостоятельная работа студента .....	4
Паспорт фонда оценочных средств .....	4
Типовые задания, процедуры проведения, критерии оценивания.....	5
1. Тестирование.....	5
2. Контрольная работа.....	6
3. Зачет .....	7
4. Выполнение расчетно-графической работы .....	8
Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины.....	11