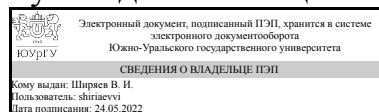


УТВЕРЖДАЮ:
Руководитель специальности



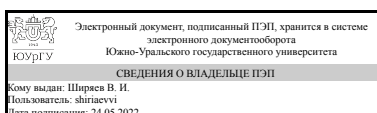
В. И. Ширяев

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

дисциплины 1.Ф.06 Статистическая динамика систем управления
для специальности 24.05.06 Системы управления летательными аппаратами
уровень Специалитет
форма обучения очная
кафедра-разработчик Системы автоматического управления

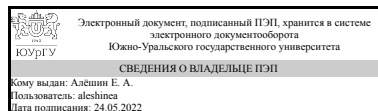
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.06 Системы управления летательными аппаратами, утверждённым приказом Минобрнауки от 04.08.2020 № 874

Зав.кафедрой разработчика,
д.техн.н., проф.



В. И. Ширяев

Разработчик программы,
к.техн.н., доц., доцент



Е. А. Алёшин

1. Цели и задачи дисциплины

Цель изучения дисциплины – формирование у будущих специалистов профессиональных знаний и практических навыков об общих принципах системной организации, о математических моделях систем управления и формах представления моделей при случайных воздействиях. Задачи курса: научить студентов разбираться в методологических основах теории оптимальных систем, методах анализа и синтеза систем управления, нестационарных системах управления и их математических моделях; системах управления при случайных воздействиях.

Краткое содержание дисциплины

Анализ линейных динамических систем автоматического управления при случайных воздействиях. Приближенный анализ нелинейных автоматических систем при случайных воздействиях. Анализ нелинейных систем на основе теории марковских случайных процессов. Задача синтеза систем автоматического управления при случайных воздействиях. Статистические методы идентификации математических моделей и проектирование автоматических систем.

2. Компетенции обучающегося, формируемые в результате освоения дисциплины

| Планируемые результаты освоения ОП ВО (компетенции) | Планируемые результаты обучения по дисциплине |
|---|---|
| ПК-1 Способность определять структуру системы управления полетами ракет-носителей и космических аппаратов | Знает: методы статистической динамики Умеет: формировать оптимальные статистические системы обработки измерительной информации при определении структуры системы управления полетами РН и КА Имеет практический опыт: применять методы статистической динамики для решения инженерных задач |

3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

| Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана | Перечень последующих дисциплин, видов работ |
|---|--|
| 1.Ф.01 Методы оптимизации, 1.Ф.03 Фильтрация и идентификация в динамических системах, 1.Ф.04 Оптимальные системы управления | 1.Ф.09 Системы управления летательными аппаратами с элементами искусственного интеллекта, 1.Ф.10 Интегрированные системы навигации и управления движением летательных аппаратов |

Требования к «входным» знаниям, умениям, навыкам студента, необходимым при освоении данной дисциплины и приобретенным в результате освоения предшествующих дисциплин:

| Дисциплина | Требования |
|---------------------------|---|
| 1.Ф.01 Методы оптимизации | Знает: методы оптимизации в системах управления летательными аппаратами Умеет: |

| | |
|---|--|
| | пользоваться методами определения оптимизации системы управления полетами РН и КА Имеет практический опыт: применения методов оптимизации для решения инженерных задач |
| 1.Ф.03 Фильтрация и идентификация в динамических системах | Знает: алгоритмы фильтрации и идентификации в динамических системах Умеет: оценивать основные характеристики системы управления летательными аппаратами Имеет практический опыт: применения алгоритмов фильтрации и идентификации для решения инженерных задач |
| 1.Ф.04 Оптимальные системы управления | Знает: принципы формирования критериев оптимальности, основные теоретические принципы синтеза оптимальных систем, способы проведения компьютерных испытаний по определению оптимальных параметров системы с использованием вычислительных средств Умеет: выводить законы функционирования системы управления КА, проводить и систематизировать компьютерные эксперименты для поиска оптимальных решений Имеет практический опыт: формулирования законов функционирования системы управления КА, определения оптимального способа управления исходя из требований технического задания на систему управления полетами РН и КА |

4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 2 з.е., 72 ч., 36,25 ч. контактной работы

| Вид учебной работы | Всего часов | Распределение по семестрам в часах |
|--|-------------|------------------------------------|
| | | Номер семестра |
| | | 9 |
| Общая трудоёмкость дисциплины | 72 | 72 |
| <i>Аудиторные занятия:</i> | 32 | 32 |
| Лекции (Л) | 16 | 16 |
| Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ) | 16 | 16 |
| Лабораторные работы (ЛР) | 0 | 0 |
| <i>Самостоятельная работа (СРС)</i> | 35,75 | 35,75 |
| с применением дистанционных образовательных технологий | 0 | |
| Подготовка к зачету | 10 | 10 |
| Подготовка к практическим занятиям | 10 | 10 |
| Выполнение расчетных заданий | 15,75 | 15.75 |
| Консультации и промежуточная аттестация | 4,25 | 4,25 |
| Вид контроля (зачет, диф.зачет, экзамен) | - | зачет |

5. Содержание дисциплины

| № раздела | Наименование разделов дисциплины | Объем аудиторных занятий по видам в часах | | | |
|-----------|---|---|---|----|----|
| | | Всего | Л | ПЗ | ЛР |
| 1 | Анализ линейных динамических систем автоматического управления при случайных воздействиях | 4 | 2 | 2 | 0 |
| 2 | Приближенный анализ нелинейных автоматических систем при случайных воздействиях | 8 | 4 | 4 | 0 |
| 3 | Анализ нелинейных систем на основе теории марковских случайных процессов | 8 | 4 | 4 | 0 |
| 4 | Задача синтеза систем автоматического управления при случайных воздействиях | 4 | 2 | 2 | 0 |
| 5 | Статистические методы идентификации математических моделей и проектирование автоматических систем | 8 | 4 | 4 | 0 |

5.1. Лекции

| № лекции | № раздела | Наименование или краткое содержание лекционного занятия | Кол-во часов |
|----------|-----------|--|--------------|
| 1 | 1 | Прохождение случайного сигнала через линейную систему. Определение спектральной плотности сигнала на выходе стационарной асимптотически устойчивой линейной системы в установившемся режиме. Определение статистических характеристик сигнала на выходе системы. Статистические характеристики случайных процессов. Классификация случайных процессов. Эргодичность стационарных случайных процессов. Каноническое разложение случайных процессов. Частотное (спектральное) представление стационарных случайных процессов. Белый шум. Диффузионные марковские процессы | 2 |
| 2 | 2 | Метод статистической линеаризации. Метод статистических испытаний и его применение для анализа автоматических систем. Моделирование случайных величин и функций с заданными статистическими характеристиками. Анализ нелинейных автоматических систем с помощью интерполяционного метода. Общие правила преобразования входных случайных сигналов линейным оператором. Статистические характеристики выходных сигналов элементарных звеньев. Статистические характеристики выходных сигналов во временном представлении. Статистические характеристики выходных сигналов в частотном представлении. Формирующий фильтр, эквивалентная система. | 2 |
| 3 | 2 | Определение статистических характеристик выходных сигналов системы методами моделирования. Матрица ковариаций вектора состояния нестационарной линейной системы. Гарантированная оценка точности линейной стационарной системы при неполной статистической информации о входных сигналах | 2 |
| 4 | 3 | Вывод основных уравнений. Обобщенное уравнение Маркова. Первое и второе уравнение Колмогорова. Случайный процесс с дробно-рациональным спектром. Физическая интерпретация марковских процессов. Диффузионные марковские процессы. Общие сведения о методах статистического исследования нелинейных систем. Статистическая линеаризация безынерционных нелинейных элементов. | 2 |
| 5 | 3 | Применение метода статистической линеаризации для анализа нелинейных систем. Метод статистических испытаний. Метод эквивалентных возмущений. Применение теории Марковских процессов к анализу точности | 2 |

| | | | |
|---|---|--|---|
| | | систем управления. Методы статистического анализа систем управления со случайными параметрами. | |
| 6 | 4 | Постановка задачи синтеза оптимальной системы. Синтез оптимальных систем заданной структуры. Уравнения, определяющие оптимальную линейную непрерывную автоматическую систему. Решение уравнений, определяющих оптимальную линейную систему. Задачи статистической оптимизации. Статистические критерии оптимальности. Определение оптимальных параметров системы с заданной структурой. Оптимальная линейная система при произвольной структуре. Оптимальная нестационарная линейная система оценивания. Оптимальная линейная система при произвольной структуре, оптимальное управление. Применение теории марковских процессов к задачам статистической оптимизации. Оптимальная приспособляющаяся система по критерию минимума среднего риска. Миниминно и минимаксно оптимальные системы | 2 |
| 7 | 5 | Математические модели автоматических систем. Идентификация в широком и узком смысле. Метод наименьших квадратов. Метод настраиваемой модели. Управляемые и наблюдаемые системы. Методы поиска решения функционала качества. Постановка задачи идентификации системы. Идентификация линейных систем. Идентификация нелинейных систем. Методы решения матричных игровых задач управления. | 2 |
| 8 | 5 | Частная задача определения оптимальной игровой системы и оценки ее эффективности. Дифференциальные игры. Количество информации в системе управления. Оценка эффективности системы управления по информационному критерию. Общие критерии эффективности систем управления. Способы вычисления общего критерия эффективности системы управления. Учет себестоимости системы в общем критерии эффективности. | 2 |

5.2. Практические занятия, семинары

| № занятия | № раздела | Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара | Кол-во часов |
|-----------|-----------|--|--------------|
| 1 | 1 | Статистические характеристики линейных случайных процессов во временной и частотной области | 2 |
| 2 | 2 | Метод статистической линеаризации. Метод статистических испытаний и его применение для анализа автоматических систем. Моделирование случайных величин и функций с заданными статистическими характеристиками. Анализ нелинейных автоматических систем с помощью интерполяционного метода. Определение статистических характеристик выходных сигналов системы методами моделирования. | 4 |
| 3 | 3 | Обобщенное уравнение Маркова. Первое и второе уравнение Колмогорова. Случайный процесс с дробно-рациональным спектром. Физическая интерпретация марковских процессов. Диффузионные марковские процессы. Применение метода статистической линеаризации для анализа нелинейных систем. Метод статистических испытаний. Метод эквивалентных возмущений. | 4 |
| 4 | 4 | Синтез оптимальных систем заданной структуры. Уравнения, определяющие оптимальную линейную непрерывную автоматическую систему. Решение уравнений, определяющих оптимальную линейную систему. Задачи статистической оптимизации. Статистические критерии оптимальности. Определение оптимальных параметров системы с заданной структурой. | 2 |
| 5 | 5 | Математические модели автоматических систем. Идентификация в широком и узком смысле. Метод наименьших квадратов. Метод настраиваемой модели. Управляемые и наблюдаемые системы. Методы поиска решения | 4 |

| | | |
|--|--|--|
| | <p>функционала качества. Постановка задачи идентификации системы. Идентификация линейных систем. Идентификация нелинейных систем. Методы решения матричных игровых задач управления. Частная задача определения оптимальной игровой системы и оценки ее эффективности.</p> | |
|--|--|--|

5.3. Лабораторные работы

Не предусмотрены

5.4. Самостоятельная работа студента

| Выполнение СРС | | | |
|------------------------------------|---|---------|--------------|
| Подвид СРС | Список литературы (с указанием разделов, глав, страниц) / ссылка на ресурс | Семестр | Кол-во часов |
| Подготовка к зачету | 1. Деменков, Н. П. Статистическая динамика систем управления : методические указания - глава 1, с. 5-36, глава 2, с. 38-65, глава 3, с. 70-134. 2. Коробова, И. Л. Прикладные методы в статистической динамике автоматических систем - глава 1, с. 4-21, глава 2, с. 22-48, глава 3, с. 49-69. 3. Петрова, И. Л. Основы статистических методов в динамике полёта - глава 1, с. 5-21, глава 2, с. 22-51, глава 3, с. 52-77. | 9 | 10 |
| Подготовка к практическим занятиям | 1. Деменков, Н. П. Статистическая динамика систем управления : методические указания - глава 1, с. 5-36, глава 2, с. 38-65, глава 3, с. 70-134. 2. Коробова, И. Л. Прикладные методы в статистической динамике автоматических систем - глава 1, с. 4-21, глава 2, с. 22-48, глава 3, с. 49-69. 3. Малышенко, А. М. Сборник тестовых задач по теории автоматического управления - глава 1, с. 5-95, глава 2, с. 97-186, глава 3, с. 190-274. | 9 | 10 |
| Выполнение расчетных заданий | 1. Деменков, Н. П. Статистическая динамика систем управления : методические указания - глава 1, с. 5-36, глава 2, с. 38-65, глава 3, с. 70-134. 2. Коробова, И. Л. Прикладные методы в статистической динамике автоматических систем - глава 1, с. 4-21, глава 2, с. 22-48, глава 3, с. 49-69. 3. Петрова, И. Л. Основы статистических методов в динамике полёта - глава 1, с. 5-21, глава 2, с. 22-51, глава 3, с. 52-77. | 9 | 15,75 |

6. Фонд оценочных средств для проведения текущего контроля успеваемости, промежуточной аттестации

Контроль качества освоения образовательной программы осуществляется в соответствии с Положением о балльно-рейтинговой системе оценивания результатов учебной деятельности обучающихся.

6.1. Контрольные мероприятия (КМ)

| № КМ | Се-местр | Вид контроля | Название контрольного мероприятия | Вес | Макс. балл | Порядок начисления баллов | Учи-тыва-ется в ПА |
|------|----------|------------------|-----------------------------------|------|------------|--|--------------------|
| 1 | 9 | Текущий контроль | Выполнение расчетного задания №1 | 0,16 | 5 | <p>Студент получает индивидуальное задание и приступает к его выполнению во внеаудиторное время. После выполнения задания студент представляет преподавателю отчет. Преподаватель проверяет работу во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Выполненная работа оценивается по пятибалльной системе:</p> <p>5 баллов за выполнение работы без ошибок;</p> <p>4 балла за выполнение работы с незначительными ошибками;</p> <p>3 балла за правильное выполнение 60% работы;</p> <p>2 балла за правильное выполнение 40% работы;</p> <p>1 балл за правильное выполнение 30% работы;</p> <p>0 баллов за правильное выполнение менее 30% работы.</p> | зачет |
| 2 | 9 | Текущий контроль | Выполнение расчетного задания №2 | 0,16 | 5 | <p>Студент получает индивидуальное задание и приступает к его выполнению во внеаудиторное время. После выполнения задания студент представляет преподавателю отчет. Преподаватель проверяет работу во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Выполненная работа оценивается по пятибалльной системе:</p> <p>5 баллов за выполнение работы без ошибок;</p> <p>4 балла за выполнение работы с незначительными ошибками;</p> <p>3 балла за правильное выполнение 60% работы;</p> <p>2 балла за правильное выполнение 40% работы;</p> <p>1 балл за правильное выполнение 30% работы;</p> <p>0 баллов за правильное выполнение менее 30% работы.</p> | зачет |
| 3 | 9 | Текущий контроль | Выполнение расчетного | 0,16 | 5 | <p>Студент получает индивидуальное задание и приступает к его выполнению во</p> | зачет |

| | | | | | | | |
|---|---|------------------|----------------------------------|------|---|---|-------|
| | | | задания №3 | | | внеаудиторное время. После выполнения задания студент представляет преподавателю отчет. Преподаватель проверяет работу во внеаудиторное время и выставляет оценку. Выполненная работа оценивается по пятибалльной системе: 5 баллов за выполнение работы без ошибок; 4 балла за выполнение работы с незначительными ошибками; 3 балла за правильное выполнение 60% работы; 2 балла за правильное выполнение 40% работы; 1 балл за правильное выполнение 30% работы; 0 баллов за правильное выполнение менее 30% работы. | |
| 4 | 9 | Текущий контроль | Выполнение расчетного задания №4 | 16 | 5 | Студент получает индивидуальное задание и приступает к его выполнению во внеаудиторное время. После выполнения задания студент представляет преподавателю отчет. Преподаватель проверяет работу во внеаудиторное время и выставляет оценку. Выполненная работа оценивается по пятибалльной системе: 5 баллов за выполнение работы без ошибок; 4 балла за выполнение работы с незначительными ошибками; 3 балла за правильное выполнение 60% работы; 2 балла за правильное выполнение 40% работы; 1 балл за правильное выполнение 30% работы; 0 баллов за правильное выполнение менее 30% работы. | зачет |
| 5 | 9 | Текущий контроль | Выполнение расчетного задания №5 | 0,16 | 5 | Студент получает индивидуальное задание и приступает к его выполнению во внеаудиторное время. После выполнения задания студент представляет преподавателю отчет. Преподаватель проверяет работу во внеаудиторное время и выставляет оценку. Выполненная работа оценивается по пятибалльной системе: 5 баллов за выполнение работы без ошибок; 4 балла за выполнение работы с незначительными ошибками; 3 балла за правильное выполнение 60% работы; 2 балла за правильное выполнение 40% | зачет |

| | | | | | | | |
|---|---|--------------------------|----------------------------------|-----|---|---|-------|
| | | | | | | работы; 1 балл за правильное выполнение 30% работы; 0 баллов за правильное выполнение менее 30% работы. | |
| 6 | 9 | Текущий контроль | Выполнение расчетного задания №6 | 0,2 | 5 | Студент получает индивидуальное задание и приступает к его выполнению во внеаудиторное время. После выполнения задания студент представляет преподавателю отчет. Преподаватель проверяет работу во внеаудиторное время и выставляет оценку. Выполненная работа оценивается по пятибалльной системе: 5 баллов за выполнение работы без ошибок; 4 балла за выполнение работы с незначительными ошибками; 3 балла за правильное выполнение 60% работы; 2 балла за правильное выполнение 40% работы; 1 балл за правильное выполнение 30% работы; 0 баллов за правильное выполнение менее 30% работы. | зачет |
| 7 | 9 | Промежуточная аттестация | Зачетная работа | - | 5 | Зачетная работа проводится в письменной форме. Студенту выдается билет, содержащий 2 вопроса из перечня. На выполнение работы отводится 0,5 часа. Преподаватель проверяет выполненную работу и при необходимости задает уточняющие вопросы. Ответы на вопросы оцениваются по пятибалльной системе. 5 баллов - правильные ответы; 4 балла - правильные ответы с незначительными неточностями или упущениями; 3 балла - правильные ответы с незначительными ошибками; 2 балла - ответы с ошибками; 1 балл - ответы с грубыми ошибками; 0 баллов - неверные ответы. | зачет |

6.2. Процедура проведения, критерии оценивания

| Вид промежуточной аттестации | Процедура проведения | Критерии оценивания |
|------------------------------|---|---|
| зачет | На зачете происходит оценивание учебной деятельности обучающихся по дисциплине на основе полученных оценок за контрольно-рейтинговые мероприятия текущего контроля и промежуточной аттестации. Рейтинг обучающегося по дисциплине может формироваться только по результатам | В соответствии с пп. 2.5, 2.6 Положения |

| | | |
|--|--|--|
| | текущего контроля. Студент может повысить рейтинг за счет прохождения контрольного мероприятия промежуточной аттестации. | |
|--|--|--|

6.3. Паспорт фонда оценочных средств

| Компетенции | Результаты обучения | № КМ | | | | | | |
|-------------|--|------|---|---|---|---|---|---|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 |
| ПК-1 | Знает: методы статистической динамики | + | + | + | + | + | + | + |
| ПК-1 | Умеет: формировать оптимальные статистические системы обработки измерительной информации при определении структуры системы управления полетами РН и КА | + | + | + | + | + | + | + |
| ПК-1 | Имеет практический опыт: применять методы статистической динамики для решения инженерных задач | + | + | + | + | + | + | + |

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

Печатная учебно-методическая документация

а) основная литература:

1. Вентцель, Е. С. Теория случайных процессов и ее инженерные приложения [Текст] учеб. пособие для высш. техн. учеб. заведений Е. С. Вентцель, Л. А. Овчаров. - 5-е изд., стер. - М.: КноРус, 2011
2. 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.
3. Сборник задач по теории автоматического регулирования и управления Для вузов В. А. Бесекерский, А. Н. Герасимов, С. Н. Лучко; Под ред. В. А. Бесекерского. - 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Наука, 1978. - 510 с. ил.

б) дополнительная литература:

1. Бесекерский, В. А. Руководство по проектированию систем автоматического управления Учеб. пособие по спец."Автоматика и телемеханика" Под ред. В. А. Бесекерского. - М.: Высшая школа, 1983. - 296 с. ил.

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

1. Известия Академии наук. Теория и системы управления науч. журн. Рос. акад. наук, Отд-ние энергетики, машиностроения, механики и процессов управления, Гос. науч.-исслед. ин-т авиац. систем (ГосНИИАС) журнал. - М.: Наука, 1995-
2. Авиакосмическое приборостроение науч.-техн. и произв. журн. ООО "Изд-во "Научтехлитиздат" журнал. - М., 2002-

г) методические указания для студентов по освоению дисциплины:

1. Методические указания по освоению дисциплины "Теория автоматического управления" (в локальной сети кафедры)

2. Методические указания по освоению дисциплины "Теория автоматического управления" (для СРС) (в локальной сети кафедры)

из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

1. Методические указания по освоению дисциплины "Теория автоматического управления" (для СРС) (в локальной сети кафедры)

Электронная учебно-методическая документация

| № | Вид литературы | Наименование ресурса в электронной форме | Библиографическое описание |
|---|---------------------------|---|--|
| 1 | Основная литература | Электронно-библиотечная система издательства Лань | Деменков, Н. П. Статистическая динамика систем управления : методические указания / Н. П. Деменков. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 148 с. https://e.lanbook.com/book/103335 |
| 2 | Основная литература | Электронно-библиотечная система издательства Лань | Коробова, И. Л. Прикладные методы в статистической динамике автоматических систем : учебное пособие / И. Л. Коробова, В. Т. Шароватов. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2017. — 71 с. https://e.lanbook.com/book/121807 |
| 3 | Дополнительная литература | Электронно-библиотечная система издательства Лань | Петрова, И. Л. Основы статистических методов в динамике полёта : учебное пособие / И. Л. Петрова, П. Д. Горохова, П. Ю. Литвинова. — Санкт-Петербург : БГТУ "Военмех" им. Д.Ф. Устинова, 2019. — 79 с. https://e.lanbook.com/book/157087 |
| 4 | Дополнительная литература | Электронно-библиотечная система издательства Лань | Малышенко, А. М. Сборник тестовых задач по теории автоматического управления : учебное пособие / А. М. Малышенко, О. С. Вадутов. — 3-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2021. — 368 с. https://e.lanbook.com/book/168920 |

Перечень используемого программного обеспечения:

1. PTC-MathCAD(бессрочно)
2. Math Works-MATLAB, Simulink R2014b(бессрочно)

Перечень используемых профессиональных баз данных и информационных справочных систем:

Нет

8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

| Вид занятий | № ауд. | Основное оборудование, стенды, макеты, компьютерная техника, предустановленное программное обеспечение, используемое для различных видов занятий |
|---------------------------------|----------|--|
| Практические занятия и семинары | 629 (36) | ЭВМ с системой "Персональный виртуальный компьютер" (ЮУрГУ) для доступа к MATLAB и MathCAD |