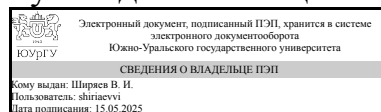


# ЮЖНО-УРАЛЬСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ

УТВЕРЖДАЮ:  
Руководитель специальности



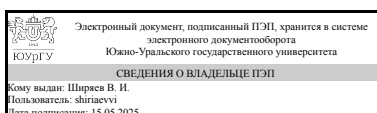
В. И. Ширяев

## РАБОЧАЯ ПРОГРАММА

**дисциплины** 1.Ф.06 Оптимальные системы управления  
**для специальности** 24.05.06 Системы управления летательными аппаратами  
**уровень** Специалитет  
**форма обучения** очная  
**кафедра-разработчик** Системы автоматического управления

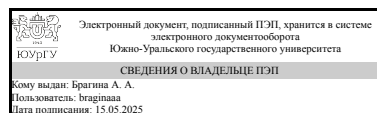
Рабочая программа составлена в соответствии с ФГОС ВО по направлению подготовки 24.05.06 Системы управления летательными аппаратами, утверждённым приказом Минобрнауки от 04.08.2020 № 874

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



В. И. Ширяев

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



А. А. Брагина

## 1. Цели и задачи дисциплины

Цель дисциплины - овладение методами разработки оптимальных динамических систем на основе современных математических методов теории управления. Задачи дисциплины - научить студентов понимать и применять современные математические методы ТАУ, выполнять расчет и анализ оптимальных динамических систем.

## Краткое содержание дисциплины

Общая постановка задач оптимального управления. Критерии оптимальности. Частные случаи задач оптимального управления. Основы вариационных методов. Задачи Эйлера, Лагранжа, Майера. Граничные условия в вариационных задачах. Вариационные задачи при наличии ограничений. Принцип максимума Понтрягина. Оптимальные по быстродействию системы управления. Динамическое программирование. Задачи аналитического конструирования оптимальных регуляторов. Цифровые оптимальные регуляторы.

## 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: способы проведения компьютерных испытаний по определению оптимальных параметров системы с использованием вычислительных средств Умеет: проводить и систематизировать компьютерные эксперименты для поиска оптимальных решений Имеет практический опыт: определения оптимального способа управления исходя из требований технического задания на систему управления полетами РН и КА
ПК-3 Способность разрабатывать алгоритмы работы системы управления космических аппаратов	Знает: принципы формирования критериев оптимальности, основные теоретические принципы синтеза оптимальных систем Умеет: выводить законы функционирования системы управления КА Имеет практический опыт: формулирования законов функционирования системы управления КА

## 3. Место дисциплины в структуре ОП ВО

Перечень предшествующих дисциплин, видов работ учебного плана	Перечень последующих дисциплин, видов работ
1.О.28 Устройство летательных аппаратов, 1.Ф.02 Методы оптимизации, 1.Ф.03 Нелинейные системы управления, 1.Ф.04 Математические и программные средства анализа и синтеза систем управления	1.Ф.09 Системы управления летательными аппаратами с элементами искусственного интеллекта, 1.Ф.08 Статистическая динамика систем управления

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

Дисциплина	Требования
1.Ф.02 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.О.28 Устройство летательных аппаратов	Знает: инструменты и методы управления временем при выполнении конкретных задач, проектов, при достижении поставленных целей, классификацию деталей и механизмов летательных аппаратов; основные требования к деталям, узлам и механизмам летательных аппаратов; общие принципы и правила конструирования деталей и узлов механизмов летательных аппаратов Умеет: решать задачи собственного личностного и профессионального развития, определять и реализовывать приоритеты совершенствования собственной деятельности, обосновывать выбор устройств в изделиях ракетно-космической техники; проводить конструирование деталей и узлов механизмов летательных аппаратов с использованием системного подхода Имеет практический опыт: управления своей познавательной деятельностью и ее совершенствования на основе самооценки, расчета параметров деталей и узлов механизмов летательных аппаратов; разработки рабочих и сборочных чертежей деталей и узлов механизмов летательных аппаратов
1.Ф.04 Математические и программные средства анализа и синтеза систем управления	Знает: математический аппарат анализа и синтеза систем автоматического управления Умеет: исследовать точностные и динамические характеристики системы управления КА Имеет практический опыт: постановки задачи для исследования системы управления летательными аппаратами средствами математического моделирования; анализа результатов математического моделирования системы управления летательными аппаратами
1.Ф.03 Нелинейные системы управления	Знает: типовые нелинейные элементы, математические модели типовых нелинейных систем управления, методы анализа и синтеза нелинейных систем, методы исследования устойчивости и автоколебаний в нелинейных системах управления, методы обеспечения качества нелинейных систем Умеет: составлять математические модели нелинейных объектов

	управления, выполнять исследование нелинейных систем управления, осуществлять синтез нелинейных систем управления Имеет практический опыт: математического моделирования нелинейных систем управления с применением специализированных программных пакетов
--	--

#### 4. Объём и виды учебной работы

Общая трудоемкость дисциплины составляет 3 з.е., 108 ч., 54,25 ч. контактной работы

Вид учебной работы	Всего часов	Распределение по семестрам в часах
		Номер семестра
		8
Общая трудоёмкость дисциплины	108	108
<i>Аудиторные занятия:</i>	48	48
Лекции (Л)	32	32
Практические занятия, семинары и (или) другие виды аудиторных занятий (ПЗ)	16	16
Лабораторные работы (ЛР)	0	0
<i>Самостоятельная работа (СРС)</i>	53,75	53,75
Подготовка к зачету	5,75	5,75
Подготовка к практическим занятиям	48	48
Консультации и промежуточная аттестация	6,25	6,25
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	Введение в проблематику оптимальных систем управления. Общая постановка задач оптимального управления. Основы вариационного исчисления	12	8	4	0
2	Решение задач оптимального управления на основе вариационного исчисления. Принцип максимума Понтрягина. Системы оптимального по быстродействию управления.	24	16	8	0
3	Динамическое программирование. Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Стохастические оптимальные и цифровые системы управления	12	8	4	0

##### 5.1. Лекции

№ лекции	№ раздела	Наименование или краткое содержание лекционного занятия	Кол-во часов
1	1	Задачи оптимального управления, постановки задач и примеры: оптимальные	4

		задачи по быстродействию, по расходу топлива; оптимальные задачи на минимум интеграла от квадрата ошибки системы; оптимальные задачи на минимум энергии, на управление конечным значением; задачи, в которых область цели отлична от точки. Некоторые другие типы задач оптимального управления.	
2	1	Вариационное исчисление и оптимальное управление. Понятия функционала, вариации функционала. Вычисление вариации функционала. Критерии оптимальности. Экстремум функционала. Необходимые и достаточные условия его существования. Уравнение Эйлера. Естественные граничные условия в задаче минимизации функционала. Условие трансверсальности. Задачи Лагранжа, Больца и Майера. Уравнение Эйлера–Пуассона в задачах оптимального управления объектами n-го порядка. Вариационные задачи поиска условного экстремума: задачи на экстремум с конечными связями, с дифференциальными связями, с интегральными связями. Изопериметрические задачи.	4
3	2	Экстремум функционала при ограничениях в форме дифференциальных уравнений. Оптимальное управление линейными объектами по минимуму квадратичного функционала.	4
4	2	Решение задач оптимизации при интегральных ограничениях на управление.	4
5	2	Принцип максимума для линейных и нелинейных объектов управления. Необходимые условия оптимальности в задачах управления с комбинированным минимизируемым функционалом. Функция Гамильтона. Сопряженная система дифференциальных уравнений. Понятие особого управления.	4
6	2	Решение задачи оптимального быстродействия для линейных объектов управления. Релейность управления. Геометрические свойства оптимального по быстродействию управления. Примеры синтеза оптимального и субоптимального управлений.	4
7	3	Метод динамического программирования. Принцип оптимальности. Уравнение Беллмана. Уравнение Беллмана в задаче быстродействия. Связь метода динамического программирования с принципом максимума. Оптимальная стабилизация.	4
8	3	Аналитическое конструирование оптимальных регуляторов. Задачи оптимального регулятора состояния, регулятора выхода, оптимальной следящей системы. Аналитическое конструирование цифровых регуляторов. Постановка задачи оптимального управления стохастическими объектами. Теорема разделенности. Задача синтеза стохастических наблюдателей состояния. Устойчивость стохастической системы.	4

## 5.2. Практические занятия, семинары

№ занятия	№ раздела	Наименование или краткое содержание практического занятия, семинара	Кол-во часов
1	1	Определение экстремали функционала на основе уравнения Эйлера	2
2	1	Синтез оптимального управления линейным объектом на основе экстремали с заданными граничными точками	2
3	2	Оптимальная по быстродействию система управления объектом второго порядка, состоящим из двух интегрирующих звеньев	2
4	2	Оптимальное по быстродействию управление линейным объектом, состоящим из двух апериодических звеньев	2
5	2	Субоптимальное по быстродействию управление гармоническим осциллятором	2
6	2	Оптимальное управление при наличии интегральных ограничений	2

7	3	Оптимальный регулятор состояния линейного объекта третьего порядка	2
8	3	Оптимальное управление линейным дискретным объектом по минимуму квадратичного функционала	2

### 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. Романова, И.К. Методы теории оптимального управления в проектировании технических систем : методические указания - глава 3, с. 53-98. 2. Деменков, Н.П. Оптимальное управление в классическом вариационном исчислении : учебное пособие - глава 3, с. 65-81. 3. Власов, В.А. Методы оптимизации и оптимального управления : учебное пособие - глава 4, с. 43-52; глава 5, с. 53-55; глава 6, с. 56-63.	8	5,75
Подготовка к практическим занятиям	1. Системы оптимального управления: учебное пособие для лабораторных работ - с. 4-38. 2. Романова, И.К. Методы теории оптимального управления в проектировании технических систем : методические указания - глава 3, с. 53-98. 3. Бушуев, А. Ю. Примеры решения задач оптимального управления : методические указания - с. 5-30. 4. Деменков, Н.П. Оптимальное управление в классическом вариационном исчислении : учебное пособие - глава 3, с. 65-81. 5. Алексеев, В.М. Оптимальное управление - глава 4, с. 267-364. 6. Александров, В.В. Оптимальное управление движением - глава 5, с. 165-213. 7. Власов, В.А. Методы оптимизации и оптимального управления : учебное пособие - глава 4, с. 43-52; глава 5, с. 53-55; глава 6, с. 56-63.	8	48

## 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	8	Текущий контроль	Решение задачи № 1	0,15	5	<p>На практическом занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p> <p>Отчет, не содержащий ошибок и замечаний, оценивается в 5 баллов.</p> <p>Отчет с незначительными неточностями или упущениями оценивается в 4 балла.</p> <p>Отчет с незначительными ошибками оценивается в 3 балла.</p> <p>Отчет с ошибками оценивается в 2 балла.</p> <p>Отчет с грубыми ошибками оценивается в 1 балл.</p> <p>Отчет, не соответствующий требованиям индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.</p>	зачет
2	8	Текущий контроль	Решение задачи № 2	0,15	5	<p>На практическом занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p> <p>Отчет, не содержащий ошибок и замечаний, оценивается в 5 баллов.</p> <p>Отчет с незначительными неточностями или упущениями оценивается в 4 балла.</p> <p>Отчет с незначительными ошибками оценивается в 3 балла.</p> <p>Отчет с ошибками оценивается в 2 балла.</p> <p>Отчет с грубыми ошибками оценивается в 1 балл.</p> <p>Отчет, не соответствующий требованиям индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.</p>	зачет
3	8	Текущий контроль	Решение задачи № 3	0,1	5	<p>На практическом занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p>	зачет

						<p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p> <p>Отчет, не содержащий ошибок и замечаний, оценивается в 5 баллов.</p> <p>Отчет с незначительными неточностями или упущениями оценивается в 4 балла.</p> <p>Отчет с незначительными ошибками оценивается в 3 балла.</p> <p>Отчет с ошибками оценивается в 2 балла.</p> <p>Отчет с грубыми ошибками оценивается в 1 балл.</p> <p>Отчет, не соответствующий требованиям индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.</p>	
4	8	Текущий контроль	Решение задачи № 4	0,15	5	<p>На практическом занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p> <p>Отчет, не содержащий ошибок и замечаний, оценивается в 5 баллов.</p> <p>Отчет с незначительными неточностями или упущениями оценивается в 4 балла.</p> <p>Отчет с незначительными ошибками оценивается в 3 балла.</p> <p>Отчет с ошибками оценивается в 2 балла.</p> <p>Отчет с грубыми ошибками оценивается в 1 балл.</p> <p>Отчет, не соответствующий требованиям индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.</p>	зачет
5	8	Текущий контроль	Решение задачи № 5	0,1	5	<p>На практическом занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p> <p>Отчет, не содержащий ошибок и замечаний, оценивается в 5 баллов.</p> <p>Отчет с незначительными неточностями или упущениями оценивается в 4 балла.</p> <p>Отчет с незначительными ошибками оценивается в 3 балла.</p> <p>Отчет с ошибками оценивается в 2 балла.</p> <p>Отчет с грубыми ошибками оценивается в 1 балл.</p> <p>Отчет, не соответствующий требованиям индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.</p>	зачет



						индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.	
6	8	Текущий контроль	Решение задачи № 6	0,1	5	<p>На практическом занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p> <p>Отчет, не содержащий ошибок и замечаний, оценивается в 5 баллов.</p> <p>Отчет с незначительными неточностями или упущениями оценивается в 4 балла.</p> <p>Отчет с незначительными ошибками оценивается в 3 балла.</p> <p>Отчет с ошибками оценивается в 2 балла.</p> <p>Отчет с грубыми ошибками оценивается в 1 балл.</p> <p>Отчет, не соответствующий требованиям индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.</p>	зачет
7	8	Текущий контроль	Решение задачи № 7	0,15	5	<p>На лабораторном занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p> <p>Отчет, не содержащий ошибок и замечаний, оценивается в 5 баллов.</p> <p>Отчет с незначительными неточностями или упущениями оценивается в 4 балла.</p> <p>Отчет с незначительными ошибками оценивается в 3 балла.</p> <p>Отчет с ошибками оценивается в 2 балла.</p> <p>Отчет с грубыми ошибками оценивается в 1 балл.</p> <p>Отчет, не соответствующий требованиям индивидуального задания, оценивается в 0 баллов.</p>	зачет
8	8	Текущий контроль	Решение задачи № 8	0,1	5	<p>На практическом занятии студент получает индивидуальное задание по теме и приступает к его выполнению. В конце занятия студент представляет преподавателю отчет, содержащий результаты выполнения индивидуального задания. Преподаватель проверяет отчет во внеаудиторное время и выставляет оценку.</p> <p>Представленный отчет оценивается по 5-балльной системе.</p>	зачет



ПК-1	Имеет практический опыт: определения оптимального способа управления исходя из требований технического задания на систему управления полетами РН и КА	+	+	+	+	+	+	+	+	+
ПК-3	Знает: принципы формирования критериев оптимальности, основные теоретические принципы синтеза оптимальных систем	+			+		+	+	+	+
ПК-3	Умеет: выводить законы функционирования системы управления КА				+		+	+	+	+
ПК-3	Имеет практический опыт: формулирования законов функционирования системы управления КА				+		+	+	+	+

Типовые контрольные задания по каждому мероприятию находятся в приложениях.

## 7. Учебно-методическое и информационное обеспечение дисциплины

### Печатная учебно-методическая документация

#### а) основная литература:

Не предусмотрена

#### б) дополнительная литература:

Не предусмотрена

#### 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 "Оптимальные системы управления" (в локальной сети кафедры)
2. Методические указания по освоению дисциплины "Оптимальные системы управления" (для СРС) (в локальной сети кафедры)

#### из них: учебно-методическое обеспечение самостоятельной работы студента:

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

### Электронная учебно-методическая документация

№	Вид литературы	Наименование ресурса в электронной форме	Библиографическое описание
1	Основная литература	Электронный каталог ЮУрГУ	Системы оптимального управления: учебное пособие для лабораторных работ / В.И. Долбенков. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 40 с. <a href="https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000455451">https://lib.susu.ru/ftd?base=SUSU_METHOD&amp;key=000455451</a>
2	Основная литература	ЭБС издательства	Романова, И.К. Методы теории оптимального управления в проектировании технических систем : методические указания /

		Лань	И.К. Романова. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 152 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/103430">https://e.lanbook.com/book/103430</a>
3	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Бушуев, А.Ю. Примеры решения задач оптимального управления : методические указания / А.Ю. Бушуев, В.А. Кутыркин. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2016. — 40 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/103595">https://e.lanbook.com/book/103595</a>
4	Основная литература	ЭБС издательства Лань	Деменков, Н.П. Оптимальное управление в классическом вариационном исчислении : учебное пособие / Н.П. Деменков. — Москва : МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2017. — 136 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/103508">https://e.lanbook.com/book/103508</a>
5	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Алексеев, В.М. Оптимальное управление. [Электронный ресурс] / В.М. Алексеев, В.М. Тихомиров, С.В. Фомин. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2005. — 384 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/48177">https://e.lanbook.com/book/48177</a>
6	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Оптимальное управление движением. [Электронный ресурс] : учеб. пособие / В.В. Александров [и др.]. — Электрон. дан. — М. : Физматлит, 2005. — 376 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/48225">https://e.lanbook.com/book/48225</a>
7	Дополнительная литература	ЭБС издательства Лань	Власов, В.А. Методы оптимизации и оптимального управления : учебное пособие / В.А. Власов, А.О. Толоконский. — Москва : НИЯУ МИФИ, 2013. — 88 с. <a href="https://e.lanbook.com/book/75855">https://e.lanbook.com/book/75855</a>

Перечень используемого программного обеспечения:

1. 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 (3б)	ЭВМ с системой "Персональный виртуальный компьютер" (ЮУрГУ) для доступа к MATLAB