

**Федеральное государственное автономное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Московский физико-технический институт  
(национальный исследовательский университет)»**

**УТВЕРЖДЕНО**

**Директор передовой инженерной  
школы радиолокации,  
радионавигации и программной  
инженерии**

**М.А. Кудров**

	<b>Рабочая программа дисциплины (модуля)</b>
<b>по дисциплине:</b>	Система автоматического управления БВС
<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Беспилотные авиационные системы
	Физтех-школа авиационных и цифровых технологий
	кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
<b>курс:</b>	4
<b>квалификация:</b>	бакалавр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет

Аудиторных часов: 60 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 30 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: С.А. Лёвин, канд. техн. наук

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 11.03.2024

## Аннотация

Программа нацелена на изучение комплексного подхода к решению задачи автоматизации управления беспилотными воздушными судами (БВС), а также приобретение практических навыков разработки таких решений. Предметом рассмотрения курса являются алгоритмы, методы и программы, нацеленные на решение задачи автоматизации управления БВС. Процесс разработки такого решения включает в себя несколько этапов: синтез алгоритмов управления, создание математической модели движения БВС и стенда полунатурного моделирования, разработку программы автопилота и наземной станции управления. Студенты последовательно знакомятся с теоретическими основами каждого из этапов, после чего выполняют практические задания, направленные на разработку собственного решения (или его частей). Отдельное внимание в курсе посвящено изучению реальных комплексных решений по автоматизации управления БВС, в том числе, систем автоматического управления БВС различных типов. Значительное время в программе отводится на практические занятия (семинарам), направленным на формирование у студентов прикладных навыков по разработке бортовой и наземной частей программного комплекса управления БВС, численной реализации математических моделей БВС, применению методов настройки параметров системы управления и анализа данных расчётных исследований и лётных испытаний. Семинары проводятся в учебных лабораториях. Неотъемлемой частью освоения дисциплины является самостоятельная работа студента по решению задач, направленных на разработку элементов комплексного решения по автоматизации управления БВС. Программа допускает самостоятельное освоение студентами теоретической составляющей дисциплины с использованием электронных средств дистанционного обучения и рекомендованной в программе учебной литературы.

### 1. Цели и задачи

#### Цель дисциплины

- овладеть основными знаниями и навыками, необходимыми для разработки комплексных решений по автоматизации управления БВС.

#### Задачи дисциплины

- изучить комплексный подход к решению задачи автоматизации управления БВС;
- познакомиться с деталями реализации подхода на примере реальных решений по автоматизации управления БВС;
- развить навыки синтеза алгоритмов автоматического управления и их реализации на практике;
- освоить применение подхода к решению задачи по автоматизации управления БВС на примере.

### 2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения

научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины
	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

### 3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- методологию разработки решений по автоматизации управления БВС;
- состав и роли составляющих элементов комплекса решений по автоматизации управления БВС;
- архитектуру программы автопилота, стенда полунатурного моделирования, программы наземной станции управления;
- основные способы обработки и синтеза сигналов, используемых в системах автоматического управления БВС;
- основные способы синтеза алгоритмов автоматического управления и их настройки.

уметь:

- применять методологию разработки комплексного решения по автоматизации управления БВС к конкретной задаче;
- разрабатывать элементы комплекса решений по автоматизации управления БВС;
- синтезировать и настраивать основные алгоритмы автоматического управления БВС;
- создавать математические модели движения БВС и разрабатывать их численную реализацию;
- проводить численные эксперименты, собирать, обрабатывать и анализировать результаты.

владеть:

- методологией разработки комплексного решения по автоматизации управления БВС;
- инструментами разработки элементов комплексного решения по автоматизации управления;
- методами настройки и отладки программного комплекса управления БВС;
- навыками проведения численного эксперимента и обработки результатов.

#### 4. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам) с указанием отведенного на них количества академических часов и видов учебных занятий

##### 4.1. Разделы дисциплины (модуля) и трудоемкости по видам учебных занятий

№	Тема (раздел) дисциплины	Трудоемкость по видам учебных занятий, включая самостоятельную работу, час.			
		Лекции	Семинары	Лаборат. работы	Самост. работа
1	Измерители и сигналы. Управляющие устройства	4	4		4
2	Курсоверткаль	4	4		4
3	Программа автопилота	4	4		4
4	Синтез алгоритмов САУ	4	4		5
5	САУ БВС различных типов, траекторное управление	4	4		5
6	Программно-аппаратный стенд полунатурного моделирования	5	5		4
7	Программа наземной станции управления	5	5		4
Итого часов		30	30		30
Подготовка к экзамену		0 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

##### 4.2. Содержание дисциплины (модуля), структурированное по темам (разделам)

Семестр: 7 (Осенний)

###### 1. Измерители и сигналы. Управляющие устройства

Основные типы измерителей, применяемых на БВС: датчики угловой скорости, линейных ускорений, давления, температуры, измерители скорости и расстояний. Обработка цифровых сигналов: фильтрация шумов, синтез. Типы управляющих устройств.

## 2. Курсовертикаль

Кватернионы. Численное интегрирование уравнений углового положения. Коррекция ошибок.

## 3. Программа автопилота

Архитектура программы автопилота. Основной цикл работы в реальном времени. Подсистема настройки, регистрации параметров и связи. Подсистема траекторного управления.

## 4. Синтез алгоритмов САУ

ПИД-регулятор. Разделение управления по каналам. Выбор источников обратной связи. Формирование управляющих сигналов.

## 5. САУ БВС различных типов, траекторное управление

САУ БВС самолётного типа, САУ БВС мультироторного типа, САУ БВС с соосными несущими винтами, САУ БВС парашютного типа. Траекторное управление при наличии и отсутствии внешних сигналов.

## 6. Программно-аппаратный стенд полунатурного моделирования

Архитектура программно-аппаратного стенда полунатурного моделирования. Математические модели элементов БВС и окружающей обстановки. Методика применения стенда.

## 7. Программа наземной станции управления

Архитектура программы наземной станции управления. Сбор и анализ данных испытаний.

## 5. Описание материально-технической базы, необходимой для осуществления образовательного процесса по дисциплине (модулю)

учебная аудитория, оснащенная мультимедиапроектором и экраном.

## 6. Перечень рекомендуемой литературы

### Основная литература

1. Автоматическое управление [Текст] : учеб. пособие для вузов / Я. Н. Ройтенберг .— 2-е изд., перераб. и доп. — М. : Наука, 1978 .— 552 с.
2. Теория автоматического регулирования [Текст] : учебное пособие для вузов / А. С. Востриков, Г. А. Французова .— М : Высшая школа, 2004 .— 365 с.

### Дополнительная литература

1. Теория систем автоматического управления [Текст] : [учеб. пособие для вузов] / В. А. Бесекерский, Е. П. Попов .— 4-е изд., перераб. и доп. — СПб. : Профессия, 2004 .— 752 с.

## 7. Перечень ресурсов информационно-телекоммуникационной сети "Интернет", необходимых для освоения дисциплины (модуля)

Не используются

## **8. Перечень информационных технологий, используемых при осуществлении образовательного процесса по дисциплине (модулю), включая перечень необходимого программного обеспечения и информационных справочных систем (при необходимости)**

На лекционных занятиях используются мультимедийные технологии, включая демонстрацию презентаций.

## **9. Методические указания для обучающихся по освоению дисциплины (модуля)**

Студент, изучающий дисциплину "Автоматическое управление БВС" должен с одной стороны, овладеть общим понятийным аппаратом, а с другой стороны, должен научиться применять теоретические знания на практике.

В результате изучения дисциплины студент должен знать основные определения, понятия, аксиомы.

Успешное освоение курса требует напряжённой самостоятельной работы студента. В программе курса приведено минимально необходимое время для работы студента над темой. Самостоятельная работа включает в себя:

- чтение и конспектирование рекомендованной литературы;
- проработку учебного материала (по конспектам лекций, учебной и научной литературе), подготовку ответов на вопросы, предназначенных для самостоятельного изучения, доказательство отдельных утверждений, свойств;
- подготовку к дифференцированному зачету.

Руководство и контроль за самостоятельной работой студента осуществляется в форме индивидуальных консультаций.

Важно добиться понимания изучаемого материала, а не механического его запоминания. При затруднении изучения отдельных тем, вопросов, следует обращаться за консультациями к лектору.

**ОЦЕНОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ (МОДУЛЮ)**

<b>по направлению:</b>	Прикладные математика и физика
<b>профиль подготовки:</b>	Беспилотные авиационные системы Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
<b>курс:</b>	<u>4</u>
<b>квалификация:</b>	бакалавр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 7 (осенний) - Дифференцированный зачет	
<b>Разработчик:</b>	С.А. Лёвин, канд. техн. наук

## 1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Способен применять фундаментальные знания, полученные в области физико-математических и (или) естественных наук, и использовать их в профессиональной деятельности	ОПК-1.1 Способен анализировать поставленную задачу, намечать пути ее решения
	ОПК-1.2 Способен строить математические модели, производить количественные расчеты и оценки
	ОПК-1.3 Способен определять границы применимости полученных результатов
ОПК-2 Способен использовать современные информационные технологии и программные средства при решении задач профессиональной деятельности, соблюдая требования информационной безопасности	ОПК-2.1 Способен применять современные вычислительную технику и сервисы сети Интернет в области (сфере) профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Знает и умеет применять численные математические методы и прикладное программное обеспечение для решения научных задач в профессиональной области
	ОПК-2.3 Знает основные требования информационной безопасности
ОПК-3 Способен составлять и оформлять научные и (или) технические (технологические, инновационные) отчеты (публикации, проекты)	ОПК-3.1 Знает основные правила оформления научных публикаций и научно-технической документации, в том числе с использованием прикладного программного обеспечения
	ОПК-3.2 Владеет на практике методологией составления научно-технических отчетов (проектов)
	ОПК-3.3 Владеет методами визуального и графического представления результатов научной (научно-технической, инновационной технологической) деятельности в виде отчетов, научных публикаций
ПК-1 Способен планировать и проводить научные эксперименты (в избранной предметной области) и (или) теоретические (аналитические и имитационные) исследования	ПК-1.1 Владеет фундаментальными понятиями, законами и теориями современной физики
	ПК-1.2 Имеет глубокое знание и понимание базовых математических дисциплин
	ПК-1.3 Владеет культурой постановки научной задачи и моделирования естественнонаучных объектов и систем
	ПК-1.4 Умеет строить математические модели для описания и исследования процессов и явлений в соответствующих научных областях
	ПК-1.5 Владеет навыками безопасной работы с современными научными приборами и другим экспериментальным оборудованием
	ПК-1.6 Знает основные правила поведения и работы в современной научной лаборатории
	ПК-1.7 Способен оценивать требуемые ресурсы (материальные и временные) для планирования и проведения научного эксперимента
	ПК-1.8 Владеет навыками работы с современными языками программирования и программными пакетами для научных расчетов
	ПК-1.9 Знает перечень ведущих периодических научных изданий и способен выделять актуальные научные публикации в профессиональной области
ПК-2 Способен анализировать полученные в ходе научно-исследовательской работы	ПК-2.1 Владеет методами статистической обработки и анализа научных данных
	ПК-2.2 Умеет находить ключевые параметры, определяющие изучаемое явление, и производить численные оценки по порядку величины



данные и делать научные выводы (заключения)	ПК-2.3 Способен представлять научные утверждения, их обоснования и доказательства, научные проблемы и их решения ясно и точно в терминах, понятных для профессиональной аудитории, в письменной и устной форме
ПК-3 Способен выбирать и применять подходящее оборудование, инструменты и методы исследований для решения задач в избранной предметной области	ПК-3.1 Знает принципы работы и диапазоны рабочих параметров используемого научного оборудования
	ПК-3.2 Знает области и критерии применимости используемых теоретических подходов и умение оценивать точность приближенных аналитических методов вычислений
	ПК-3.3 Умеет производить оценку точности численных методов, используемых на ЭВМ, вычислительной сложности используемых алгоритмов и объема требуемых вычислительных ресурсов
ПК-4 Способен критически оценивать применимость используемых методик и методов	ПК-4.1 Знает численные порядки величин, характерных для соответствующей профессиональной области
	ПК-4.2 Знает источники происхождения и умеет производить оценку погрешности измерений и достоверности экспериментальных результатов
	ПК-4.3 Способен обосновать причинно-следственные отношения используемых понятий и моделей

## 2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Система автоматического управления БВС» обучающийся должен:

### знать:

- методологию разработки решений по автоматизации управления БВС;
- состав и роли составляющих элементов комплекса решений по автоматизации управления БВС;
- архитектуру программы автопилота, стенда полунатурного моделирования, программы наземной станции управления;
- основные способы обработки и синтеза сигналов, используемых в системах автоматического управления БВС;
- основные способы синтеза алгоритмов автоматического управления и их настройки.

### уметь:

- применять методологию разработки комплексного решения по автоматизации управления БВС к конкретной задаче;
- разрабатывать элементы комплекса решений по автоматизации управления БВС;
- синтезировать и настраивать основные алгоритмы автоматического управления БВС;
- создавать математические модели движения БВС и разрабатывать их численную реализацию;
- проводить численные эксперименты, собирать, обрабатывать и анализировать результаты.

### владеть:

- методологией разработки комплексного решения по автоматизации управления БВС;
- инструментами разработки элементов комплексного решения по автоматизации управления;
- методами настройки и отладки программного комплекса управления БВС;
- навыками проведения численного эксперимента и обработки результатов.

## 3. Перечень типовых (примерных) вопросов, заданий, тем для подготовки к текущему контролю

1. Типы ошибок датчика угловой скорости
2. Частота дискретизации показаний цифрового датчика
3. Сервопривод
4. Способы коррекции ошибок при вычислении углового положения
5. Углы Эйлера для описания углового положения
6. Управление высотой полёта БВС самолётного типа

7. Стабилизация углового положения БВС мультироторного типа
8. Стабилизация углового положения БВС с соосными винтами без автомата перекоса
9. Особенности управления БВС парашютного типа
10. Метод SLAM для навигации в закрытых помещениях
11. Методы навигации без внешних сигналов в открытом пространстве
12. Элементы стенда полунатурного моделирования
13. Элементы математической модели движения БВС
14. Математическая модель измерителей
15. Элементы программы наземной станции управления
16. Оценка аэродинамического качества по траекторным измерениям
17. Настройка дифференциального звена ПИД-регулятора
18. Методы численного интегрирования уравнений математической модели БВС
19. Принцип управления по обратной связи
20. Принцип программного управления

#### **4. Перечень типовых (примерных) вопросов и тем для проведения промежуточной аттестации обучающихся**

1. Измерители угловых скоростей и линейных ускорений. Основные характеристики. Обработка цифровых сигналов. Фильтрация шумов.
2. Типы управляющих устройств и их характеристики БВС. Понятие кватерниона в задаче вычисления ориентации. Курсовертикаль.
3. Архитектура программы автопилота. Описание подсистем автопилота. Структура САУ БВС самолётного типа.
4. Структура САУ БВС мультироторного типа. Структура САУ БВС с соосными несущими винтами.
5. Структура САУ БВС парашютного типа. Траекторное управление БВС в закрытых помещениях.
6. Траекторное управление БВС в открытом пространстве без внешних сигналов. Архитектура программно-аппаратного стенда полунатурного моделирования.
7. Математическая модель БВС. Архитектура программы наземной станции управления.
8. Обработка результатов эксперимента. Методы настройки параметров САУ БВС.

#### **Критерии оценивания**

Оценка отлично 10 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины, проявляющему интерес к данной предметной области, продемонстрировавшему умение уверенно и творчески применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 9 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, свободное и правильное обоснование принятых решений.

Оценка отлично 8 баллов - выставляется студенту, показавшему всесторонние, систематизированные, глубокие знания учебной программы дисциплины и умение уверенно применять их на практике при решении конкретных задач, правильное обоснование принятых решений, с некоторыми недочетами.

Оценка хорошо 7 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но недостаточно грамотно обосновывает полученные результаты.

Оценка хорошо 6 баллов - выставляется студенту, если он твердо знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач некоторые неточности.

Оценка хорошо 5 баллов - выставляется студенту, если он в основном знает материал, грамотно и по существу излагает его, умеет применять полученные знания на практике, но допускает в ответе или в решении задач достаточно большое количество неточностей.

Оценка удовлетворительно 4 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, недостаточно правильные формулировки базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, но при этом он освоил основные разделы учебной программы, необходимые для дальнейшего обучения, и может применять полученные знания по образцу в стандартной ситуации.

Оценка удовлетворительно 3 балла - выставляется студенту, показавшему фрагментарный, разрозненный характер знаний, допускающему ошибки в формулировках базовых понятий, нарушения логической последовательности в изложении программного материала, слабо владеет основными разделами учебной программы, необходимыми для дальнейшего обучения и с трудом применяет полученные знания даже в стандартной ситуации.

Оценка неудовлетворительно 2 балла - выставляется студенту, который не знает большей части основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубые ошибки в формулировках основных принципов и не умеет использовать полученные знания при решении типовых задач.

Оценка неудовлетворительно 1 балл - выставляется студенту, который не знает основного содержания учебной программы дисциплины, допускает грубейшие ошибки в формулировках базовых понятий дисциплины и вообще не имеет навыков решения типовых практических задач.

## **5. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности**

Во время проведения дифференцированного зачета обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой, конспектами лекций.

Дифференцированный зачет может проводиться по итогам текущей успеваемости и сдачи заданий, или путем организации специального опроса, проводимого в устной форме.