

ФГБУ «НИЦ «Институт имени Н.Е. Жуковского»
ФЕДЕРАЛЬНОЕ АВТОНОМНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
«ЦЕНТРАЛЬНЫЙ АЭРОГИДРОДИНАМИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ имени
профессора Н.Е. Жуковского»
(ФАУ «ЦАГИ»)



РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

**«Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов»**

Группа научных специальностей: 2.5 – «Машиностроение»

**Научная специальность: 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением
летательных аппаратов»**

Уровень образования: высшее образование – подготовка научных и научно-педагогических кадров в аспирантуре

Форма обучения
Очная

Жуковский, 2024

Рабочая программа учебной дисциплины «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» разработана на основании федерального государственного требования, утвержденного приказом Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. N 951

Программа рекомендована Научно-методическим советом ФАУ «ЦАГИ» для направлений подготовки и направленностей:

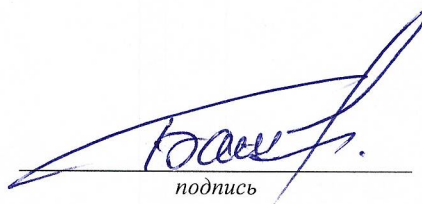
Группа научных специальностей: **2.5 Машиностроение**

Научная специальность: **2.5.16 Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов**

Разработчики программы:

С.Г. Баженов

ФИО



подпись

ФИО

подпись

ФИО

подпись

ФИО

подпись

Согласовано:

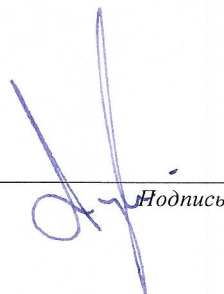
Председатель научно-методического совета по аспирантуре

А.М. Гайфуллин,
д.ф.-м.н., чл.-корр. РАН



Подпись

Первый заместитель генерального директора А.Л. Медведский д.ф.-м.н., доц.



Подпись

Содержание

1. Общие положения	4
1.1 Цель и задачи учебной дисциплины	4
1.2 Место учебной дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы	4
1.3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине в рамках планируемых результатов освоения основной профессиональной образовательной программы	4
2. Объем учебной дисциплины	5
3. Содержание учебной дисциплины	6
3.1. Учебно-тематический план по очной форме обучения	6
4. Содержание разделов и тем учебной дисциплины	7
5. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине	10
5.1. Форма промежуточной аттестации обучающегося по учебной дисциплине	10
5.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций	10
5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы	11
6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы для освоения учебной дисциплины	13
6.1. Основная литература	13
6.2. Дополнительная литература	14
7. Перечень ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения учебной дисциплины	16
8. Методические указания для обучающихся по освоению учебной дисциплины	16
8.1. Подготовка к лекционному занятию	16
8.2. Подготовка к занятию практического типа	17
8.3. Самостоятельная работа обучающегося	18
8.4. Подготовка к зачету/экзамену	20
9. Информационно-технологическое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине	20
10. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине	20
11. Образовательные технологии	21
12. Аннотация рабочей программы учебной дисциплины	22
Лист регистрации изменений	24

1. Общие положения

1.1 Цель и задачи учебной дисциплины

Целью изучения дисциплины «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» является формирование у аспирантов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций и новейших методов исследования в области динамики и управления полетом летательных аппаратов различных классов.

Задачи изучения дисциплины включают:

- формирование у аспирантов представления о новейших направлениях развития методов исследования в области динамики и управления полетом летательных аппаратов различных классов;
- изучение теоретических основ и методов исследования динамики движения и управления полетом летательных аппаратов;
- рассмотрение особенностей движения, методов расчета траекторий и современных систем управления летательных аппаратов, их баллистическо-навигационное обеспечение управления полетом;
- подготовку аспирантов к применению полученных знаний и умений при выполнении диссертационных исследований.

1.2 Место учебной дисциплины в структуре основной профессиональной образовательной программы

Дисциплина является обязательной для освоения по группе научной специальности 2.5 «Машиностроение», научной специальности 2.5.16 «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов».

1.3 Планируемые результаты обучения по учебной дисциплине в рамках планируемых результатов освоения основной профессиональной образовательной программы

В результате освоения учебной дисциплины обучающийся должен продемонстрировать следующие результаты:

Таблица 1
Планируемые результаты обучения

Результаты обучения
Знать фундаментальные законы и основные современные проблемы в теории динамики, баллистики и управления движением летательных аппаратов.
Уметь пользоваться своими знаниями для решения фундаментальных задач динамики, баллистики и управления движением летательных аппаратов; делать качественные выводы при переходе к предельным условиям в изучаемых проблемах динамики, баллистики и управления движением летательных аппаратов.
Владеть навыками освоения большого объема информации, теоретического анализа и практикой исследования реальных задач динамики, баллистики и управления движением

летательных аппаратов

Знать физические и математические модели, применяемые в динамике, баллистике и управлении движением летательных аппаратов; разновидности современных способов экспериментального исследования, которые применяются в динамике, баллистике и управлении движением летательных аппаратов, а также физические принципы, на которых они основаны; основные современные методы численного моделирования задач динамики, баллистики и управления движением летательных аппаратов.

Уметь делать правильные выводы из сопоставления результатов теории и эксперимента; видеть в теоретических задачах физическое содержание; применять понятия и формулы, полученные в рамках подготовки по профилю.

Владеть навыками самостоятельной работы в аудитории и в сети Интернет, культурой постановки и моделирования физических задач, навыками грамотной обработки данных эксперимента и сопоставления с теоретическими и численными результатами

2. Объем учебной дисциплины

Общая трудоемкость учебной дисциплины составляет 6 зачетные единицы.

Таблица 2

Распределение объема дисциплины по видам работ

Вид учебной работы	Всего часов	Семестры		
		4	5	6
Аудиторные учебные занятия, всего, в т.ч.:	88	36	34	18
контактная работа обучающихся с преподавателем:	88	36	34	18
- учебные занятия лекционного типа	88	36	34	18
- учебные занятия семинарского типа	-	-	-	
- лабораторные занятия	-	-	-	
Самостоятельная работа обучающихся, всего, в т.ч.:	92	36	38	18
- подготовка к лекционным и практическим занятиям, самостоятельное изучение разделов дисциплины в ЭИОС	92	36	38	18

- выполнение практических заданий	-	-	-	
- рубежный текущий контроль	-	-	-	
Контроль	36	-		36
Вид промежуточной аттестации (зачет, дифференцированный зачет, экзамен)	-	зачет	зачет с оценкой	экзамен
Общая трудоемкость учебной дисциплины, з.е.	6	2	2	2

* **Самостоятельная работа** – изучение студентами теоретического материала, подготовка к лекциям, практическим и семинарским занятиям, написание рефератов, отчетов, проектов, работа в электронной образовательной среде и др. для приобретения новых знаний и умений.

Виды самостоятельной учебной работы: расчетно-графическая работа, написание реферата, выполнение типового расчета, домашнее задание (решение задач, перевод текста, конспектирование, составление обзора), подготовка к лабораторным работам и оформление отчетов, научно-исследовательская работа и т.п.).

3. Содержание учебной дисциплины

3.1. Учебно-тематический план по очной форме обучения

Объем учебных занятий составляет 88 часов.

Объем самостоятельной работы – 92 часа.

Таблица 3

Распределение учебного времени по темам и видам учебных занятий

№ п/п	Тема	Виды учебной работы, академических часов					
		Всего	Самостоятельная работа, в т.ч. промежуточная аттестация	Контактная работа обучающихся с преподавателем			
				Всего	Лекционного типа	Семинарского типа	Лабораторные занятия
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Тема 1. Общие положения и математическая модель движения летательного аппарата	12	6	6	6	-	-

2	Тема 2. Описание движения летательного аппарата	12	6	6	6	-	-
3	Тема 3. Управление движения центра масс летательного аппарата	11	5	6	6	-	-
4	Тема 4. Силы и моменты, действующие на самолет	12	6	6	6	-	-
5	Тема 5. Органы управления и механизации летательного аппарата	12	6	6	6	-	-
6	Тема 6. Разделение системы управлений движения летательного аппарата	12	6	6	6	-	-
7	Тема 7. Разделение продольного движения летательного аппарата	10	6	4	4	-	-
8	Тема 8. Характеристики летательного аппарата в короткопериодическом движении	9	5	4	4	-	-
9	Тема 9. Аэродинамический фокус	9	5	4	4	-	-
10	Тема 10. Длиннопериодическое движение	9	5	4	4	-	-
11	Тема 11. Математическая модель бокового движения летательного аппарата	12	6	6	6	-	-
12	Тема 12. Взаимное влияние движений крена и рыскания	12	6	6	6	-	-
13	Тема 13. Формы взаимодействия продольного и бокового движений летательного аппарата	12	6	6	6	-	-
14	Тема 14. Режимы сваливания, инерционного вращения и штопора летательного аппарата	12	6	6	6	-	-
15	Тема 15. Общий подход к исследованию динамики винтокрылых летательных аппаратов	12	6	6	6	-	-
16	Тема 16. Управление движения вертолетов	12	6	6	6	-	-
Общий объем, часов		180	92	88	88	-	-
Форма итоговой аттестации		Зачет/зачет с оценкой/экзамен					

4. Содержание разделов и тем учебной дисциплины

Тема 1. Общие положения и математическая модель динамики движения летательного аппарата.

Объект исследования и его математическая модель. Состояние баллистического и управляемого летательного аппарата. Параметры управления. Возмущающие воздействия. Устойчивость, управляемость, наблюдаемость.

Качество управления и показатели качества. Принцип обратной связи. Принципы управления начальным, текущим и конечным состоянием. Принцип декомпозиции движений. Принцип независимого (автономного) управления. Принцип сбалансированного движения. Принцип оптимальности.

Тема 2. Описание движения летательного аппарата.

Общая характеристика систем координат. Определение взаимной ориентации систем координат. Координатные преобразования. Углы Эйлера, углы атаки и скольжения, путевой угол и угол наклона траектории. Управления для углов Эйлера. Матрицы перехода между различными системами координат.

Тема 3. Управления движения центра масс летательного аппарата.

Управления движения материальной точки в векторной форме. Скалярная форма записи уравнения движения центра масс летательного аппарата. Уравнение движения в перегрузках. Исходные данные для интегрирования уравнений движения. Уравнения движения летательного аппарата как твердого тела в проекциях на оси связанной системы координат.

Тема 4. Силы и моменты, действующие на самолет.

Представление аэродинамических сил с помощью безразмерных аэродинамических коэффициентов. Законы подобия. Упрощение модели аэродинамических сил и моментов. Гипотеза квазистационарности, декомпозиция, метод малых возмущений и линеаризация.

Тема 5. Органы управления и механизации летательного аппарата.

Летательный аппарат как объект управления, системы координат, способы задания взаимного положения систем координат, использование матриц направляющих косинусов, использование кватернионов. Общая характеристика, функции, достоинства, недостатки, диапазон и скорость отклонения.

Тема 6. Разделение системы управлений движения летательного аппарата.

Разделение системы управлений движения летательного аппарата на две независимые системы. Роль плоскости симметрии самолета в разделении движения. Управления продольного и бокового движения летательного аппарата.

Тема 7. Разделение продольного движения летательного аппарата.

Разделение продольного движения летательного аппарата на короткопериодическое и длиннопериодическое движения. Понятие короткопериодического движения летательного аппарата. Передаточные функции и переходные процессы в короткопериодическом движении. Зависимость собственной частоты и демпфирования от высоты и скорости полета. Производные продольной статистической устойчивости m_z^a m_z^{Cy} . Уравнение движения длиннопериодического движения, демпфирование и собственная частота фугоидных колебаний. Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.

Тема 8. Характеристика летательного аппарата в короткопериодическом движении.

Собственная частота, демпфирование, переходные процессы, передаточные функции и частотные характеристики летательного аппарата в короткопериодическом движении. Влияние высоты, скорости и положения фокуса и параметров летательного аппарата.

Тема 9. Аэродинамический фокус.

Понятие аэродинамического фокуса. Факторы, влияющие на положение аэродинамического фокуса: ГО и ПГО, число Маха, стреловидность крыла, фюзеляж, упругость конструкции, влияние экрана. Запас устойчивости по перегрузке.

Тема 10. Длиннопериодическое движение.

Длиннопериодическое движение летательного аппарата. Уравнения движения. Собственная частота и демпфирование. Моментная и силовая устойчивость. Влияние изменения высоты на устойчивость движения.

Тема 11. Математическая модель бокового движения летательного аппарата.

Определение характеристик бокового движения летательного аппарата. Система уравнения бокового движения. Изолированные движения крена и рыскания. Путевая и поперечная устойчивость.

Тема 12. Взаимное влияние движений крена и рыскания.

Уравнение движения крена, уравнение движения рыскания. Передаточные функции летательного аппарата.

Спиральное движение. Движение типа «голландский шаг». Влияние скольжения на движение крена. Критерий λ^2 .

Тема 13. Формы взаимодействия продольного и бокового движений летательного аппарата.

Физические причины взаимодействия продольного и бокового движения летательного аппарата. Кинетическое, аэродинамическое, инерционное и гирогоскопическое взаимодействие.

Тема 14. Режимы сваливания, инерционного вращения и штопора летательного аппарата.

Понятие сваливания, инертного вращения и штопора летательного аппарата. Причины возникновения сваливания, инертного вращения и штопора, их влияние на летательный аппарат. Признаки сваливания. Методы выведения из штопора.

Тема 15. Общий подход к исследованию динамики винтокрылых летательных аппаратов.

Основы аэродинамики и динамики полета винтокрылых летательных аппаратов. Схемы винтокрылых летательных аппаратов. Основные режимы полета. Навигационные системы и комплексы. Силовые установки. Область эксплуатационных режимов. Динамическая устойчивость винтокрылого летательного аппарата и способы ее улучшения.

Тема 16. Уравнения движения вертолетов.

Силы и моменты, действующие на вертолет. Особенности аэродинамики вертолетов. Органы управления вертолетов. Особенности устойчивости и управляемости вертолетов. Управление несущим винтом. Продольный и по-

перечный, путевой момент управления вертолетов различных схем. Балансировка винтокрылого летательного аппарата.

5. Фонд оценочных средств для проведения промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине

5.1. Форма промежуточной аттестации обучающегося по учебной дисциплине

Контрольным мероприятием промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине является **зачет** - в 4 семестре обучения, **зачет с оценкой** - в 5 семестре обучения и **экзамен** – в 6 семестре обучения, которые проводятся в устной и письменной форме.

Обучающийся допускается к зачетам по результатам выполнения всех видов учебной работы, предусмотренных учебным планом по данной дисциплине, при этом учитываются результаты текущего контроля успеваемости в течение семестра. Оценка степени достижения обучающимися планируемых результатов обучения по дисциплине проводится преподавателем, ведущим занятия по дисциплине методом экспертной оценки.

5.2. Методические материалы, определяющие процедуры оценивания знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций

По результатам сдачи **зачета** аспиранту выставляется оценка:

- **«зачет»** – в случае, если аспиранта успешно освоил основные темы курса, регулярно посещал аудиторные занятия; системно и удовлетворительно выполнял самостоятельную работу;

- **«незачет»** – при не освоении аспирантом основных тем курса и не регулярном посещении аудиторных занятий; не представлении результатов самостоятельной работы.

Оценка знаний аспиранта на **зачете с оценкой и экзамене** осуществляется по **пятибалльной шкале**:

- **«отлично»**, если аспирант показал глубокие знания и понимание программного материала по поставленному вопросу, умело увязывает его с практикой, грамотно и логично строит ответ, быстро принимает оптимальные решения;

- **«хорошо»**, если аспирант твердо знает программный материал, грамотно его излагает, не допускает существенных неточностей в ответе на вопрос, правильно применяет полученные знания при решении практических заданий;

- **«удовлетворительно»**, если аспирант имеет знания только основного материала по поставленному вопросу, но не усвоил его деталей, требует в

отдельных случаях наводящих вопросов для правильного ответа, допускает отдельные неточности, ошибки в решении практических заданий;

- «неудовлетворительно», если аспирант допускает грубые ошибки в ответе на поставленный вопрос, не может применять полученные знания на практике.

5.3. Типовые контрольные задания или иные материалы, необходимые для оценки знаний, умений, навыков и (или) опыта деятельности, характеризующих этапы формирования компетенций в процессе освоения образовательной программы

Примерные вопросы для проведения промежуточной аттестации обучающихся по учебной дисциплине:

1. Системы координат, используемые для описания движения летательного аппарата. Основные углы, используемые для описания положения, ориентации и вектора скорости самолета.
2. Силы и моменты, действующие на самолет. Безразмерные коэффициенты сил и моментов.
3. Уравнения количества движения летательного аппарата в связанной системе координат.
4. Уравнения момента количества движения летательного аппарата в связанной координат. Тензор инерции самолета.
5. Основные органы управления и механизации самолета.
6. Модели атмосферы и атмосферных явлений, важных для динамики полета летательного аппарата.
7. Разделение системы уравнений движения самолета на уравнения продольного и бокового движений.
8. Методы исследования задач динамики полета: алгебраические, матричные и операционные.
9. Средняя аэродинамическая хорда.
10. Продольная статистическая устойчивость. Производные m_z^a $m_{y_z}^{Cy}$. Понятие об аэродинамическом фокусе.
11. Влияние положений фокуса ГО, числа Маха, стреловидности, фюзеляжа, упругости конструкции и наличия экрана.
12. Запас устойчивости по перегрузке.
13. Производные $m_z^{w_z}$ и m_z^a .
14. Продольное короткопериодическое движение самолета. Передаточные функции и переходные процессы в короткопериодическом движении.
15. Моментальная устойчивость по скорости. Запас устойчивости по скорости.
16. Силовая устойчивость по скорости.
17. Эффективность руля высоты и стабилизатора.

18. Продольная балансировка и управляемость. Балансировочные скорость и угол атаки самолета. Зависимость балансировки от тяги и отклонения органов управления.
19. Продольное длиннопериодическое движение при учете изменения высоты полета.
20. Выбор центровки и площади горизонтального управления.
21. Понятие об управляемости самолета. Характеристики продольной управляемости X^n и P^n . Области хороших оценок летчика.
22. Модель летчика как элемента системы управления. Задачи компенсаторного слежения.
23. Управления бокового возмущенного движения. Корни бокового движения. Колебательное и спиральное движение.
24. Изолированное движение рыскания. Переходные процессы при ступенчатом отклонении руля направления. Движение типа «голландский шаг».
25. Изолированное движение крена. Переходные процессы при ступенчатом отклонении элеронов. Влияние движения рыскания на движение крена. Критерий λ^2 .
26. Понятие об автоматизации управления. Иерархическое построение комплекса управления самолетом и задачи, решаемые на разных уровнях.
27. Основные элементы системы управления. Сигналы, используемые в СУ и их датчики. Вычислительная часть системы управления современного самолета.
28. Определение перегрузки. Датчик перегрузки. Влияние угловых ускорений и угловых скоростей самолета на показания датчика перегрузки.
29. Измерение углового положения самолета и его угловых скоростей. Позиционный, скоростной и лазерный гироскопы.
30. Принципиальная схема гидромеханического привода.
31. Принципиальная схема электромеханического привода.
32. Демпфер тангажа.
33. Автомат продольной устойчивости.
34. Понятие об интегральной системе управления.
35. Демпфер крена.
36. Демпфер рыскания.
37. Формы взаимодействия продольного и бокового движений.
38. Понятие о сваливании самолета. Скорость сваливания. Признаки сваливания.
39. Демпфирование по крену на закритических углах атаки. Петля самовращения.
40. Понятие о штопоре самолета. Выведение самолета из штопора.
41. Понятие о режиме инерционного вращения самолета.

6. Перечень основной и дополнительной учебной литературы для освоения учебной дисциплины

6.1. Основная литература

1. Под редакцией Г.С. Бюшгенса. Динамика полета. Москва : Наука, 2010.
2. Под редакцией Г.С. Бюшгенса. Динамика полета. Москва : Машиностроение - Полет, 2017.
3. Г.С. Бюшгенс, Р.В. Студнев. Динамика продольного и бокового движения самолета. Москва : Машиностроение, 1979.
4. Г.С. Бюшгенс, Р.В. Студнев. Динамика пространственного движения самолета. Москва : Машиностроение, 1967.
5. Ю.П. Гуськов, Г.И. Загайнов. Управление полетом самолетов. Москва : Машиностроение, 1991.
6. Под редакцией Г.С.Бюшгенса. Аэродинамика, устойчивость и управляемость сверхзвуковых самолетов. Москва : Физматлит, 1998.
7. И.В. Остославский. Аэродинамика самолета. Москва : Оборонгиз, 1951.
8. И.В. Остославский, И.В. Стражева. Динамика полета. устойчивость и управляемость летательных аппаратов. Москва : Машиностроение, 1965.
9. Под редакцией Г.С. Бюшгенса. Аэродинамика и динамика полета магистральных самолетов. Пекин : Авиаиздательство КНР, 1995.
- 10.Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 1. Аэродинамика самолётов различного назначения. Издание ЦАГИ, 1980г.
- 11.Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 5. Устойчивость и управляемость самолётов различного назначения. Издание ЦАГИ, 1981г.
- 12.Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 6. Методы расчёта характеристик устойчивости и управляемости самолётов. Издание ЦАГИ, 1981г.
- 13.Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 7. Методы расчёта характеристик системы управления. Издание ЦАГИ, 1981г.
- 14.Руководство для конструкторов. Том 1. Аэродинамика и динамика полёта самолёта. Книга 8. Специальные задачи динамики полёта. Издание ЦАГИ, 1981г.
- 15.Единые Нормы Летной Годности Гражданских Транспортных Самолетов Стран Членов СЭВ. Москва : б.н., 1985.
- 16.ГОСТ 20058-80. ДИНАМИКА ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В АТМОСФЕРЕ. Термины, определения и обозначения. Москва : 1981.
- 17.Авиационные правила. Ч. 25. Нормы летной годности самолетов транспортной категории. Межгосударственный авиационный комитет . Москва : Авиаиздат, 2004.

- 18.И.А. Михалев, Б.Н. Окоемов, М.С. Чикулаев. Системы автоматического управления самолетом. Москва : Машиностроение, 1987.
- 19.В.А. Боднер. Системы управления летательными аппаратами . Москва : Машиностроение, 1973.
- 20.Под. ред. А.М. Матвеевко и В.И. Бекасова. Системы оборудования летательных аппаратов. Москва : Машиностроение, 2005.
- 21.Бочаров В.Я., Шумилов И.С. Системы управления самолетов, Энциклопедия машиностроения. Т. IV-XXI. Москва : Машиностроение, 2004.
- 22.С.В. Константинов, П.Г. Редько, С.А. Ермаков. Электрогидравлические рулевые приводы систем управления полетом маневренных самолетов. Москва. Янус-К, 2006г.
- 23.С.В. Константинов, В.Е. Кузнецов, Н.Д. Поляхов, П.Г. Редько, О.И. Трифонова. Электрогидравлические рулевые приводы с адаптивным управлением маневренных самолетов. Санкт-Петербург. Издательство СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2011г.
- 24.Ian Moir, Allan Seabridge. Civil avionics systems . б.м. : AIAA Education series, 2003.
- 25.Ian Moir, Allan Seabridge. Aircraft systems: mechanical, electrical and avionics subsystems integration. Third edition. б.м. : AIAA Education series, 2008.
- 26.Etkin, Bernard. Dynamics of flight. Stability and control. New York : John Wiley & sons, 1982.
- 27.McRuer, D.T. Pilot Induced Oscillations and Human Dynamic Behavior, NASA-CR-4683.
- 28.Ashkenas, I.L. Summary and interpretation of recent longitudinal flying qualities result, AIAA-69-898.
- 29.T.R. Neal T.R., R.E. Smith. Development of flying qualities criterion for the design of fighter control system, AIAA 70-927.
- 30.Hess R.A. and Kalteis R.M. valuation of a Technique for Predicting Longitudinal Pilot-Induced-Oscillations», AIAA 89-3517 . 1989.
- 31.Military specification «Flying qualities of piloted airplanes», MIL-F-8785C. 1980.

6.2. Дополнительная литература

1. Б.С. Алешин, С.Г. Баженов, Ю.И. Диденко, Ю.Ф. Шелюхин. Системы дистанционного управления магистральных самолетов . Москва : Наука, 2011.
2. Б.С. Алешин, Ю.Г. Живов, В.М. Кувшинов, А.С. Устинов. Активные системы управления самолетов . Москва : Наука, 2016.
3. К.С. Колесников, В.Н. Сухов. Упругий ЛА как объект автоматического управления . Москва : Машиностроение, 1974.

4. Не бойтесь ошибаться. Интервью с Бертом Рутаном. б.м. : Популярная механика. Ноябрь 2015, стр. 46-51.
5. П. Бауэрс. Летательные аппараты нетрадиционных схем. Москва : Мир, 1991.
6. А.Б. Кощеев, А.А. Платонов, А.В. Хабров. Аэродинамика самолетов семейства Ту-204/214. ОАО «Туполев». Москва : Полигон-пресс, 2010.
7. Ю. Ту. Современная теория управления. Москва : Мир, 1995.
8. Гониодский В.И. и др. Привод рулевых поверхностей самолетов. Москва. Машиностроение, 1974г.
9. Баженов А.И., Гамынин Н.С. и др. Проектирование следящих гидравлических приводов. Москва. Машиностроение, 1981г.
10. А.В. Ефремов, А.В. Оглобин, А.Н. Предтеченский, В.В. Родченко. Летчик, как динамическая система», . Москва : Машиностроение, 1992.
11. В. А. Каримов, Динамика ракет с аэродинамическим управлением. Математические модели и моделирование. Москва, Наука, 2018г.
12. В. К. Святодух, П. М. Чернявский. Динамика аппаратов с двухканальным управлением. Москва, Машиностроение, 1983г.
13. Движение ракет. Введение в теорию полета ракет, под редакцией д.т.н. проф. А. Ф. Дмитриевского. Ленинград, издательство Мин. обороны, 1968 г
14. А. Брайсон, Хо Ю-Ши. Прикладная теория оптимального управления. Оптимизация, оценка и управление. Москва, «Мир», 1972г.
15. Айзерман М.А. Классическая механика. Москва. Наука. 1980г.
16. Гантмахер Ф.Р. Лекции по аналитической механике. Москва. Наука. 2001г.
17. Э.Г., Удерман. Метод корневого годографа в теории автоматических систем». Москва : Наука, 1972.
18. Ю.В.Сидоров, М.В.Федорюк, М.И.Шабунин. Лекции по теории функций комплексного переменного. Москва : Наука, 1982.
19. М.А.Лаврентьев, Б.В.Шабат. Методы теории функций комплексного переменного». . Москва : Наука, 1965.
20. Ф.Р.Гантмахер. Теория матриц». . Москва : Наука, 1988.
21. П.Ланкастер. Теория матриц. Москва : Наука, 1982.
22. Р.Беллман. Введение в теорию матриц. Москва : Наука, 1969.
23. А.М. Яковлев. Авиационная метеорология. Москва. Транспорт. 1971г.
24. О.Г. Богаткин. Авиационная метеорология. Санкт-Петербург. Издательство РГГМУ. 2005г.
25. Брылев, А. А. Основы научно-исследовательской работы : учебник для вузов / А. А. Брылев, И. Н. Турчаева. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 206 с. — (Высшее образование). — ISBN 978-5-534-15861-8. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт]
26. Погорелов, В. И. Беспилотные летательные аппараты: нагрузки и нагрев : учебное пособие для вузов / В. И. Погорелов. — 2-е изд., испр. и доп. — Москва : Издательство Юрайт, 2023. — 191 с. — (Высшее об-

разование). — ISBN 978-5-534-07627-1. — Текст : электронный // Образовательная платформа Юрайт [сайт].

7. Перечень ресурсов информационно-коммуникационной сети «Интернет», необходимых для освоения учебной дисциплины

1. Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского [Электронный ресурс]: Официальный сайт. — URL : http://www.tsagi.ru/research/flight_dynamics/. — Режим доступа: свободный.
2. Государственный научный центр РФ Акционерное общество «Летно-исследовательский институт имени М. М. Громова: Официальный сайт. — URL : <http://lii.ru/letnye-issledovaniya-i-ispytaniya-samoletov-i-vertoletov/>. — Режим доступа: свободный.
3. ФГБОУ ВО «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)» [Электронный ресурс]: Официальный сайт. — URL : <https://k106.mai.ru/>. — Режим доступа: свободный.
4. АО «ЦНТУ Динамика» [Электронный ресурс]: Официальный сайт. — URL : <https://www.dinamika-avia.ru/>
5. IPR BOOKS [Электронный ресурс] : Электронно-библиотечная система. — URL : <http://www.iprbookshop.ru/>. — Режим доступа: для авторизир. пользователей.

8. Методические указания для обучающихся по освоению учебной дисциплины

Освоение обучающимся учебной дисциплины **«Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»** предполагает изучение материалов дисциплины на аудиторных занятиях и в ходе самостоятельной работы. Аудиторные занятия проходят в форме лекций. Самостоятельная работа включает разнообразный комплекс видов и форм работы обучающихся.

Для успешного освоения учебной дисциплины и достижения поставленных целей необходимо внимательно ознакомиться с настоящей рабочей программой учебной дисциплины на официальном Интернет-сайте ФАУ «ЦАГИ». Следует обратить внимание на список основной и дополнительной литературы, а также на предлагаемые преподавателем ресурсы информационно-телекоммуникационной сети Интернет. Эта информация необходима для самостоятельной работы обучающегося.

8.1. Подготовка к лекционному занятию

Подготовка к лекционному занятию включает выполнение всех видов заданий, размещенных к каждой лекции, т.е. задания выполняются еще до лекционного занятия по соответствующей теме. В ходе лекционных занятий необходимо вести конспектирование учебного материала. Желательно оставить в рабочих конспектах поля, на которых делать пометки из рекомендо-

ванной литературы, дополняющие материал прослушанной лекции, а также подчеркивающие особую важность тех или иных теоретических положений. Задавать преподавателю уточняющие вопросы с целью уяснения теоретических положений, разрешения спорных ситуаций. Дорабатывать свой конспект лекции, делая в нем соответствующие записи из литературы, рекомендованной преподавателем и предусмотренной учебной программой. Аспирант может дополнить список использованной литературы современными источниками, не представленными в списке рекомендованной литературы, и в дальнейшем использовать собственные подготовленные учебные материалы при написании различных видов работ.

8.2. Подготовка к занятию практического типа

Формы проведения практических занятий зависят от содержания изучаемой дисциплины, уровня подготовки обучающегося, имеющейся учебно-материальной базы и целей обучения. Практические занятия имеют целью:

- углубление, расширение и конкретизацию теоретических знаний, полученных на лекциях, до уровня, на котором возможно их практическое использование;
- экспериментальное подтверждение положений и выводов, изложенных в теоретическом курсе, и усиление доказательности обучения;
- решение задач, связанных с проведением необходимых расчетов;
- отработку навыков и умений в пользовании графиками, схемами, номограммами, картами, приборами или их комплексами;
- практическую работу на процедурных, специализированных и комплексных тренажерах для отработки умений и навыков в выполнении определенных технологических приемов и операторских функций;
- отработку умения использования ПК и пр.

Основу занятий практического типа составляет работа каждого обучаемого по приобретению умений и навыков использования закономерностей и методов, составляющих содержание дисциплины в профессиональной деятельности или в подготовке к изучению дисциплин, формирующих их универсальные и общепрофессиональные компетенции.

Практическим занятиям предшествуют лекции и целенаправленная самостоятельная подготовка студентов, поэтому практические занятия нужно начинать с краткого обзора цели занятия, напоминания о его связи с лекциями и формулирования конкретных вопросов-заданий, которые должны быть решены на данном занятии.

Вопросы и задачи, выносимые на практические занятия, должны касаться не только проблем современности, но и перспектив развития отрасли.

Практические занятия в большинстве случаев проводятся с использованием технических средств обучения, макетов, схем, моделей, разрезов узлов и агрегатов, демонстрационного и раздаточного материала и пр.

Разнообразие форм и целей практических занятий предполагает разнообразие форм контроля знаний и умений, приобретаемых студентами в ходе

занятий. Контроль знаний может производиться по результатам решения задач, устных и письменных ответов на вопросы-задания, правильности действий в ходе проведения ролевой (деловой) игры, четкости работы на тренажере и т.п. По результатам контроля знаний и умений преподаватель должен провести анализ хода и итогов практических занятий, отметить успехи обучающихся в решении учебной задачи, а также недостатки и ошибки, разобрать их причины и дать методические указания к их устранению.

8.3. Самостоятельная работа обучающегося

Самостоятельная работа аспирантов может рассматриваться как организационная форма обучения – система педагогических условий, обеспечивающих управление учебной деятельностью аспирантов по освоению знаний и умений в области учебной и научной деятельности без посторонней помощи. Аспиранту нужно четко понимать, что самостоятельная работа в аспирантуре – не просто обязательное, а необходимое условие для получения знаний и подготовки научно-квалификационной работы (диссертации).

Самостоятельная работа аспирантов проводится с целью:

- систематизации и закрепления полученных теоретических знаний и практических умений аспирантов;
- углубления и расширения теоретических знаний;
- формирования умений использовать нормативную, правовую, справочную документацию и специальную литературу;
- развития познавательных способностей и активности аспирантов: творческой инициативы, самостоятельности, ответственности и организованности;
- формирования самостоятельности мышления, способностей к саморазвитию, самосовершенствованию и самореализации;
- формирования практических (общеучебных и профессиональных) умений и навыков;
- развития исследовательских умений;
- получения навыков эффективной самостоятельной профессиональной (практической и научно-теоретической) деятельности.

В учебном процессе выделяют два вида самостоятельной работы: аудиторная и внеаудиторная. Аудиторная самостоятельная работа по дисциплине выполняется на учебных занятиях под непосредственным руководством преподавателя и по его заданию. Внеаудиторная самостоятельная работа – планируемая учебная, учебно-исследовательская, научно-исследовательская работа аспирантов, выполняемая во внеаудиторное время по заданию и при методическом руководстве преподавателя, но без его непосредственного участия.

Самостоятельная работа аспиранта реализуется в рамках:

- учебных дисциплин;
- педагогической и научно-исследовательской практики;
- научных исследований;

- подготовки к сдаче государственного экзамена;
- в процессе работы над научно-квалификационной работой (диссертацией).

Для более эффективного выполнения самостоятельной работы по дисциплине преподаватель рекомендует аспирантам источники и учебно-методические пособия для работы, характеризует наиболее рациональную методику самостоятельной работы, демонстрирует ранее выполненные аспирантами работы и т. п.

Различают несколько категорий видов самостоятельной работы аспирантов:

- работа с источниками литературы и официальными документами (использование библиотечно-информационной системы);
- выполнение заданий для самостоятельной работы в рамках учебных дисциплин (рефераты, эссе, домашние задания, решения кейсов);
- реализация элементов педагогической практики (разработка методических материалов, тестов, тематических портфолио);
- реализация элементов научно-исследовательской практики (подготовка текстов докладов, участие в исследованиях, стажировках);
- выполнение обязательных и элективных элементов научно-исследовательской работы (подготовка к научно-исследовательскому семинару, написание статей, работа над текстом диссертации).

Особенностью организации самостоятельной работы аспирантов является необходимость не только подготовиться к сдаче кандидатского экзамена по специальности, но и собрать, обобщить, систематизировать, проработать и проанализировать большой массив информации по теме диссертации.

Во время выполнения самостоятельной работы аспирант должен готовить научные, а также доклады на научные конференции.

Технология организации самостоятельной работы аспирантов включает использование информационных и материально-технических ресурсов ФАУ «ЦАГИ».

Виды заданий для внеаудиторной самостоятельной работы, их содержание и характер могут иметь вариативный и дифференцированный характер, учитывать специфику направления, по которому обучается аспирант, данной дисциплины, индивидуальные особенности аспиранта.

Самостоятельная работа может осуществляться индивидуально или группами аспирантов на занятиях в зависимости от цели, объема, конкретной тематики самостоятельной работы, уровня сложности, уровня умений аспирантов.

В качестве форм и методов контроля внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов могут быть использованы обмен информационными файлами, семинарские занятия, тестирование, самоотчеты, контрольные работы, защита творческих работ и электронных презентаций и др.

Контроль результатов внеаудиторной самостоятельной работы аспирантов осуществляется в пределах времени, отведенного на обязательные учебные занятия по дисциплине или в рамках аттестации, проводящийся два раза

в год, на которой выставляются зачеты по конкретным видам самостоятельной работы, предусмотренных учебным планом.

8.4. Подготовка к зачету и экзамену

К зачету и экзамену необходимо готовиться целенаправленно, регулярно, систематически и с первых дней обучения по данной дисциплине.

После предложенных указаний у обучающихся должно сформироваться четкое представление о требуемых знаниях и умениях, которыми надо будет овладеть при освоении учебной дисциплины.

9. Информационно-технологическое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине

Информационные технологии

1. Персональные компьютеры.
2. Доступ к сети «Интернет».
3. Проектор.

Программное обеспечение

1. Microsoft Office (Word, Excel).
2. Acrobat Reader.
3. PowerPoint
4. Windows Media

10. Материально-техническое обеспечение образовательного процесса по учебной дисциплине

Материально-техническая база ФАУ «ЦАГИ» обеспечивает проведение всех видов занятий, предусмотренных учебным планом, и соответствует действующим санитарным и противопожарным правилам и нормам.

Для изучения учебной дисциплины **«Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов»** в рамках реализации основной профессиональной образовательной подготовки по группе научной специальности **2.5 «Машиностроение»** используются:

- учебная аудитория для занятий лекционного типа, оснащенная специализированной мебелью (стол для преподавателя, парты, стулья, доска для написания мелом и маркером); техническими средствами обучения (видеопроекционное оборудование, средства звуковоспроизведения, экран);

- учебная аудитория для занятий практического типа, оснащенная специализированной мебелью (стол для преподавателя, парты, стулья, доска для написания мелом); техническими средствами обучения (видеопроекционное оборудование, средства звуковоспроизведения, экран);

- помещения для самостоятельной работы обучающихся, оснащенные специализированной мебелью (парты, стулья), техническими средствами

обучения (персональные компьютеры с доступом в электронно-информационную среду ФАУ «ЦАГИ», программным обеспечением).

11. Образовательные технологии

Для реализации учебного материала преподаватель может применять разнообразные педагогические технологии (технологии актуализации процесса обучения; построения обогащенной образовательной среды; личностно-ориентированного обучения; развития критического мышления; программированного обучения; информационные технологии и проч.), направленные на достижение целей обучения.

Изложение теоретического материала должно сопровождаться иллюстративными примерами, тщательно отобранными преподавателем. Следует всегда указывать примеры практического применения рассмотренных на занятиях теоретических вопросов.

Практические занятия должны быть организованы преподавателем таким образом, чтобы оставалось время на периодическое выполнение аспирантами небольшой самостоятельной работы в аудитории для проверки усвоения изложенного материала.

Преподавателю следует добиваться систематической непрерывной работы аспирантов в течение семестра.

Аспирант должен ощущать заинтересованность преподавателя в достижении конечного результата: в приобретении обучающимися прочных знаний, умений и владения накопленной информацией для решения задач в профессиональной деятельности.

Необходимо с самого начала занятий рекомендовать аспирантам основную и дополнительную литературу, а в конце семестра дать список вопросов для подготовки к зачету/экзамену.

При организации обучения по дисциплине преподаватель должен обратить особое внимание на организацию семинарских и практических занятий и самостоятельной работы аспирантов, поскольку курс предполагает широкое использование интерактивных методов обучения.

При реализации дисциплины используются следующие *интерактивные* формы проведения занятий:

- проблемная лекция,
- презентации с возможностью использования различных вспомогательных средств;
- круглый стол (дискуссия).

Проблемная лекция – учебная проблема ставится преподавателем до лекции и должна разворачиваться на лекции в живой речи преподавателя, так как проблемная лекция предполагает диалогическое изложение материала. С помощью соответствующих методических приемов (постановка проблемных и информационных вопросов, выдвижение многообразных гипотез и нахождение тех или иных путей их подтверждения или опровержения), преподава-

тель побуждает аспирантов к совместному размышлению и дискуссии, хотя индивидуальное восприятие проблемы вызывает различия и в ее формулировании. Чем выше степень диалогичности лекции, тем больше она приближается к проблемной и тем выше ее ориентирующий, обучающий и воспитывающий эффекты, а также формирование мотивов нравственных и познавательных потребностей.

Презентации – документ или комплект документов, предназначенный для представления чего-либо (организации, проекта, продукта и т.п.). Цель презентации – донести до целевой аудитории полноценную информацию об объекте презентации в удобной форме.

Презентация может представлять собой сочетание текста, компьютерной анимации, графики, видео, музыки и звукового ряда (но не обязательно все вместе), которые организованы в единую среду. Кроме того, презентация имеет сюжет, сценарий и структуру, организованную для удобного восприятия информации. Отличительной особенностью презентации является ее интерактивность, то есть создаваемая для пользователя возможность взаимодействия через элементы управления.

Основная цель презентации помочь донести требуемую информацию об объекте презентации.

Дискуссия, как особая форма всестороннего обсуждения спорного вопроса в публичном собрании, в частной беседе, реализуется как коллективное обсуждение какого-либо вопроса, проблемы или сопоставление информации, идей, мнений, предложений.

Целью проведения дискуссии в этом случае является обучение, тренинг, изменение установок, стимулирование творчества и др.

В проведении дискуссии используются различные организационные методики:

- методика «вопрос-ответ» – является разновидностью простого собеседования; отличие состоит в том, что применяется определенная форма постановки вопросов для собеседования с участниками дискуссии-диалога;

- методика «лабиринта» или метод последовательного обсуждения – своеобразная шаговая процедура, в которой каждый последующий шаг делается другим участником. Обсуждению подлежат все решения, даже неверные (тупиковые);

- методика «эстафеты» – каждый заканчивающий выступление участник передает слово тому, кому считает нужным.

12. Аннотация рабочей программы учебной дисциплины

Дисциплина «Динамика, баллистика, управление движением летательных аппаратов» является обязательной для освоения по группе научной специальности **2.5 «Машиностроение»** подготовки в аспирантуре.

Основной целью изучения дисциплины является формирование у аспирантов профессиональных компетенций, связанных с использованием современных теоретических концепций и новейших методов исследования в области динамики и управления полетом летательных аппаратов различных классов.

Структура дисциплины организована в соответствии с основной целью освоения данного курса.

Рабочая программа дисциплины содержит все необходимые положения и полностью удовлетворяет нормам организации педагогического процесса, предусмотренным Федеральными государственными требованиями.

Лист регистрации изменений

№ п/п	Содержание изменения	Реквизиты доку- мента об утвержде- нии изменения	Дата введения изменения
	Утверждена и введена в действие решением _____ на основании Федерального государственного требования, приказ Министерства науки и высшего образования РФ от 20 октября 2021 г. N 951	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	____.____.____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	____.____.____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	____.____.____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	____.____.____
	*	Протокол заседания № _____ от «___» сентября 20__ года	____.____.____