

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

УТВЕРЖДЕНО
Директор физтех-школы
аэрокосмических технологий
С.С. Негодяев

	Рабочая программа дисциплины (модуля)
по дисциплине:	Полунатурное моделирование и виртуальная реальность
по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	1
квалификация:	магистр

Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен

Аудиторных часов: 30 всего, в том числе:

лекции: 30 час.

семинары: 0 час.

лабораторные занятия: 0 час.

Самостоятельная работа: 30 час.

Подготовка к экзамену: 30 час.

Всего часов: 90, всего зач. ед.: 2

Программу составил: Ю.П. Яшин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

Программа обсуждена на заседании кафедры аэрофизики и летательных аппаратов 04.03.2025

Аннотация

Дисциплина "Полунатурное моделирование и виртуальная реальность" направлена на изучение студентами теоретических основ, физических методов и технических средств полунатурного моделирования полета летательных аппаратов (ЛА) и других подвижных объектов в наземных условиях, методов виртуальной реальности, методики исследования характеристик устойчивости, управляемости и систем управления ЛА на пилотажных стендах с участием летчиков.

1. Цели и задачи

Цель дисциплины

- изучение студентами теоретических основ, физических методов и технических средств полунатурного моделирования полета летательных аппаратов (ЛА) и других подвижных объектов в наземных условиях, методов виртуальной реальности, методики исследования характеристик устойчивости, управляемости и систем управления ЛА на пилотажных стендах с участием летчиков.

Задачи дисциплины

- формирование базовых знаний в области полунатурного моделирования полета как дисциплины, интегрирующей общефизическую и общетеоретическую подготовку физиков, знания в области теории регулирования, инженерной психологии, измерительных систем и др.;
- обучение студентов принципам создания математических моделей ЛА и их систем для различных видов исследований, типов ЛА, режимов полета, задач пилотирования и т.д.
- освоение студентами типовых элементов и задач пилотирования как основы для оценки характеристик устойчивости и управляемости ЛА;
- ознакомление студентов с методами проведения экспериментов на пилотажных стендах, методикой оценки характеристик устойчивости и управляемости на основе субъективного мнения летчика и данных объективных измерений качества пилотирования;
- формирование подходов к выполнению исследований студентами в области динамики и систем управления ЛА в рамках выпускных работ на степень магистра.

2. Перечень формируемых компетенций

Освоение дисциплины направлено на формирование следующих компетенций:

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов

анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий

ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

3. Перечень планируемых результатов обучения по дисциплине (модулю)

В результате освоения дисциплины обучающиеся должны

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании (пилотажные стенды);
- математическим моделированием физических задач.

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	Сущность и структура модельного эксперимента. Использование метода полунатурного моделирования	1			
2	Математические модели движения динамических объектов	1			
3	Свойства человека как звена системы «человек-машина», законы восприятия человеком информации	1			
4	Основные свойства зрительного анализатора человека и его характеристики	1			2
5	Устройства отображения информации систем визуализации	1			2

6	Визуализация для моделирования задач целевого применения	1			2
7	Законы восприятия человеком перегрузок и угловых ускорений	1			2
8	Влияние больших перегрузок на физиологическое состояние летчика	1			3
9	Способы повышения работоспособности летчика	2			2
10	Воспроизведение перегрузок и угловых ускорений на пилотажных стендах с подвижной кабиной	2			2
11	Механизмы подвижности синергетического типа	2			
12	Роль усилий на рычагах управления в управляемости ЛА, сравнение различных типов рычагов управления	2			
13	Технология виртуальной реальности, её использование при полунатурном моделировании систем	2			
14	Методика исследования характеристик устойчивости, управляемости и систем управления с участием летчиков	2			
15	Шкалы пилотажных оценок	2			
16	Методы статистической обработки результатов экспериментов	2			
17	Исследования свойств системы «самолет-летчик» с использованием модели лётчика	2			
18	Методы и средства исследования систем управления	2			15
19	Особенности моделирования критических режимов полета	2			
Итого часов		30			30
Подготовка к экзамену		30 час.			
Общая трудоёмкость		90 час., 2 зач.ед.			

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

Семестр: 1 (Осенний)

1. Сущность и структура модельного эксперимента. Использование метода полунатурного моделирования

Сущность и структура модельного эксперимента. Использование метода полунатурного моделирования и виртуальной реальности в задачах моделирования полета и управления движением различных динамических объектов и систем «человек-машина».

2. Математические модели движения динамических объектов

Математические модели движения динамических объектов, их построение и методы решения на цифровых и аналоговых вычислительных устройствах.

3. Свойства человека как звена системы «человек-машина», законы восприятия человеком информации

Свойства человека как звена системы «человек-машина», законы восприятия человеком информации, используемой в задачах управления динамическими объектами. Основной психофизический закон Вебера-Фехнера, формула Стивенса

4. Основные свойства зрительного анализатора человека и его характеристики

Основные свойства зрительного анализатора человека и его характеристики. Требования к системам визуализации, основы построения систем визуализации, использующих различные физические принципы, законы формирования изображения,

5. Устройства отображения информации систем визуализации

Устройства отображения информации систем визуализации, коллимационные системы, стереоскопические системы

6. Визуализация для моделирования задач целевого применения

Системы визуализации для моделирования задач целевого применения

7. Законы восприятия человеком перегрузок и угловых ускорений

Законы восприятия человеком перегрузок и угловых ускорений, теоретический подход ЦАГИ и критерии оценки их влияния на пилотирование.

8. Влияние больших перегрузок на физиологическое состояние летчика

Влияние больших перегрузок на физиологическое состояние летчика и динамику системы «самолет-летчик». Методы исследования деятельности человека при больших перегрузках

9. Способы повышения работоспособности летчика

Способы повышения работоспособности летчика в условиях действия больших перегрузок

10. Воспроизведение перегрузок и угловых ускорений на пилотажных стендах с подвижной кабиной

Воспроизведение перегрузок и угловых ускорений на пилотажных стендах с подвижной кабиной. Основные методы моделирования перегрузок и угловых ускорений. Законы управления механизмом подвижности по различным степеням свободы, критерии оценки качества моделирования ускорений

11. Механизмы подвижности синергетического типа

Механизмы подвижности синергетического типа, законы их управления, обеспечение геометрической безопасности.

12. Роль усилий на рычагах управления в управляемости ЛА, сравнение различных типов рычагов управления

Роль усилий на рычагах управления в управляемости ЛА, сравнение различных типов рычагов управления по различным критериям. Теоретический подход ЦАГИ к выбору оптимальных характеристик загрузки и чувствительности управления для различных типов рычагов. Моделирование усилий на рычагах управления. Активные рычаги управления

13. Технология виртуальной реальности, её использование при полунатурном моделировании систем

Технология виртуальной реальности, её использование при полунатурном моделировании систем «человек-машина». Построение систем виртуальной реальности. Возможные иллюзии в системах виртуальной реальности.

14. Методика исследования характеристик устойчивости, управляемости и систем управления с участием летчиков

Методика исследования характеристик устойчивости, управляемости и систем управления с участием летчиков. Типовые задачи пилотирования для исследования полёта в обычных условиях, сложных условиях и в особых ситуациях.

15. Шкалы пилотажных оценок

Шкалы пилотажных оценок, принципы их построения и методика использования

16. Методы статистической обработки результатов экспериментов

Методы статистической обработки результатов экспериментов, законы распределения, критерии значимости, доверительные интервалы, факторный анализ.

17. Исследования свойств системы «самолет-летчик» с использованием модели лётчика

Исследования свойств системы «самолет-летчик» с использованием модели лётчика. Методы идентификации модели действий лётчика: метод самонастраивающейся модели, определение описывающей функции лётчика спектральными методами

18. Методы и средства исследования систем управления

Методы и средства исследования систем управления и их элементов в задачах пилотирования

19. Особенности моделирования критических режимов полета

Особенности моделирования критических режимов полета на пилотажных стендах.

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

учебная аудитория, оснащенная компьютером и мультимедийным оборудованием (проектор, звуковая система).

6.Перечень рекомендуемой литературы

Основная литература

1. В скафандре - над планетой ! [Текст], [сборник статей о летчиках-космонавтах П. И. Беляеве и А. А. Леонове]/под ред. В. Комолова, -М., Новости, 1965
2. Аэродинамика самолета : Динамика продольного и бокового движения [Текст]/Г. С. Бюшгенс, Р. В. Студнев, -М., Машиностроение, 1979

Дополнительная литература

1. Инженерная психология [Текст], сборник статей/под ред. Д. Ю. Панова, В. П. Зинченко , -М., Прогресс, 1964
2. Человек как звено следящей системы [Текст]/И. Е. Цибулевский, -М., Наука, 1981

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

Материалы научных конференций по моделированию полета (AIAA Conf.: AFM, MST et.c.), журналы (Aviation Week, National Defence, AIAA J. of Guidance, Control, and Dynamics), доступные через Internet научные и научно-технические журналы.

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, 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 экзамену.

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)

по направлению:	Прикладные математика и физика
профиль подготовки:	Авиационные технологии Физтех-школа авиационных и цифровых технологий кафедра аэрофизики и летательных аппаратов
курс:	<u>1</u>
квалификация:	магистр
Семестр, формы промежуточной аттестации: 1 (осенний) - Экзамен	
Разработчик:	Ю.П. Яшин, канд. техн. наук, старший научный сотрудник

1. Компетенции, формируемые в процессе изучения дисциплины

Код и наименование компетенции	Индикаторы достижения компетенции
ОПК-1 Владеет системой фундаментальных научных знаний в области физико-математических наук	ОПК-1.1 Знает и способен использовать в профессиональной деятельности фундаментальные научные знания в области физико-математических наук
	ОПК-1.2 Способен обобщать и критически оценивать опыт и результаты научных исследований в области профессиональной деятельности
	ОПК-1.3 Понимает междисциплинарные связи в области математики и физики и способен их применять при решении задач профессиональной деятельности
ОПК-2 Имеет представление об актуальных проблемах науки и техники в области своей профессиональной деятельности, способен на научном языке формулировать профессиональные задачи	ОПК-2.3 Владеет профессиональной терминологией, используемой в современной научно-технической литературе, обладает навыками устного и письменного изложения результатов научной деятельности в рамках профессиональной коммуникации
	ОПК-2.1 Имеет представление о современном состоянии исследований в рамках тематической области своей профессиональной деятельности
	ОПК-2.2 Способен оценивать актуальность исследований в области своей профессиональной деятельности и их практическую значимость
ОПК-4 Способен успешно реализовывать решение поставленной задачи, провести анализ результата и представить выводы, применяя знания и навыки в области физико-математических наук и информационно-коммуникационных технологий	ОПК-4.2 Способен применять знания в области физико-математических наук для решения поставленной задачи, формулирования выводов и оценки полученных результатов
	ОПК-4.1 Способен применять знания и навыки по использованию информационно-коммуникационных технологий для поиска и изучения научной литературы, применения прикладных программных продуктов
	ОПК-4.3 Способен аргументировано выбирать способ проведения научного исследования

2. Показатели оценивания компетенций

В результате изучения дисциплины «Полунатурное моделирование и виртуальная реальность» обучающийся должен:

знать:

- место и роль общих вопросов науки в научных исследованиях;
- современные проблемы физики, химии, математики;
- теоретические модели фундаментальных процессов и явлений в физике и ее приложениях;
- принципы симметрии и законы сохранения;
- новейшие открытия естествознания;
- постановку проблем физико-химического моделирования;
- о взаимосвязях и фундаментальном единстве естественных наук.

уметь:

- эффективно использовать на практике теоретические компоненты науки: понятия, суждения, умозаключения, законы;
- представить панораму универсальных методов и законов современного естествознания;
- работать на современном экспериментальном оборудовании;
- абстрагироваться от несущественных влияний при моделировании реальных физических ситуаций;
- планировать оптимальное проведение эксперимента.

владеть:

- планированием, постановкой и обработкой результатов физического эксперимента;
- научной картиной мира;
- навыками самостоятельной работы в лаборатории на современном экспериментальном оборудовании (пилотажные стенды);
- математическим моделированием физических задач.

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

- 1) Основные принципы воспроизведения перегрузок и угловых ускорений на пилотажных стендах с подвижной кабиной.
- 2) Фильтры высоких и низких частот, их применение в системах подвижности
- 3) Управление механизмом подвижности кабины в зависимых и независимых степенях свободы.
- 4) Конструкции механизмов подвижности кабины, условия их геометрической безопасности.
- 5) Законы управления механизмом подвижности кабины синергетического типа
- 6) Роль усилий на рычагах управления и их перемещений в управляемости ЛА. Критерии ЦАГИ для выбора оптимальной чувствительности управления и характеристик загрузки рычагов управления.
- 7) Методы и средства воспроизведения усилий на рычагах управления ЛА. Активные системы загрузки рычагов.
- 8) Технология виртуальной реальности, её использование при полунатурном моделировании систем «человек-машина». Построение систем виртуальной реальности. Возможные иллюзии в системах виртуальной реальности.
- 9) Методы и средства исследования и отработки элементов систем управления.
- 10) Типовые режимы полета и задачи пилотирования для оценки характеристик устойчивости и управляемости самолетов.
- 11) Методы оценки характеристик управляемости ЛА в задачах пилотирования .
- 12) Шкалы пилотажных оценок, принципы их построения, методика использования шкал для оценки характеристик управляемости ЛА.
- 13) Методы исследования свойств летчика как звена системы управления (самонастраивающаяся модель летчика, определение модели летчика спектральными

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

- 1) Сущность метода моделирования. Состав пилотажного стенда для моделирования полета с участием летчиков.
- 2) Цифровые и аналоговые вычислительные устройства, их использование в системах управления ЛА и при моделировании движения ЛА в реальном масштабе времени.
- 3) Решение на АВМ систем дифференциальных уравнений, методы повышения точности решения задач на АВМ.
- 4) Общие характеристики сенсорных систем человека, основной психофизический закон Вебера-Фехнера, формула Стивенса.
- 5) Основные свойства и количественные характеристики зрительного анализатора (зрительные зоны, разрешающая способность, временные характеристики, пороги чувствительности).
- 6) Геометрические законы отображения объектов предметного пространства в системах визуализации.
- 7) Требования к системам визуализации для различных задач пилотирования.
- 8) Примеры построения систем визуализации: теневые системы с макетом отображаемых объектов, системы с синтезом изображения.
- 9) Способы и устройства отображения информации в системах визуализации.
- 10) Коллимационные устройства системы визуализации: центральные коллиматоры, коллиматоры со светоделительным стеклом, нецентральные коллиматоры, wide-проекторы, стереоскопические системы
- 11) Системы визуализации для моделирования задач целевого применения: проекторы “земля-небо”, проекторы цели, лазерные проекторы.

12) Восприятие человеком перегрузок и угловых ускорений ЛА, роль различных анализаторов в процессе их восприятия.

13) Влияние перегрузок и угловых ускорений на пилотирование. Причины положительного и отрицательного влияния перегрузок и угловых ускорений, теоретический подход ЦАГИ к оценке их влияния на пилотирование.

Билет 1

1) Диаграмма возможных значений полетных перегрузок. Моделирование больших перегрузок на центрифуге.

Билет 2

2) Влияние больших перегрузок на работоспособность летчика и динамику системы “самолет-летчик”, методы и средства повышения работоспособности летчика.

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 экзамена обучающиеся могут пользоваться программой дисциплины, а также справочной литературой, вычислительной техникой.

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