

Государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Московской области

МЕЖДУНАРОДНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ ПРИРОДЫ, ОБЩЕСТВА  
И ЧЕЛОВЕКА «ДУБНА»  
(университет «Дубна»)

Факультет естественных и инженерных наук

Кафедра «Энергия и окружающая среда»

УТВЕРЖДАЮ

И.о. проректора по учебно-методической и научной работе

\_\_\_\_\_ С. В. Моржухина

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

## ПРОГРАММА ДИСЦИПЛИНЫ

**«Динамика полета»**

Направление подготовки  
160100.62 «Авиастроение»

Профиль подготовки  
«Самолетостроение»

Квалификация выпускника  
Бакалавр

Форма обучения  
очная

г. Дубна, 2014 г.

Программа составлена в соответствии с ФГОС ВПО с учетом рекомендациями ПрООП ВПО по направлению и профилю подготовки бакалавров 160100.62 «Авиастроение».

Программа рассмотрена на заседании кафедры Энергия и окружающая среда

Протокол заседания № \_\_\_\_\_ от « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ г.

И.о. заведующего кафедрой \_\_\_\_\_ /Деникин А.С./

СОГЛАСОВАНО

Декан факультета \_\_\_\_\_ /Деникин А.С./

Рецензент: \_\_\_\_\_  
(ученая степень, ученое звание, Ф.И.О., место работы, должность)

Руководитель библиотечной системы \_\_\_\_\_ /В.Г. Черепанова/

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>1. Цели и задачи освоения дисциплины.....</b>	<b>4</b>
<b>2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата.....</b>	<b>4</b>
<b>3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.....</b>	<b>4</b>
<b>4. Содержание и структура дисциплины .....</b>	<b>5</b>
4.1. Структура дисциплины .....	5
4.2. Содержание разделов дисциплины .....	6
4.3. Лекции.....	6
4.4. Практические занятия (семинары).....	8
4.5. Домашние работы.....	8
4.6. Контрольные работы .....	9
<b>5. Образовательные технологии .....</b>	<b>9</b>
5.1. Методические рекомендации для студентов: .....	9
5.2. Методические рекомендации для преподавателей: .....	10
<b>6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации.....</b>	<b>12</b>
6.1. Контрольные вопросы по отдельным темам для проведения контрольных опросов, контрольных работ, курсовой работы и экзамена.....	13
6.2. Правила оформления экзаменационного билета для проведения экзамена: .....	14
<b>7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины.....</b>	<b>15</b>
7.1. Основная литература.....	15
7.2. Дополнительная литература.....	15
7.3. Интернет-ресурсы .....	16
<b>8. Материально-техническое обеспечение дисциплины.....</b>	<b>16</b>

## **1. Цели и задачи освоения дисциплины**

Основная цель данного курса состоит в том, чтобы познакомить студентов с теоретическими основами дисциплины «Динамика полета», ее местом и ролью в процессе проектирования летательных аппаратов. Студенты должны изучить основные подходы к формированию траекторий полета ЛА и принципы построения систем автоматического управления ЛА, получить практические навыки траекторного расчета, освоить методы исследования устойчивости и качества систем управления ЛА.

## **2. Место дисциплины в структуре ООП бакалавриата**

Дисциплина «Динамика полета» изучается на 3 курсе в 6 семестре.

Преподавание дисциплины основано на изученных ранее курсах высшей математики, механики, теории автоматического регулирования, гидроаэродинамики.

После изучения курса «Динамика полета» студент сможет применять полученные знания для расчетов траекторий полета ЛА и построения систем автоматического управления ЛА, а также освоить методы исследования устойчивости и качества систем управления ЛА.

Материалы курса является важной составляющей при работе над подготовкой выпускной квалификационной работы.

## **3. Требования к уровню освоения содержания дисциплины.**

Изучение дисциплины «Динамика полета» направлено на формирование у студентов следующих компетенций:

- владеть культурой мышления, способностью обобщать, анализировать и воспринимать информации, ставить цели и выбирать пути их достижения (ОК-1);
- способностью логически верно строить устную и письменную речь (ОК-2);
- готовностью к самостоятельной, индивидуальной работе, принятию решений в рамках своей профессиональной компетенции (ОК-7);
- готовностью к решению сложных инженерных задач с использованием базы знаний математических и естественнонаучных дисциплин (ПК-1);
- владеть навыками получать, собирать, систематизировать и проводить анализ исходной информации для разработки конструкций летательных аппаратов и их систем (ПК-2);
- способностью освоить и использовать передовой опыт авиастроения и смежных областей техники в разработке авиационных конструкций (ПК-3).
- способностью выполнить техническое и технико-экономическое обоснование принимаемых проектно-конструкторских решений, владеть методами технической экспертизы проекта (ПК-4);
- готовностью разрабатывать конструкции изделий летательных аппаратов и их систем в соответствии с техническим заданием на основе системного подхода к проектированию авиационных конструкций (ПК-5);
- владеть методами и имеет навыки моделирования и создания авиационных конструкций на основе современных информационных технологий с использованием средств автоматизации проектно-конструкторских работ (ПК-6);
- готовностью к участию в составлении отчетов по выполненному заданию (ЭИ-4).

В результате изучения дисциплины «Динамика полета» студент должен:

<i>Результат обучения</i>	<i>Компетенция</i>	<i>Образовательная технология</i>	<i>Вид задания</i>
<b>Знать:</b> – базовые понятия дисциплины; – основные летно-технические характеристики и характеристики устойчивости и управляемости ЛА; – основные методы анализа летно-технических характеристик ЛА; – уравнения движения ЛА и методы моделирования динамики и траекторий полета ЛА; – системы автоматического управления ЛА и БЛА;	ОК-1, ОК-7, ПК-1, ПК-2, ПК-3	Л1-17, С1-17	Д1-17, КнР1,2, КР
<b>Уметь:</b> рассчитать летно-технические характеристики, характеристики устойчивости и управляемости ЛА;	ОК-2, ОК-1, ОК-7, ПК-1, ПК-2, ПК-4, ПК-5	Л4,5,7-10,14,15,17, С2,6,7,9,14	Д1-17, КнР1,2, КР
<b>Приобрести опыт деятельности:</b> использования вычислительной техники при моделировании полета ВС	ОК-1, ОК-7, ПК-1, ПК-2, ПК-4, ПК-5, ПК-6	Л3,4, С3	Д1-17, КнР1,2, КР
<b>Владеть, иметь представление:</b> об использовании прикладных программ для решения задач динамики конкретных воздушных судов ГА; о методе моделирования в проектировании систем управления ЛА;	ОК-1, ОК-7, ПК-3, ПК-4, ПК-6	Л3,4, С3,15,16	Д1-17, КнР1,2, КР
<b>Иметь навыки</b> оформления отчетов и публичной защиты по результатам расчетов свойств, характеристик и параметров систем ЛА	ОК-2, ПК-4, ЭИ-4	Л1	Д11-17, КР

#### 4. Содержание и структура дисциплины

##### 4.1. Структура дисциплины

Общая трудоемкость дисциплины составляет 5 ЗЕТ, 180 часов.

Вид работы		
	6 семестр	Всего
<b>Общая трудоемкость</b>	<b>180</b>	<b>180</b>
<b>Аудиторная работа:</b>	<b>68</b>	<b>68</b>
<i>Лекции (Л)</i>	17	17
<i>Практические семинарские занятия (ПЗ)</i>	51	51
<i>Лабораторные работы (ЛР)</i>	–	–
<b>Самостоятельная работа</b>	<b>58</b>	<b>58</b>
<i>Самоподготовка (проработка и повторение лекционного материала и материала учебников, учебных пособий, подготовка к лабораторным и практическим занятиям, коллоквиумам, рубежному контролю и т.п.)</i>		
Курсовой проект, курсовая работа		
Расчетно-графическое задание	–	–
Реферат	–	–
Эссе	–	–
Самостоятельное изучение разделов	–	–

Подготовка и сдача экзамена	<b>54</b>	<b>54</b>
<b>Вид промежуточного контроля</b>	Экзамен	Экзамен

#### 4.2. Содержание разделов дисциплины

№ п/п	Наименование разделов и подразделов	Неделя				Формы текущего контроля успеваемости (по неделям семестра) <sup>1</sup>
			Л	ПЗ	СР	Форма промежуточной аттестации (по семестрам)
			17	51	58	Экзамен, курсовая работа – 6 семестр
<b>6 семестр</b>						
1.	Введение в дисциплину	1-3	3		2	КО
2.	Основы теории систем управления	4-5	2	6	4	КО
3.	Уравнения движения ЛА.	6-9	4	16	8	КО, КнР№1-2
4.	Методы расчета траектории полета ЛА.	10	1		2	КО
5.	Системы автоматического управления БЛА.	11	1	5	2	КО, КР
6.	Автоматическое управление движением ЛА относительно центра масс.	12-16	5	18	9	КО, КнР№3, КР
7.	Метод моделирования в проектировании систем управления ЛА.	17	1	6	4	КО, КР
8.					27	Курсовой проект
9.					54	Экзамен

#### 4.3. Лекции.

№	№ раздела дисциплины	Наименование лекции	Кол. часов
<b>6 семестр</b>			
1.	1	Введение в курс «Динамика полета», календарный план занятий, форма отчетности и требования к оформлению КР. Аэростатический и аэродинамический способы полета. Аэростаты. Летательные аппараты (ЛА) тяжелее воздуха. Ракеты. Реактивные летательные аппараты.	1
2.	1	Динамика полета как научная дисциплина и как специальность. Современное содержание динамики полета. Классификация летательных аппаратов. Беспилотные летательные аппараты (БЛА). Функциональная схема БЛА. Тактико-технические характеристики БЛА. Техническое задание на разработку БЛА.	1
3.	1	Система автоматического управления (САУ) ЛА. Задачи, решаемые САУ: навигация, управление движением центра масс и относительно центра масс, наведение. Системы самонаведения и теленаведения.	1

<sup>1</sup> Формы текущего контроля: защита лабораторной работы (ЛР), выполнение курсового проекта (КП), курсовой работы (КР), расчетно-графического задания (РГЗ), домашнего задания (ДЗ), написание реферата (Р), эссе (Э), коллоквиум (К), рубежный контроль (РК), тестирование (Т), контрольная работа (КнР), контрольный опрос (КО) и др.

		Роль математики и вычислительной техники в проектировании систем управления ЛА. Бортовые вычислительные машины.	
4.	2	Управление в технических системах. Принципы управления. Жесткое управление. Регулирование. Настройка. Структура САУ. Информация и управление. Математические модели систем управления. Типы преобразований: функция, функционал, оператор. Звено. Статическая характеристика звена. Линеаризация.	1
5.	2	Линейные системы автоматического управления. Динамические характеристики линейных систем. Элементарные звенья. Звено запаздывания. Устойчивость. Устойчивость равновесия. Устойчивость по Ляпунову. Критерии устойчивости. Критерий устойчивости Найквиста. Запасы устойчивости. Определение устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам.	1
6.	3	Принципы составления уравнений движения. Уравнения движения твердого тела. Тело переменного состава. Принцип «отвердевания».	1
7.	3	Уравнения движения ЛА. Управляемый полет. Траектория полета ЛА. Системы координат. Главные центральные оси инерции и главные центральные моменты инерции. Пространственная система уравнений движения ЛА.	1
8.	3	Продольное движение ЛА. Стандартная атмосфера. Силы, действующие на ЛА в продольном движении. Уравнения продольного движения.	1
9.	3	Боковое движение ЛА. Маневр ЛА в горизонтальной плоскости. Балансировка. Аэродинамическая схема. Маневренные характеристики. Перегрузка.	1
10.	4	Движение ЛА в пустоте. Закон Мещерского. I и II задачи Циолковского. Методы расчета траектории полета ЛА в атмосфере. Типы траекторий. Схематические траектории. Деление траекторий на участки. Расчет траектории горизонтального полета.	1
11.	5	Структурная схема системы управления БЛА. Элементы системы управления. Датчики. Усилители. Рулевой привод. Гидропривод. Математическая модель гидравлического рулевого привода. Релейный рулевой привод. Структурная схема и математическая модель релейного рулевого привода.	1
12.	6	Синтез системы управления в каналах тангажа и курса. Уравнение движения относительно центра масс и их линеаризация. Динамические коэффициенты.	1
13.	6	Летательный аппарат как объект управления. Система автоматического управления продольным движением ЛА. Передаточная функция контура управления в каналах тангажа.	1
14.	6	Области устойчивости. Метод D-разбиения. Построение области устойчивости в плоскости двух параметров.	1
15.	6	Математическая модель контура управления движением относительно продольной оси ЛА и D-разбиения в плоскости передаточных чисел.	1
16.	6	Устойчивость ЛА с учетом его упругости и колебаний жидкости в баках. Поведение системы управления ЛА при больших возмущениях. Самонастраивающиеся системы управления.	1
17.	7	Математическая модель и математическое моделирование системы управления. Структурная схема математической модели.	1

		Комплекс полунатурного моделирования. Проведение полунатурного моделирования: методология, этапность, интерпретация результатов.	
--	--	--	--

#### 4.4. Практические занятия (семинары).

№	№ раздела дисциплины	Наименование практических занятий (семинаров)	Кол. часов
<b>6 семестр</b>			
1.	2	Логарифмическая форма критерия Найквиста.	3
2.	2	Определение запасов устойчивости контура стабилизации по крену	3
3.	3	Методы численного интегрирования уравнений движения.	3
4.	3	1 и 2 задачи Циолковского. Контрольная работа № 1.	3
5.	3	Методы расчета траекторий. Деление траекторий на участки	3
6.	3	Схема расчета горизонтального полета.	3
7.	3	Определение параметров многоступенчатых ракет.	3
8.	3	Контрольная работа № 2.	3
9.	6	Построение областей устойчивости в плоскости передаточных чисел	3
10.	6	Автопилотное демпфирование	3
11.	6	Анализ устойчивости контура стабилизации.	3
12.	6	Стабилизация в канале крена по критерию Найквиста.	3
13.	6	Стабилизация в канале крена по логарифмическим частотным характеристикам	3
14.	6	Определение запасов устойчивости. Контрольная работа № 3.	3
15.	7	Выездное занятие в лаборатории полунатурного моделирования ГосМКБ «Радуга»	3
16.	7	Выездное занятие в лаборатории полунатурного моделирования ГосМКБ «Радуга»	3
17.	5	Выездное занятие в музее беспилотных летательных аппаратов. Защита курсовых работ.	3

#### 4.5. Домашние работы

№	Тема задания	неделя
<b>6 семестр</b>		
Д1.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и доп. литературы [3] Глава 1,2.	1
Д2.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и доп. литературы [1] Глава 5.	2
Д3.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и доп. литературы [1] Глава 4.	3
Д4.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [3] Глава 6.	4
Д5.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 6.	5
Д6.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 6.	6
Д7.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 6. и доп. литературы [1] Раздел 7.	7
Д8.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 6. [3] Глава 7.	8
Д9.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции	9
Д10.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 7.	10



Д11.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 7. Выполнение курсовой работы.	11
Д12.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 8. Выполнение курсовой работы.	12
Д13.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [2] Глава 11. Выполнение курсовой работы.	13
Д14.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 10. Выполнение курсовой работы.	14
Д15.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 10. [2] Глава 13. Выполнение курсовой работы.	15
Д16.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции и литературы [1] Глава 10. Выполнение курсовой работы.	16
Д17.	Завершение выполнения аудиторного практического задания. Изучение материалов лекции. Подготовка к защите курсовой работы.	17

#### 4.6. Контрольные работы

№	Тема работы	Неделя
КР1	Расчет вертикального подъема ракеты.	4 неделя
КР2	Расчет горизонтального полета ЛА в атмосфере.	8 неделя
КР3	Определение параметров контура стабилизации в канале крена с заданными запасами устойчивости.	14 неделя

## 5. Образовательные технологии

### 5.1. Методические рекомендации для студентов:

Рабочей программой настоящей дисциплины предусмотрена самостоятельная работа студентов. Самостоятельная работа проводится с целью углубления знаний по дисциплине и предусматривает:

- чтение студентами рекомендованной литературы и усвоение теоретического материала дисциплины;
- подготовку к практическим занятиям;
- работу с Интернет-источниками;
- подготовку к сдаче зачета.

Планирование времени на самостоятельную работу, необходимого на изучение настоящей дисциплины, студентам лучше всего осуществлять на весь семестр, предусматривая при этом регулярное повторение пройденного материала. Материал, законспектированный на лекциях, необходимо регулярно дополнять сведениями из литературных источников, представленных в рабочей настоящей программе дисциплины. По каждой из тем для самостоятельного изучения, приведенных в рабочей программе дисциплины следует сначала прочитать рекомендованную литературу и при необходимости составить краткий конспект основных положений, терминов, сведений, требующих запоминания и являющихся основополагающими в этой теме и для освоения последующих разделов курса.

Для расширения знаний по дисциплине рекомендуется использовать Интернет-ресурсы: проводить поиск в различных системах, сайтах и обучающих программах, рекомендованных преподавателем на лекционных занятиях.

Перечень обязательных видов работы студентов:

1. Посещение лекционных и практических занятий;
2. Выполнение курсового проекта;

3. Выполнение домашних практических работ;
4. Работа с Интернет-источниками;
5. Чтение рекомендованной литературы.

Преподаватель оценивает работу студента на основании контрольного опроса в начале каждого практического занятия, а также по результатам выполнения контрольная работа. В случае неудовлетворительной оценки контрольная работа возвращается студенту для исправления и доработки, после чего снова должна быть представлена на проверку. Студенты, не выполнившие контрольные работы, не допускаются к зачетной и экзаменационной сессии.

### *5.2. Методические рекомендации для преподавателей:*

Одной из задач преподавателей, ведущих занятия по данной дисциплине является выработка у студентов осознания важности, необходимости и полезности знания дисциплины для дальнейшей работы их инженерами, специалистами. Методическая модель преподавания дисциплины основана на применении активных методов обучения.

Преподавание дисциплины ведется с применением следующих видов образовательных технологий:

**Информационные технологии:** использование электронных образовательных ресурсов при самостоятельной работе с содержанием дисциплины, а также при подготовке к лекциям и практическим занятиям.

**Работа в команде:** совместная работа студентов в группе при коллективном решении задач на практических занятиях с коллективным обсуждением алгоритмов и результатов решений.

Принципами организации учебного процесса являются:

- активное участие студентов в учебном процессе;
- проведение практических занятий, определяющих приобретение навыков решения проблемы;
- приведение примеров применения изучаемого теоретического материала к реальным практическим ситуациям.

Для более глубокого изучения предмета преподаватель предоставляет студентам информацию о возможности использования по разделам дисциплины Интернет-ресурсов, кафедральной библиотеки.

#### Виды и содержание учебных занятий

##### *Теоретические занятия (лекции).*

Теоретические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме в форме лекции-беседы. Основная направленность – вызвать у студентов мотивацию к пониманию существа рассматриваемых в лекции вопросов, а не к формальной записи ее содержания.

Структура каждой лекции следующая:

- в начале, объявляется тема очередной лекции;
- дается общая характеристика познавательных «проблем», подлежащих последующему рассмотрению в ходе лекции, акцентируется внимание на наиболее значимых из них;
- делается небольшая преамбула к очередной «проблеме», дающая основание для последующего диалога и логически подготавливающая студентов к диалогу;
- формулируется вопрос к аудитории о возможных вариантах решения поставленной «проблемы»;
- выслушиваются все варианты ответов;
- поочередно путем коллективного обсуждения оценивается правильность или целесообразность каждого из высказанных ответов и делается окончательный вывод о решении поставленной «проблемы»;
- делается небольшая преамбула к следующей «проблеме» и т.д.

Важным является доброжелательность отношения к каждому из высказанных студентами мнений независимо от степени его истинности, чтобы не погасить желание участвовать в дискуссии. В конце каждой лекции делается небольшое заключение, студентам предлагается задать вопросы и сообщается тема следующей лекции.

#### *Практические занятия.*

Практические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме по технологии работа в команде. Содержанием практических занятий является решение задач и проведение консультаций.

Организация занятий следующая:

- в начале занятия объявляется его тема, и ставятся познавательные цели;
- преподавателем демонстрируется вариант решения одной из типовых задач (при необходимости);
- студенты поочерёдно выполняют решение задачи у доски;
- в ходе демонстраций решений проводятся коллективные обсуждения, выявляются ошибки и недочеты;
- при решении задач на подбор сечений группа студентов разбивается на команды, каждая из которых проводит проверочный расчёт одного из сечений;
- преподаватель подводит итоги работы команд, оценивает степень достижения поставленных целей, объявляет тему следующего занятия.

#### *Управление самостоятельной работой студента.*

Содержанием внеаудиторной самостоятельной работы студентов является интерактивная работа с учебным материалом дисциплины по электронному комплексу лекций, по учебным пособиям.

Студент имеет полную свободу выбора траектории обучения. По каждой дидактической единице (разделу, параграфу) учебного материала предусмотрен самоконтроль с использованием рекомендованных вопросов самоконтроля, решения домашних заданий.

Итогом самостоятельной работы студента по разделу дисциплины в совокупности с работой на аудиторных занятиях является оценка по разделу.

*Таблица: Интерактивные образовательные технологии*

Семестр	Вид занятия	Используемые интерактивные образовательные технологии	Количество часов
6	лекции	Теоретические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме в форме лекции-беседы на основе мультимедиа-презентации.	17
	семинары	Практические занятия по дисциплине проводятся в интерактивном режиме по технологии работа в команде	51
Итого:			68

#### *Методика формирования экзаменационной оценки:*

“5” – «отлично»: даны все ответы на теоретические вопросы курса, что демонстрирует глубокие знания основных понятий курса. Практическая задача (при наличии) решена в полном объеме и получен верный ответ.

“4” – «хорошо»: частично даны ответы на теоретические вопросы (75% верных ответов от общего количества вопросов), что демонстрирует хорошие знания основных понятий курса. Решение практической задачи (при наличии) в целом верное, допущены незначительные неточности при получении численного результата.

“3” – «удовлетворительно»: количество верных ответов на теоретические вопросы составляет 50% от их общего количества, что демонстрирует посредственные знания основных понятий курса. Практическая задача (при наличии) решена частично, решение основано на верных принципах, однако допущены значительные неточности при формулировке законов и выполнении численных вычислений.

“2” – «неудовлетворительно»: количество верных ответов на теоретические вопросы менее 50%, данные ответы содержат принципиальные ошибки и демонстрирует низкий уровень знания основных понятий курса. Практическая задача (при наличии) решена неверно или неправильно.

*Методика формирования оценки за выполнение курсового проекта (работы):*

«отлично»: Отчет по курсовому проекту (работе) выполнен на высоком уровне. Представленный материал фактически верен, опускаются негрубые фактические неточности. Студент свободно отвечает на вопросы, связанные с темой курсового проекта. Материал изложен грамотно, доступно для предполагаемого адресата, логично и интересно. Стиль изложения соответствует задачам курсового проекта. Студент проявил инициативу, творческий подход, способность к выполнению сложных заданий. Документация представлена полностью и в срок

«хорошо»: Курсовой проект (работа) выполнена на достаточно высоком профессиональном уровне. Студент отвечает на вопросы, связанные с практикой, но недостаточно полно. Допускаются отдельные ошибки, логические и стилистические погрешности. Текст курсового проекта недостаточно логически выстроен, или обнаруживает недостаточное владение риторическими навыками. Студент достаточно полно, но без инициативы и творческих находок выполнил возложенные на него задачи в процессе прохождения практики. Документация представлена достаточно полно и в срок, но с некоторыми недоработками.

«удовлетворительно»: Уровень представленного проекта (работы) недостаточно высок. Студент может ответить, лишь на некоторые вопросы, заданные на курсовое проектирование. Курсовой проект написан несоответствующим стилем, недостаточно полно изложен материал, допущены различные речевые, стилистические и логические ошибки. Студент выполнил большую часть возложенной на него работы. Документация сдана со значительным опозданием (больше недели). Отсутствуют некоторые документы.

«неудовлетворительно»: Курсовой проект (работа) выполнен на низком уровне. Ответы на вопросы по содержанию курсового проекта обнаруживают непонимание предмета и отсутствие ориентации в материале курсового проекта. Допущены грубые орфографические, пунктуационные, стилистические и логические ошибки в курсовом проекте. Неясность и примитивность изложения делают текст трудным для восприятия. Студент практически не выполнил свои задачи или выполнил только некоторые поручения, связанные с подготовкой курсового проекта. Документация не сдана.

## **6. Оценочные средства для текущего контроля успеваемости и промежуточной аттестации**

Для контроля знаний студентов по данной дисциплине необходимо проводить текущий и промежуточный контроль.

Текущий контроль заключается в проверке домашнего задания, контрольных опросов перед началом лекции с целью определения качества усвоения пройденного лекционного материала, выполнения контрольных работ по итогам изучения разделов.

Промежуточный контроль по курсу. Для контроля усвоения данной дисциплины учебным планом предусмотрен экзамен. На экзамене студентам предлагается ответить на 2 вопроса по материалам учебной дисциплины. Ответы на поставленные вопросы даются в письменном виде с последующим устным собеседованием. Оценка по экзамену

является итоговой по курсу и проставляется в приложении к диплому. Список экзаменационных вопросов, вопросов для самостоятельной подготовки и темы курсовых работ приведены в пункте 6.1.

Пример оформления экзаменационного билета приведен в разделе 6.2.

Методические указания по оформлению курсовых работ утверждены на заседании кафедры «Энергия и окружающая среда» (см. [5] в разделе Дополнительная литература).

*6.1. Контрольные вопросы по отдельным темам для проведения контрольных опросов, контрольных работ, курсовой работы и экзамена*

*Примерные задания для контрольных работ №1-3*

Задание: Рассчитать массу полезной нагрузки, которую может вывести на орбиту Земли с высотой  $h$  одноступенчатая, двухступенчатая и трехступенчатая ракеты.

Исходные данные:

- радиус Земли –  $R_3 = 6371$  км;
- ускорение силы тяжести на поверхности Земли  $g_0 = 9.80665$  м/с<sup>2</sup>.
- высота орбиты  $h = 400$  км;
- величина удельного импульса  $P_{уд} = 2500$  м/с<sup>2</sup>;
- принять массу конструкции  $m_k = 0.1$  тт и потери скорости на сопротивление и гравитацию 15% от орбитальной скорости.

Содержание работы: определить орбитальную скорость полезной нагрузки; определить массу полезной нагрузки на орбите для:

- а) одноступенчатой ракеты;
- б) двухступенчатой ракеты;
- в) трехступенчатой ракеты,

принимая, что приращение скорости от каждой ступени одинаково.

Отчет должен содержать материалы расчета многоступенчатых ракет. Параметры ракет, полученные в результате расчета, представить в виде таблицы.

*Вопросы, выносимые на экзамен:*

1. Динамика полета как научная дисциплина. Летательные аппараты и их классификация. Аэродинамические летательные аппараты. Летно-технические характеристики.
2. Основные понятия управления: система, управление, прямая и обратная связь Управление в технике. Системы автоматического управления.
3. Автоматизированные системы управления.
4. Основные элементы управления. Принцип обратной связи. Жесткое управление, регулирование, настройка. Возмущения. Управление по отклонению.
5. Общая схема управления. Структурная схема управления.
6. Система автоматического управления беспилотным летательным аппаратом. Функциональная схема оборудования БЛА.
7. Задачи управления: навигация, управление движением центра масс, управление движением относительно центра масс, наведение.
8. Система координат Земная и связанная системы координат. Определение положения ЛА в земной системе координат. Траектория полета. Углы рыскания, тангажа и крена.
9. Уравнение движения летательного аппарата. Уравнения движения твердого тела. Принципы составления уравнений движения реактивного летательного аппарата. Главные центральные оси инерции. Полная система уравнений движения.
10. Разделение общего движения летательного аппарата на движение центра масс и вращение вокруг центра масс.

11. Продольное движение ЛА. Углы наклона траектории и атаки. Типы траекторий продольного движения. Деление траектории на участки.
12. Уравнения движения в продольной плоскости. Действующие силы:
13. аэродинамические, гравитационные, тяга двигателя. Атмосфера.
14. Уравнений бокового движения. Полет в горизонтальной плоскости.
15. Уравнение Мещерского. Первая задача Циолковского.
16. Вторая задача Циолковского.
17. Маневренность. Перегрузка. Связь перегрузки с ускорением. Акселерометр.
18. Величины поперечных перегрузок в прямолинейном полете: горизонтальный полет, набор высоты, пикирование.
19. Радиус кривизны траектории в продольном движении.
20. Продольная балансировка. Статическая устойчивость. Нормальная аэродинамическая схема и «утка».
21. Уравнения движения относительно центра масс в продольной плоскости и их линеаризация. Летательный аппарат как объект управления.
22. Система автоматического управления продольным движением летательного аппарата.
23. Области устойчивости. Метод D-разбиения. Построение области устойчивости в плоскости двух действительных параметров.
24. Демпфирование как динамическая характеристика летательного аппарата. Влияние обратной связи по угловой скорости. Датчики угловой скорости.
25. Математическая модель контура управления движением относительно центра масс в канале крена и D-разбиение в плоскости передаточных чисел.
26. Математическая модель. Математическое и полунатурное моделирование.
27. Гидравлический рулевой привод и его математическая модель.
28. Релейный электропривод и его математическая модель.
29. Частотный критерий устойчивости Найквиста.
30. Физическая картина устойчивости. Запасы устойчивости.
31. Анализ устойчивости по логарифмическим частотным характеристикам. Случаи устойчивой, неустойчивой системы и системы по границе устойчивости. Рекомендуемые величины запасов устойчивости.

*Примерные темы и задания на курсовую работу:*

Рассчитать вертикальный подъем ракеты при старте по нормали к земной поверхности с её поверхности, пренебрегая действием аэродинамических сил. Ускорение силы тяжести считать постоянным. Привести график изменения скорости и высоты полета на участке от старта до максимальной высоты подъема.

*Задание 1.* На активном участке полета тягу двигателя считать постоянной. Расчет выполнить двумя способами: (1) аналитическим по второй формуле Циолковского для скорости подъема одноступенчатой ракеты и соответствующей формуле изменения высоты; (2) численным интегрированием системы уравнений движения летательного аппарата. Для численного интегрирования выбрать шаг интегрирования, сопоставляя аналитическое решение с результатами численного интегрирования.

*Задание 2.* Найти аналитическое решение для вертикального подъема ракеты с постоянным ускорением. Привести графики изменения высоты, скорости, массы ракеты и тяги двигателя на участке от старта ракеты до высшей точки подъема. Все необходимые исходные данные возьмите из приложения в соответствии с номером задания.

Параметры летательного аппарата для выполнения расчета выдаются преподавателем индивидуально каждому студенту.

*6.2. Правила оформления экзаменационного билета для проведения экзамена:*

**Государственное бюджетное образовательное учреждение  
Высшего образования Московской области  
«Международный университет природы, общества и человека «Дубна»  
Факультет естественных и инженерных наук**

**Кафедра «Энергия и окружающая среда»**

**Дисциплина:** Динамика полета

**Курс 3, семестр 6**

**Экзаменационный билет № 1**

1. Система автоматического управления беспилотным летательным аппаратом. Функциональная схема оборудования БЛА.
2. Математическая модель. Математическое и полунатурное моделирование.
3. Задача № 5

и.о. зав. кафедрой

А.С. Деникин

## **7. Учебно-методическое обеспечение дисциплины**

### **7.1. Основная литература<sup>2</sup>**

1. Динамика полета [Электронный ресурс] / А. В. Ефремов [и др.]. - М. : Машиностроение, 2011. - 776с. - ISBN 978-5-94275-580-5 // Электронно-библиотечная система: ЭБС "Лань". – URL: [http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1\\_id=2013](http://e.lanbook.com/books/element.php?pl1_id=2013). – Режим доступа: по логину и паролю
2. Дмитриевский, А.А. Внешняя баллистика [Электронный ресурс] / А. А. Дмитриевский, Л. Н. Ласенко. - 4-е изд., перераб. и доп. - М. : Машиностроение, 2005. - 608с. - ISBN 5-217-0325-95 // Электронно-библиотечная система: ЭБС "Лань". – URL: <http://e.lanbook.com/view/book/767/>. – Режим доступа: по логину и паролю

### **7.2. Дополнительная литература**

1. Лумбовская Т.Н. Динамика полета. Исследование траекторий летательных аппаратов: Лабораторные работы / Лумбовская Тамара Николаевна, Сахаров Георгий Иванович; Министерство образования РФ; МАИ (Государственный технический университет). - М.: Издательство МАИ, 2000.
2. Поляхов Н.Н. Теоретическая механика: Учебник для вузов / Поляхов Николай Николаевич, Зегжда Сергей Андреевич, Юшков Михаил Петрович; Под ред. П.Е.Товстика. - 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Высшая школа, 2000. - 592с.
3. Бесекерский В.А. Теория систем автоматического управления / Бесекерский Виктор Антонович, Попов Евгений Павлович. - 4-е изд., перераб. и доп. - СПб.: Профессия, 2004. - 752с.
4. Калугин В.Т. Аэрогазодинамика органов управления полетом летательных аппаратов: Учебное пособие для вузов / Калугин Владимир Тимофеевич. - М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2004. - 688с.
5. Управление и наведение беспилотных маневренных летательных аппаратов на основе современных информационных технологий / Под ред. М.Н. Красильщикова, Г.Г. Себрякова. - М.: Физматлит, 2003.
6. Белецкий В.В. Движение искусственного спутника относительно центра масс / Белецкий Владимир Васильевич. - М.: Наука, 1965. - 416с.

---

<sup>2</sup> Список основной литературы должен включать только источники, имеющиеся в наличии в библиотечной системе университета и удовлетворяющие предъявляемым требованиям. Необходимо согласование с руководителем библиотечной системы.

7. Демин В.Г. Движение искусственного спутника в нецентральной поле тяготения / Демин Владимир Григорьевич. - М.: Наука, 1968.
8. Деникин А.С., Сокотущенко В.Н., Методические указания по выполнению курсовых работ и курсовых проектов, — Дубна : Междунар. ун-т природы, о-ва и человека «Дубна», 2012.

### 7.3. Интернет-ресурсы

#### *Электронно-библиотечные системы (ЭБС) и БД*

1. ЭБС «Лань»: <http://e.lanbook.com/>
2. ЭБС «Нэлбук»: [www.nelbook.ru](http://www.nelbook.ru)
3. ЭБС «Университетская библиотека онлайн»: [www.biblioclub.ru](http://www.biblioclub.ru)
4. ЭБС ZNANIUM.COM: <http://znanium.com/>

#### *Профессиональные Интернет-ресурсы*

1. «Уголок неба». Большая авиационная энциклопедия: <http://www.airwar.ru/>
2. Авиационная библиотека: <http://civilavia.info/>
3. Центральный аэрогидродинамический институт имени профессора Н. Е. Жуковского (ЦАГИ): <http://www.tsagi.ru>
4. Общероссийская общественная организация «Ассоциации инженерного образования России»: <http://aeer.ru>
5. ОАО «Корпорация «Тактическое ракетное вооружение»: <http://www.ktrv.ru/>
6. ОАО «Объединенная авиастроительная корпорация» (ОАО «ОАК»): <http://uacrussia.ru>
7. Федеральное космическое агентство (Роскосмос): <http://www.roscosmos.ru/>
8. Федеральное агентство воздушной авиации (Росавиация): <http://www.favt.ru/>
9. International Astronautical Federation (Международная Федерация астронавтики): <http://www.iafastro.org/>
10. International Council on Aeronautical Sciences (ICAS) (Международный совет по авиационным наукам): <http://www.icas.org/>

## 8. Материально-техническое обеспечение дисциплины

1. Плакаты и компьютерные презентации
2. Оборудование лаборатории полунатурного моделирования ГосМКБ «Радуга».
3. Музей беспилотных летательных аппаратов ГосМКБ «Радуга».