





## **Введение**

Изучение новой учебной дисциплины (тем более самостоятельное) является не простым делом. И здесь многое зависит от правильной организации процесса изучения. Что в первую очередь подразумевает эта организация? Конечно, должна быть тщательно разработана и доступна студенту учебная программа дисциплины, как краткое перечисление учебного материала, который составляет дисциплину и который выносится на изучение. Обычно учебный материал дается в программе в той последовательности, в которой он изучается. Приступая к изучению дисциплины, нужно, прежде всего, ознакомиться с учебной программой и впоследствии постоянно иметь ее под рукой. Далее – это качественная учебная и методическая литература, консультации преподавателей, вопросы для самоконтроля, различные методические рекомендации и многое другое. Но особое место в этом перечне занимает пособие по изучению дисциплины, которое является необходимым путеводителем по дисциплине, помогает студенту самоорганизоваться и в значительной степени облегчает самостоятельное изучение материала дисциплины.

## 1. Учебный план дисциплины

Дисциплина “Динамика полета” изучается на III курсе. После изучения дисциплины предусмотрен вид контроля – экзамен. Для облегчения изучения и закрепления теоретического материала, а также приобретения опыта практических расчетов предусмотрено самостоятельное выполнение курсовой работы (с ее защитой и постановкой оценки в ведомость). Учебный план динамики полета приведен в табл. 1

Таблица 1

Виды занятий	Дневное обучение	Заочное обучение
Общий объем учебных часов на дисциплину по плану дневного обучения (ч)	144	144
Аудиторные занятия (ч)	72	16
Лекции (ч)	40	2+4
Лабораторные занятия (ч)	24	10
Практические занятия (ч)	8	-
Самостоятельная работа студента (общее время СРС) (ч)	72	128

Примечание: 2+4 указывает на одну установочную (2 курс) и две обзорные лекции (3 курс).

Время СРС включает в себя время на самостоятельное выполнение курсовой работы – 20 часов (без учета изучения или повторения теоретических вопросов), а также время, затрачиваемое на работу с книгой, подготовку к занятиям, экзамену и т.п.

## 2. Основные сведения о дисциплине

Учебную дисциплину “Динамика полета” кратко можно определить, как раздел механики, в котором изучается движение летательных аппаратов (ЛА) в атмосфере. Под термином “летательный аппарат” понимается аппарат тяжелее воздуха, оснащенный установкой для создания тяги. Для гражданской авиации (ГА) это прежде всего самолет и вертолет. Таким образом, динамика полета изучает движение ЛА. Дисциплина является теоретической основой совокупности знаний и умений, формирующих авиационный профиль инженера-механика по эксплуатации ЛА и двигателей. Знание дисциплины

позволяет участвовать в профессиональном общении, а также квалифицированно решать задачи:

- обеспечения технически грамотной эксплуатации воздушных судов;
- обеспечения высококачественной подготовки и контроля умений летного состава технически грамотно эксплуатировать авиационную технику;
- разработки и проведения мероприятий по предупреждению авиационных происшествий.

Цель дисциплины: раскрыть основополагающие современные научные концепции, понятия и идеи исследования траекторий движения, устойчивости и управляемости воздушных судов ГА с целью обеспечения безопасности и регулярности полетов, а также высоких экономических показателей авиационных перевозок.

Задачи изучения дисциплины (необходимый комплекс знаний и умений) можно сформулировать следующим образом.

Иметь представление об использовании прикладных программ для решения задач динамики движения конкретных воздушных судов ГА.

Знать:

- базовые понятия дисциплины;
- основные летно-технические характеристики (ЛТХ) и характеристики устойчивости и управляемости воздушных судов ГА;
- основные методы расчета ЛТХ воздушных судов ГА;
- эксплуатационные ограничения режимов полета воздушных судов на различных его этапах при нормальной работе и отказах функциональных систем;
- влияние внешних условий и технико-экономических факторов на экономичность полетов;
- методы повышения экономичности полетов воздушных судов.

Уметь:

- рассчитывать с использованием соответствующих пособий основные ЛТХ, характеристики устойчивости и управляемости ЛА в ожидаемых условиях эксплуатации;
- объяснить в части динамики полета требования РЛЭ, НЛГС, НЛГВ, НПП.

Для успешного изучения дисциплины “Динамика полета” необходимо усвоение следующих базовых (формирующих) дисциплин.

Высшая математика (темы):

- дифференциальное исчисление функций одной и нескольких переменных;
- неопределенный и определенный интегралы;
- основы векторного анализа;
- дифференциальные уравнения.

Физика (темы):

- законы сохранения массы, количества движения, энергии;
- законы Ньютона.

Теоретическая механика (темы):

- общие теоремы динамики системы.

Теория двигателей (темы):

- высотные и скоростные характеристики двигателя.

Аэромеханика (темы):

- механизация крыла;
- аэродинамические характеристики оперения и рулей;
- аэродинамические характеристики самолета;
- влияние аэродинамических характеристик на экономичность полета.

Знание динамики полета позволяет не только решать практические задачи, вытекающие из самого предмета динамики полета, но и является базой для изучения последующих дисциплин: конструкции и прочности ЛА, безопасности полетов, технической эксплуатации ЛА.

## 3. Рекомендуемая литература.

## 3.1. Основная учебная литература

1. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов / под редакцией В.В. Коваленка. -М.: Изд. ВВИА им.проф. Н.Е. Жуковского, 2012, 412 с.

2. Динамика полета транспортных ЛА: Учебник/ А.Я. Жуков, А.Л. Ермаков, В.Г. Ципенко и др. – М.: Транспорт, 1996, 322 с.

или:

3. Ермаков А.Л., Жуков А.Я., Ципенко В.Г. Динамика полета. Полет самолета по траектории: Учебное пособие. –М.: МИИГА, 1992, 107 с.

4. Ермаков А.Л., Жуков А.Я., Ципенко В.Г., Устойчивость и управляемость самолета: Учебное пособие, -М.: МИИГА, 1990, 92 с.

### 3.2. Дополнительная учебная литература

5. Николаев Л.Ф. Аэродинамика и динамика полета транспортных самолетов: Учебник, М.: Транспорт, 1990, 392 с.

### 3.3. Регламентирующая литература.

6. Нормы летной годности самолетов транспортной категории (АП-25). – М.: МАК. 1994, 321 с.

7. Единые нормы летной годности гражданских транспортных самолетов стран-членов СЭВ. - М.: Межведомственная комиссия по НЛГ гражданских самолетов и вертолетов СССР. 1985, 470 с.

8. ГОСТ 20058-80. Динамика летательных аппаратов в атмосфере. Термины, определения и обозначения. –М.: Издательство стандартов, 1981.

9. ГОСТ 22833-77. Характеристики самолета геометрические. Термины, определения и буквенные обозначения. –М.: Издательство стандартов, 1978.

10. ГОСТ 4401-81. Атмосфера стандартная. Параметры. –М.: Издательство стандартов, 1981.

### 3.4. Справочная литература

11. Микеладзе В.Г., Титов В.М. Основные геометрические и аэродинамические характеристики самолетов и ракет. Справочник. –М.: Машиностроение, 1990, 143 с.

12. Боргест Н.М., Данилин А.И., Комаров В.А. Краткий словарь авиационных терминов. –М.: “Издательство МАИ”, 1992, 219 с.

### 3.5. Литература для выполнения курсовой работы

13. Гарбузов В.М. Методические указания по оформлению курсовых работ и выбору варианта задания по аэромеханике и динамике полета. –М.: МГТУГА, 1995, 36 с. (и последующие годы издания)

14. Ермаков А.Л., Ципенко В.Г. Пособие по выполнению курсовой работы. “Аэродинамические характеристики самолета”. –М.: МГТУГА, 2010, 72 с.

15. Ермаков А.Л., Ципенко В.Г. Пособие по выполнению курсовой работы. –М.: МГТУГА, 2012, 44 с.

### 3.6. Литература по конкретной авиационной технике.

16. Лигум Т.И., Скрипниченко С.Ю., Шишмарев А.В. Аэродинамика самолета Ту-154Б. –М.: Транспорт, 1985, 263 с.

17. Бехтир В.П., Ржевский В.М., Ципенко В.Г. Практическая аэродинамика самолета Ту-154М. –М.: Воздушный транспорт, 1997, 286 с.

18. Лигум Т.И. Аэродинамика самолета Ту-134 А-3 (Б-3). –М.: Транспорт, 1987, 261 с.

19. Васин И.С., Егоров В.И., Муравьев Г.Г. Аэродинамика самолета Ил-76Т. –М.: Транспорт, 1983, 165 с.

20. Бехтир В.П., Ржевский В.М., Ципенко В.Г. Практическая аэродинамика самолета Ил-76ТД. –М.: Воздушный транспорт, 1995, 184 с.
21. Пассажирский самолет Ил-62, ч. 1. Новожилов Г.В., Лещинер Д.В., Шейнин В.М. и др. –М.: Машиностроение, 1981, 359 с.
22. Соколов А.Г. Практическая аэродинамика самолета Ил-62. –М.: Машиностроение, 1979, 113 с.
23. Бехтир В.П., Ципенко В.Г. Практическая аэродинамика самолета Ил-86. –М.: Воздушный транспорт, 1993, 175 с.
24. Богославский Л.Е. Практическая аэродинамика самолета Як-40. – М.: Транспорт, 1970, 176 с.
25. Бехтир В.П. Практическая аэродинамика самолета Як-42. –М.: Транспорт, 1989, 199 с.
26. Ципенко В.Г., Бехтир В.П., Ефимова М.Г., Стариков Ю.Н. Практическая аэродинамика самолетов Ту-204-120 и Ту-204-120С: Учебное пособие, -М.: МГТУГА, 2005, 128 с.
27. Ципенко В.Г., Ефимова М.Г., Бехтир В.П., Стариков Ю.Н. Практическая аэродинамика самолетов Ту-204-120 (Ту-204-120С). Часть 2. Особенности устойчивости и управляемости: Учебное пособие, -М.: МГТУГА, 2008, 88 с.

### 3.7. Методические указания.

При изучении учебной дисциплины “Динамика полета” студент в обязательном порядке должен взять в библиотеке и систематически пользоваться литературой [1] или [2] или [3,4], а также методической литературой: Пособие по изучению учебной дисциплины (настоящее пособие), Пособие по выполнению курсовой работы [15]. Что касается остальной литературы (справочники, ГОСТы, литература по конкретной авиационной технике и т.п.), то она используется по мере необходимости для более детального и глубокого изучения отдельных вопросов, а также в помощь при курсовом и дипломном проектировании.

## 4. Электронные средства информации

### 4.1. Электронные источники информации по дисциплине

Вся учебная и методическая литература в соответствии с учебной программой дисциплины имеется в настоящее время на бумажном носителе в библиотеке Университета. Часть литературы (например, [13,14,15] и другие доступны в электронной библиотеке. Дополнительная учебная и методическая литература на DVD носителе в настоящее время разрабатывается на кафедре.



## 4.2. Ресурсы Интернета

В Интернете имеется обширная информация по аэродинамике, динамике полета, а также летно-техническим характеристикам самолетов. Ниже приведены адреса наиболее интересных сайтов.

1. <http://www.airlines.net/> (английский язык). Приводится большая база самолетов (только ГА) мировой авиации, в том числе России, вместе с их характеристиками.

2. <http://avia.cybernet.name/plane/all.html> (русский язык). Словарь терминов, а также история самолетов пассажирских транспортных, военных (в том числе российских).

3. <http://ru.wikipedia.org/wiki/> (русский язык). История авиации и полетов, начиная с древних времен и до наших дней.

4. <http://www.avialibrary.com/> (русский язык). Авиационная библиотека по 25 разделам, включая аэродинамику и динамику полета. В разделе “Динамика полета” приводится 18 книг, которые можно скачать.

## 5. Электронный адрес кафедры для консультаций

akpla@mstuca.aero

Связь с кафедрой АКПЛА по электронной почте для получения консультаций может осуществляться как напрямую по вышеприведенному адресу, так и через деканат ЗФ (по электронному адресу деканата) в соответствии с методическими рекомендациями, изложенными в “Памятке студенту-заочнику о консультациях по электронной почте”. В соответствии с Памяткой для получения консультации нужно послать запрос на имя деканата ЗФ МГТУГА по адресу:

decanatzf@mstuca.aero

Деканат отсылает запрос на кафедру и контролирует сроки ответа.

## 6. Структура дисциплины

Учебная дисциплина “Динамика полета” (ДП) состоит (рис. 1) из введения, в котором рассматриваются основные задачи курса, место дисциплины в системе знаний инженера-механика по эксплуатации ЛА, дается

краткий исторический очерк развития ДП, описываются методы и подходы, используемые при изучении движения самолета, и трех разделов.

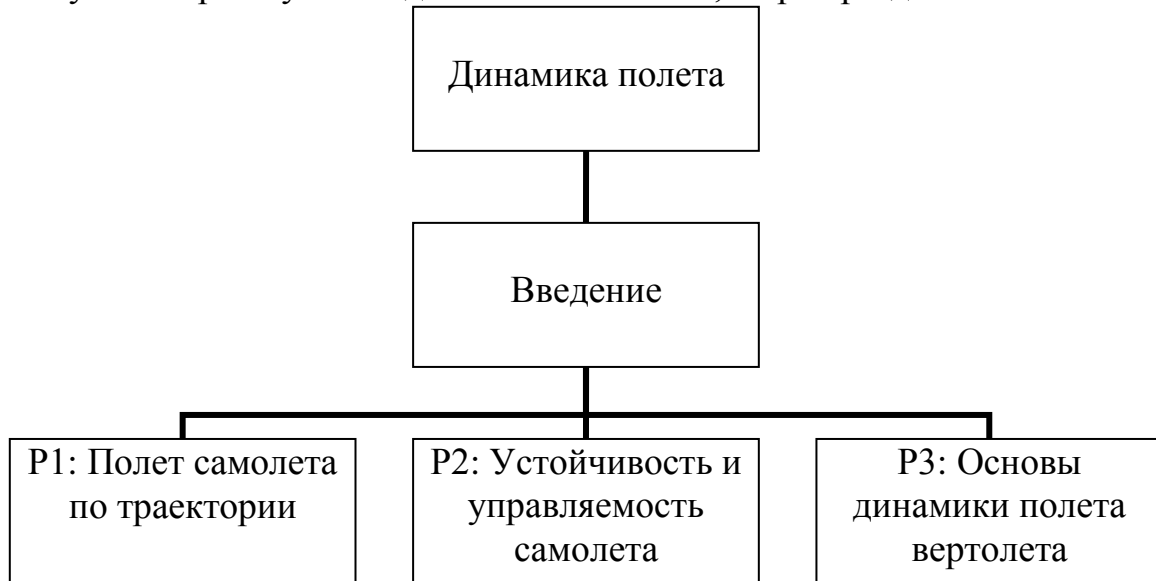


Рис. 1

Раздел 1. Полет самолета по траектории. В этом разделе изучается движение самолета как материальной точки. Рассматриваются основные этапы полета по траектории: горизонтальный полет, набор высоты и снижение, взлет и посадка, криволинейное движение, вираж, а также дальность и продолжительность полета. Во всех случаях особо выделяются вопросы экономичности и безопасности полетов.

Раздел 2. Устойчивость и управляемость самолета. В этом разделе изучается движение самолета как твердого тела. Рассматриваются вопросы балансировки (продольной и боковой), устойчивости (продольной и боковой: поперечной и флюгерной), управляемости (продольной и боковой), эксплуатационные центровки.

Раздел 3. Основы динамики полета вертолета. В этом разделе изучаются те же вопросы, что и в разделах 1 и 2 (см. рис. 1), но применительно к вертолету, т. е. Полет по траектории и устойчивость и управляемость вертолета.

## 7. Учебная программа дисциплины

### Введение.

Предмет дисциплины, общая характеристика дисциплины, структура, краткая характеристика разделов. Место дисциплины в системе знаний инженера-механика по эксплуатации ЛА. Краткий исторический очерк развития динамики полета. Основные допущения. ГОСТ 20058-80. Методы и подходы, используемые в динамике полета при изучении движения самолета.

Раздел 1. Полет самолета по траектории.

Тема 1. Основные положения. Системы координат и углы динамики полета.

Положение самолета. Нормальная земная система координат. Ориентация самолета. Связанная система координат. Углы Эйлера связанной системы координат: рыскания  $\psi$ , тангажа  $\vartheta$ , крена  $\gamma$ .

Скорость самолета – воздушная  $\bar{V}$ , земная  $\bar{V}_k$ , путевая  $\bar{V}_п$ . Составляющие скорости. Модель ветра. Укол сноса  $\mathcal{E}$ .

Направление движения самолета. Скоростная и траекторная системы координат. Ориентация вектора скорости  $\bar{V}$  относительно Земли. Углы Эйлера скоростной системы координат: скоростной угол рыскания  $\psi_a$ , угол наклона траектории  $\theta$ , скоростной угол крена  $\gamma_a$ . Ориентация вектора скорости  $\bar{V}$  относительно самолета. Угол скольжения  $\beta$  и угол атаки  $\alpha$ .

#### Методические указания к изучению темы 1.

Литература: [2], с. 3-11

или [3], с. 3-11.

Центральные вопросы темы: положение, ориентация, направление движения самолета, системы координат и углы динамики полета.

#### Вопросы

1. Дайте характеристику скоростной (связанной, земной, траекторной) системы координат.
2. Какими углами самолет ориентируется в пространстве?
3. Что понимается под углом тангажа (крена, рыскания)?
4. Что понимается под направлением движения самолета?

#### Тема 2. Уравнения движения самолета.

Уравнения кинематических связей угловых и линейных скоростей. Силы, действующие на самолет, и их задание. Сила тяжести, аэродинамическая сила, тяга силовой установки. Уравнения сил в векторном виде и в проекциях на оси траекторной системы координат. Уравнения моментов в векторном виде и в проекциях на оси связанной системы координат. Допущения при выводе уравнений сил и моментов.

Общая система уравнений движения и ее анализ. Упрощения уравнений движения самолета. Разделение движения на продольное и боковое. Понятие о перегрузке и ее проекциях (продольная, нормальная и поперечная перегрузки, тангенциальная, нормальная скоростная и боковая перегрузки).

#### Методические указания к изучению темы 2.

Литература: [2], с. 12-30

или [3], с. 8, 12-23.

Центральные вопросы темы: силы и моменты, действующие на самолет в полете, и их задание. Общая система уравнений движения самолета (без вывода) и ее анализ. Перегрузка.

Вопросы:

1. Какие силы действуют на самолет в свободном полете (вектора сил и их проекции)?
2. На какие оси (какой системы координат) проектируется главный момент  $\overline{M}$  и как называются эти проекции?
3. Дайте описание общей системы уравнений движения самолета и проанализируйте ее.
4. Что такое перегрузка и как называются ее проекции?

Тема 3. Горизонтальный полет.

Уравнения движения. Потребная скорость горизонтального полета. Кривые потребных и располагаемых тяг (мощностей). Метод тяг (мощностей) Жуковского. Характерные скорости горизонтального полета: теоретически минимальная  $V_{t.min}$ , экономическая  $V_{эк}$ , наивыгоднейшая  $V_{наив.}$ , крейсерская  $V_{крс.}$ , практически минимальная  $V_{пр.min}$ , максимальная  $V_{max}$ .

Характерные режимы горизонтального полета: I и II режимы. Влияние высоты полета на характерные скорости горизонтального полета. Диаграмма диапазона истинных скоростей самолета. Теоретический потолок самолета.

Эксплуатационные ограничения скорости полета: ограничения по двигателям, по безопасности полетов, по прочности конструкции, по устойчивости и управляемости.

Методические указания к изучению темы 3.

Литература: [2], с. 33-64

или [3], с. 23-47.

Центральные вопросы темы: расчет ЛТХ самолета методом Жуковского (метод тяг, метод мощностей), характерные скорости горизонтального полета, диаграмма диапазона скоростей горизонтального полета. Потребная тяга (мощность), потребная скорость. Эксплуатационные ограничения скоростей. 1-й и 2-й режимы горизонтального полета.

Вопросы:

1. Что такое потребная тяга (мощность)?
2. В чем заключается метод тяг (мощностей) Жуковского?

3. Что такое теоретически минимальная (экономическая, наивыгоднейшая, крейсерская, практически минимальная, максимальная) скорость?

4. Каковы эксплуатационные ограничения скоростей горизонтального полета?

5. Что такое диаграмма диапазона истинных скоростей самолета?

#### Тема 4. Набор высоты

Уравнения движения самолета при наборе высоты. Особенности набора высоты по сравнению с горизонтальным полетом. Характерные режимы набора высоты: режим наиболее быстрого и наиболее крутого набора высоты. Влияние высоты полета на скорость набора высоты и максимальную вертикальную скорость. Поляра скоростей набора высоты. Барограмма подъема самолета и дальность набора высоты.

#### Методические указания к изучению темы 4.

Литература: [2], с. 69-83

или [3], с. 47-56

Центральные вопросы темы: установившийся набор высоты, его характеристики (угол наклона траектории, вертикальная скорость, скорость по траектории, время и др.), характерные режимы набора, эксплуатационные факторы.

Вопросы:

1. Что такое установившийся набор высоты и каковы его основные характеристики?

2. Каковы два характерных режима набора высоты?

3. Что называется теоретическим и практическим потолком самолета?

4. Что понимается под барограммой самолета?

#### Тема 5. Снижение самолета

Уравнения движения и их анализ. Расчет снижения самолета. Поляра скоростей снижения. Планирование самолета и его основные характеристики. Поляра скоростей планирования и ее анализ.

#### Методические рекомендации к изучению темы 5.

Литература: [2], с. 86-97  
или [3], с. 56-63

Центральные вопросы темы: планирование, поляра скоростей планирования, влияние эксплуатационных факторов.

Вопросы:

1. Что понимается под планированием самолета?
2. Что такое поляра скоростей планирования?
3. Каковы характерные режимы планирования?
4. Что такое режим наибольшей продолжительности планирования и как его определить?

#### Тема 6. Дальность и продолжительность полета

Техническая и практическая дальность. Часовой и километровый расходы топлива. Расчет дальности и продолжительности горизонтального полета. Метод Пышнова. Режимы наибольшей дальности и наибольшей продолжительности горизонтального полета. Полет “по потолкам”. Влияние ветра на дальность полета.

#### Методические указания к изучению темы 6.

Литература: [2], с. 98-116  
или [3], с. 63-75.

Центральные вопросы темы: техническая и практическая дальность, часовой и километровый расходы топлива, влияние скорости и высоты на дальность и продолжительность полета, эксплуатационные факторы.

Вопросы:

1. Что понимается под технической дальностью?
2. Как влияет скорость на дальность и продолжительность полета?
3. Как влияет высота на дальность и продолжительность полета?
4. Какие основные эксплуатационные факторы и как они влияют на дальность и продолжительность полета?

#### Тема 7. Криволинейное движение

Условия возникновения криволинейного полета самолета. Виращ. Координированный, установившийся, правильный виращ. Уравнения движения

и их анализ. Предельные выражи. Эксплуатационные ограничения и границы предельных выражей. Область допустимых выражей. Характерные режимы выражей: минимального радиуса и минимального времени.

Методические указания к изучению темы 7.

Литература: [2], с. 116-128,  
или [3], с. 75-86.

Центральные вопрос темы: правильный вираж, границы предельных выражей, эксплуатационные факторы.

Вопросы:

1. Что понимается под правильным виражом?
2. Какие эксплуатационные ограничения имеются при выполнении виража?
3. Как влияют эксплуатационные факторы на область допустимых выражей?
4. Какие характерные режимы при выполнении виража?

Тема 8. Взлет и посадка самолета

Взлет самолета. Собственно взлет. Основные этапы взлета. Основные дистанции (длины) и характерные скорости. Фактические и потребные дистанции. Связь потребных дистанций с длиной ВПП. Уравнения движения при разбеге. Расчет длины разбега и воздушного взлетного участка. Энергетический метод Пышнова. Вопросы безопасности полетов при взлете самолета.

Полная посадка самолета, заход на посадку, посадка. Основные этапы. Основные дистанции (длины) и характерные скорости. Фактические и потребные дистанции. Связь потребных дистанций с длиной ВПП. Уравнения движения при пробеге. Расчет воздушного посадочного участка и дистанции пробега. Вопросы безопасности полетов при посадке самолета.

Особые ситуации и безопасность полетов. Особые случаи в полете.

Особый случай взлета. Расчет взлетных характеристик: дистанций прерванного, продолженного взлета, сбалансированной взлетной дистанции, критической скорости принятия решения.

Особые ситуации при посадке.

Влияние различных факторов (эксплуатационных и конструктивных) на взлетно-посадочные характеристики самолета.

Методические рекомендации к изучению темы 8.

Литература: [2], с. 135-166  
или [3], с. 86-104.

Центральные вопросы темы: схемы взлета и посадки, характерные скорости и дистанции, влияние эксплуатационных и конструктивных факторов, требования НЛГС (вопросы безопасности полетов).

Вопросы:

1. Что понимается под взлетной (посадочной) дистанцией самолета?
2. Из каких этапов состоит взлет (посадка) самолета?
3. Какие эксплуатационные (конструктивные) факторы и как влияют на длину взлетной и посадочной дистанции?
4. Как решаются вопросы безопасности при взлете (посадке) самолета?

Раздел 2. Устойчивость и управляемость самолетаТема 9. Понятие о равновесии, балансировке, устойчивости и управляемости

Понятие о равновесии (продольном и боковом), балансировке (продольной и боковой), устойчивости (статической и динамической, продольной и боковой), управляемости (статической, продольной и боковой). Центровка самолета по хорде, по высоте. Расчет центровки.

Методические указания к изучению темы 9.

Литература: [2], с. 167-174  
или [4], с. 3-10.

Центральные вопросы темы: понятия равновесия, балансировки, устойчивости, управляемости (продольной и боковой). Центровка по хорде.

Вопросы:

1. Что понимается под устойчивостью самолета?
2. Что понимается под управляемостью самолета?
3. Что понимается под балансировкой самолета?
4. Что понимается под центровкой самолета?

Тема 10. Продольная статическая балансировка самолета

Продольный момент (момент тангажа) самолета. Фокус самолета. Аэродинамические моменты тангажа частей самолета: крыла, фюзеляжа,



горизонтального оперения, гондол двигателей. Запас центровки. Продольный момент, создаваемый силовой установкой. Моментная диаграмма самолета. Продольная статическая балансировка самолета. Балансировочная диаграмма руля высоты. Влияние различных факторов на продольный момент самолета и на балансировочную диаграмму.

Методические указания к изучению темы 10.

Литература: [2], с. 174-192,

или [4], с. 11-30.

Центральные вопросы темы: момент тангажа самолета и его составляющие. Фокус самолета и запас центровки. Продольная статическая балансировка. Моментная и балансировочная диаграммы самолета. Факторы, влияющие на момент тангажа.

Вопросы:

1. Что понимается под моментом (коэффициентом момента) тангажа самолета, его аналитическое выражение?
2. Что понимается под фокусом самолета, запас центровки?
3. Какие основные факторы влияют на момент тангажа самолета?
4. Что понимается под моментной и балансировочной диаграммами самолета? Их физический смысл?

Тема 11. Продольная статическая устойчивость самолета

Продольная статическая устойчивость самолета. Продольная статическая устойчивость по перегрузке. Критерий устойчивости. Обеспечение, достижение и суждение о продольной статической устойчивости по перегрузке. Диапазон допустимых эксплуатационных центровок. Предельно передняя и предельно задняя центровки.

Продольная статическая устойчивость по скорости. Критерий устойчивости. Затягивание в пикирование. Суждение о продольной статической устойчивости по скорости. Требования НЛГС к характеристикам продольной устойчивости самолета.

Методические указания к изучению темы 11.

Литература: [2], с. 193-205

или [4], с. 30-44.

Центральные вопросы темы: понятия продольной статической устойчивости по перегрузке и по скорости, критерии устойчивости (математические условия), обеспечение и суждение об устойчивости, диапазон допустимых эксплуатационных центровок самолета.

Вопросы:

1. Что понимается под продольной статической устойчивостью по перегрузке (по скорости)?
2. Каков критерий продольной статической устойчивости по перегрузке (по скорости)?
3. Как обеспечивается продольная статическая устойчивость по перегрузке?
4. Что понимается под диапазоном допустимых эксплуатационных центровок самолета?

Тема 12. Продольная статическая управляемость самолета.

Продольная управляемость и продольная статическая управляемость самолета. Связь устойчивости и управляемости. Шарнирный момент руля высоты и усилие на штурвале. Балансировочная диаграмма усилия на штурвале управления руля высоты. Основные характеристики продольной статической управляемости: градиенты отклонений руля, штурвала, усилий на штурвале. Требования НЛГС к характеристикам управляемости. Способы снижения усилий на штурвале управления рулем высоты: аэродинамическая компенсация, гидроусилители (обратимые, необратимые).

Методические рекомендации к изучению темы 12.

Литература: [2], с. 205-217

или [4], с. 44-53.

Центральные вопросы темы: понятие продольной статической управляемости самолета, балансировочная диаграмма усилия на штурвале, шарнирный момент и усилие на штурвале, основные характеристики продольной статической управляемости.

Вопросы:

1. Что понимается под продольной статической управляемостью самолета?
2. Как определить усилие на штурвале?

3. Какой вид имеют и что физически показывают балансировочные диаграммы по отклонению руля (штурвала), по усилиям на штурвале?

4. Что понимается под градиентами отклонения руля (штурвала), градиентами усилий на штурвале?

### Тема 13. Боковая статическая балансировка самолета.

Понятие боковой статической балансировки самолета. Боковое движение, параметры бокового движения. Боковые силы при скольжении и их уравнивание. Коэффициент боковой силы. Фокус по углу скольжения. Зависимость коэффициента боковой силы от угла скольжения и отклонения руля высоты. Боковые моменты (коэффициенты моментов) и их балансировка при полете самолета со скольжением. Моментные диаграммы рыскания и крена самолета. Балансировочные диаграммы органов бокового управления.

#### Методические указания к изучению темы 13.

Литература: [2], с. 217-227

или [4], с. 53-64.

Центральные вопросы темы: боковая статическая балансировка самолета при полете со скольжением. Коэффициент боковой силы. Боковой фокус. Моментные и балансировочные диаграммы.

Вопросы:

1. Что понимается под боковой статической балансировкой самолета?
2. Чем производится боковая статическая балансировка самолета?
3. Что понимается под коэффициентом боковой силы самолета? Что понимается под боковым фокусом самолета?
4. Что показывают моментные и балансировочные диаграммы органов бокового управления?

### Тема 14. Боковая статическая устойчивость самолета.

Понятие боковой статической устойчивости самолета. Флюгерная статическая устойчивость. Критерий устойчивости, обеспечение, достижение и суждение о флюгерной статической устойчивости. Поперечная статическая устойчивость. Критерий устойчивости. Обеспечение, достижение и суждение о поперечной статической устойчивости. Критерий боковой статической устойчивости. Влияние на боковую статическую устойчивость конструктивных и эксплуатационных факторов. Спиральная и колебательная неустойчивость самолета.

Методические рекомендации к изучению темы 14.

Литература: [2], с. 227-234

или [4], с. 64-72.

Центральные вопросы темы: флюгерная и поперечная статические устойчивости самолета. Критерии устойчивости, обеспечение, достижение и суждение об устойчивостях. Боковая статическая устойчивость. Критерий боковой статической устойчивости.

Вопросы:

1. Что понимается под флюгерной (поперечной) статической устойчивостью?
2. Каковы критерии устойчивости (флюгерной, поперечной, боковой)?
3. Как обеспечивается и достигается флюгерная и поперечная статические устойчивости самолета?
4. Что понимается под боковой статической устойчивостью самолета?

Тема 15. Боковая статическая управляемость самолета.

Понятие боковой статической управляемости самолета. Шарнирные моменты и усилия на рычагах бокового управления. Основные характеристики боковой статической управляемости. Требования НЛГС к характеристикам боковой статической управляемости.

Методические указания к изучению темы 15.

Литература: [2], с. 234-239

или [4], с. 72-80.

Центральные вопросы темы: понятие боковой статической управляемости самолета. Усилия на рычагах бокового управления. Основные характеристики боковой статической управляемости.

Вопросы:

1. Что понимается под боковой статической управляемостью самолета?
2. От чего зависят усилия на рычагах управления от элеронов и руля направления?
3. Какие основные характеристики боковой статической управляемости?
4. Что показывают балансировочные диаграммы усилий на органах бокового управления?

### Раздел 3. Основы динамики полета вертолета.

#### Тема 16. Траектория полета вертолета.

Силы и моменты, действующие на вертолет. Уравнения сил и моментов. Потребные и располагаемые мощности. Характеристики вертолета в режимах висения и вертикального подъема. Горизонтальный полет вертолета. Диапазон скоростей, характерные скорости полета самолета. Подъем по наклонной траектории. Снижение с работающими двигателями и на режиме авторотации. Дальность и продолжительность полета. Взлет и посадка вертолета.

#### Методические указания к изучению темы 16.

Литература: [2, с. 290-311]

Центральные вопросы темы: метод мощностей — метод расчета ЛТХ вертолета, диапазон скоростей, характерные скорости полета вертолета, потолки вертолета, особенности взлета и посадки.

#### Вопросы

1. Что понимается под потребной (располагаемой) мощностью вертолета?
2. Каковы характерные скорости полета вертолета?
3. Как рассчитываются (каким методом) ЛТХ вертолета? В чем состоит суть метода?
4. Что понимается под статическим и динамическим потолками вертолета?

#### Тема 17. Балансировка, устойчивость и управляемость вертолета.

Продольная балансировка вертолета. Устойчивость и управляемость вертолета. Продольная статическая устойчивость, устойчивость по углу атаки, устойчивость по скорости. Особенности управляемости вертолета.

#### Методические указания к изучению темы 17.

Литература: [2], с. 312-322

Центральные вопросы темы: основные особенности балансировки, устойчивости и управляемости вертолета.

#### Вопросы:

1. Как производится продольная балансировка вертолета?
2. Каково назначение хвостового винта?
3. Какие существуют виды продольной статической устойчивости вертолета?
4. Как производится управление вертолетом?

## 8. Терминология (понятийный аппарат) дисциплины

### Тема 1.

Положение самолета, ориентация самолета, направление движения самолета. Системы координат: земная, связанная, скоростная, транспортная.

Моменты: тангажа, крена, рыскания. Углы: атаки, скольжения, тангажа, крена, рыскания, наклона траектории.

### Тема 2.

Силы: тяга силовой установки, аэродинамическая сила планера, сила лобового сопротивления, подъемная сила, боковая сила. Движения самолета: координированное движение, продольное движения, боковое движение. Перегрузка.

### Тема 3.

Горизонтальный полет (ГП), потребная тяга (мощность), располагаемая тяга (мощность), кривые тяг (мощностей) Жуковского, потребная скорость ГП, истинная (воздушная) скорость, характерные скорости ГП: теоретическая минимальная, наивыгоднейшая, крейсерская, экономическая, максимальная, практическая минимальная; теоретический диапазон скоростей ГП, практический диапазон скоростей ГП, диаграмма диапазона истинных скоростей самолета; метод тяг (мощностей) Жуковского; теоретический потолок самолета, практический потолок самолета; допустимые скорости ГП: минимально допустимая скорость, максимально допустимая скорость; диапазон реализуемых скоростей; область первых режимов ГП, область вторых режимов ГП.

### Тема 4.

Набор высоты (НВ); избыток тяги (мощности); режим наиболее крутого НВ, режим наиболее быстрого НВ; скорость набора высоты, максимальная вертикальная скорость, барограмма НВ.

### Тема 5.

Снижение, планирование; недостаток тяги (мощности); режим наибольшей дальности планирования, режим наибольшей продолжительности планирования; поляра скоростей планирования.

Тема 6.

Дальность полета (ДП), техническая ДП, практическая ДП, часовой и километровой расходы топлива, удельный расход топлива (двигателя); метод Пышнова, “потолок” по дальности полета, полет по “потолкам”.

Тема 7.

Виращ самолета, правильный виращ; допустимая эксплуатационная перегрузка на вираже; предельный виращ, границы предельного виража, область допустимых виражей.

Тема 8.

Взлет самолета; длины (дистанции) разбега, разгона, взлетная дистанция; скорость отрыва, безопасная скорость взлета; высота условного (стандартного) препятствия; фактические дистанции разбега и взлета, потребные длины (дистанции) разбега и взлета; взлет: нормальный, продолженный (завершенный), прерванный, скорость принятия решения; энергетический метод Пышнова.

Посадка самолета; длины (дистанции) снижения, выравнивания, выдерживания, воздушного посадочного участка, пробега, посадочная дистанция; скорость предпосадочного снижения, посадочная скорость; высота стандартного препятствия; фактическая посадочная дистанция, потребная посадочная дистанция; посадка прерванная и завершенная.

Тема 9.

Равновесие самолета (продольное, боковое); балансировка самолета (продольная, боковая); устойчивость самолета (динамическая, статическая; продольная, боковая); управляемость самолета; центровка самолета (по хорде).

Тема 10.

Момент тангажа самолета, коэффициент момента тангажа самолета, фокус самолета, плечо горизонтального оперения; коэффициент относительной эффективности руля высоты; коэффициент эффективности руля высоты; запас центровки; моментная диаграмма самолета; балансировочная диаграмма руля высоты.

Тема 11.

Продольная статическая устойчивость самолета; продольная статическая устойчивость по перегрузке; критерий продольной статической устойчивости по перегрузке; самолет: устойчивый, неустойчивый, нейтральный; центровки: нейтральная, предельно задняя, предельно передняя; диапазон допустимых

эксплуатационных центровок; продольная статическая устойчивость по скорости; критерий продольной статической устойчивости по скорости.

#### Тема 12.

Продольная управляемость самолета, продольная статическая управляемость самолета; шарнирный момент (руля высоты); коэффициент шарнирного момента; триммер; продольное усилие на штурвале; балансировочная диаграмма усилия на штурвале; градиент отклонения руля; степень управляемости; аэродинамическая компенсация; гидроусилители (обратимые, необратимые).

#### Тема 13.

Боковая сила самолета, коэффициент боковой силы; фокус по углу скольжения; коэффициент относительной эффективности руля направления; коэффициенты моментов (крена, рыскания); коэффициент эффективности руля (руля направления, элеронов); моментные диаграммы (рыскания, крена); балансировочные диаграммы (руля направления, элеронов)

#### Тема 14.

Боковая статическая устойчивость самолета; флюгерная статическая устойчивость; критерий (степень) флюгерной статической устойчивости; поперечная статическая устойчивость; критерий (степень) поперечной статической устойчивости; критерий боковой статической устойчивости; колебательная неустойчивость, спиральная неустойчивость.

#### Тема 15.

Боковая статическая управляемость самолета; шарнирный момент (элеронов, руля направления); коэффициент шарнирного момента (элеронов, руля направления); усилие на штурвале, усилие на педалях; балансировочная диаграмма усилия на штурвале (на педалях); градиенты (отклонения рычагов, усилий).

#### Тема 16 и 17.

Несущий винт (НВ) (вертолета), хвостовой (рулевой) винт, результирующая аэродинамическая сила НВ, осевая обдувка НВ, косая обдувка НВ, плоскость вращения НВ, конус вращения НВ, маховое движение НВ, угол атаки вертолета, угол атаки НВ, лобовое сопротивление вертолета (сила вредного сопротивления); пропульсивная сила НВ, подъемная сила НВ, боковая сила НВ, продольная сила НВ, тяга НВ, поперечная сила НВ, мощность: потребная, профильная, индуктивная, располагаемая, эффективная; скорости:



экономическая, максимальная; потолки; динамический, статический (потолок висения); диапазон скоростей горизонтального полета, статическая устойчивость вертолета: по углу атаки, по скорости; управляемость вертолета: продольная, поперечная, путевая; органы управления вертолета, ручка шаг-газ, ручка циклического шага, автомат перекоса, режимы: висения, вертикального подъема, авторотации, взлет: по-вертолетному, по-самолетному, посадка по-самолетному.

## 9. Лабораторные занятия (ЛЗ) (их тематика и объем в часах)

Лабораторные занятия проводятся в компьютерном классе (ЛЗ-1; ЛЗ-4) и в аэродинамической лаборатории (ЛЗ-5; ЛЗ-6). Каждое занятие — 4 час.

ЛЗ-1. Исследование возможностей самолета в горизонтальном полете. В качестве подготовки проработать теоретический материал: [2], с. 33-67.

ЛЗ-2. Определение скорости наивыгоднейшего набора высоты. В качестве подготовки проработать теоретический материал: [2], с. 69-86.

ЛЗ-3. Исследование посадки самолета. В качестве подготовки проработать теоретический материал: [2], с. 143-151.

ЛЗ-4. Исследование взлета самолета. В качестве подготовки проработать теоретический материал: [2], с. 135-143, 155-159.

ЛЗ-5. Изучение свойства статической устойчивости самолета с помощью демонстрационной модели.

В работе с помощью демонстрационной модели самолета в аэродинамической трубе изучаются важнейшие свойства самолета — свойства продольной статической устойчивости по перегрузке и флюгерной статической устойчивости. Базовые темы: 11,14. В качестве подготовки проработать следующий теоретический материал: [2], с.167-172, 193-198, 228-230 или [4], с. 3-9, 30-36, 64-66.

ЛЗ-6. Определение моментной диаграммы модели самолета в аэродинамической трубе.

В работе экспериментально изучается моментная диаграмма самолета и проводится анализ влияния различных факторов (центровки самолета, отклонения органа продольного управления) на ее вид. Базовая тема 10. В

качестве подготовки проработать следующий теоретический материал: [2], с. 174-182, 184-185, 187-192 или [4] с. 11-23, 25-30.

#### 10. Практические занятия (ПЗ) (их тематика и объем в часах)

В соответствии с учебным планом проводится 4 практических занятия по 2 часа каждые.

ПЗ-1. Горизонтальный полет. [2], с. 33-67.

ПЗ-2. Планирование самолета. [2], с. 91-96.

ПЗ-3. Взлет и посадка самолета. [2], с. 135-163.

ПЗ-4. Характеристики устойчивости и управляемости самолета. [2], с. 193-217.

#### 11. Курсовая работа и ее характеристика

Курсовая работа для студентов дневного и заочного обучения имеет общее название: “Расчет ЛТХ самолета гражданской авиации”. Она включает в себя:

1. Расчет основных ЛТХ самолета в нормальных условиях полета:
  - 1) расчет и построение кривых потребных и располагаемых тяг (мощностей) Жуковского;
  - 2) определение характерных скоростей горизонтального полета и построение диаграммы диапазона истинных скоростей;
  - 3) расчет набора высоты, определение потока и построение барограммы набора высоты;
  - 4) расчет планирования, построение поляры скоростей планирования;
  - 5) расчет дальности и продолжительности полета;
  - 6) расчет взлетно-посадочных характеристик самолета.
2. Расчет ЛТХ самолета с учетом эксплуатационных ограничений:
  - 1) Расчет диапазона истинных скоростей с учетом эксплуатационных ограничений.

Цель курсовой работы:

1. Закрепление теоретического материала, пройденного в процессе изучения дисциплины.
2. Овладение навыками инженерных расчетов основных летно-технических характеристик самолетов гражданской авиации.
3. Овладение навыками быстрой качественной оценки влияния эксплуатационных факторов (атмосферных и погодных условий, качества бетонного покрытия ВПП, степени износа протекторов пневматиков,

степени загрязнения поверхности самолета, качества регулировки створок шасси и т.д.) на летно-технические характеристики самолета, вопросы безопасности полетов и экономии авиатоплива.

Расчетно-пояснительная записка курсовой работы выполняется в строгом соответствии с требованиями ЕСКД. Объем записка – 25-30 листов формата А4 (210x297 мм), графики выполняются по лекалу на миллиметровке формата А4. Количество домашних часов на выполнение курсовой работы (без учета изучения или повторения теоретических вопросов - 20 часов.

## 12. Список принятых сокращений

ГП – горизонтальный полет;  
ГА – гражданская авиация;  
ДП – динамика полета;  
ЛТХ – летно-технические характеристики;  
ЛА- летательный аппарат;  
НЛГ – Нормы летной годности;  
НПП – Наставление по производству полетов;  
РЛЭ – руководство по летной эксплуатации;  
НВ — несущий винт.

## Содержание

Введение.....	3
1. Учебный план дисциплины.....	4
2. Основные сведения о дисциплине.....	4
3. Рекомендуемая литература.....	6
3.1 Основная учебная литература.....	6
3.2 Дополнительная учебная литература.....	7
3.3 Регламентирующая литература.....	7
3.4 Справочная литература.....	7
3.5 Литература для выполнения курсовой работы.....	7
3.6 Литература по конкретной авиационной технике.....	7
3.7 Методические указания.....	8
4. Электронные средства информации.....	8
4.1 Электронные источники информации по дисциплине.....	8
4.2 Ресурсы Интернета.....	9
5. Электронный адрес кафедры для консультаций.....	9
6. Структура дисциплины.....	9
7. Учебная программа дисциплины.....	10
8. Терминология (понятийный аппарат) дисциплины.....	22
9. Лабораторные занятия (их тематика и объем в часах).....	25
10. Практические занятия (их тематика и объем в часах).....	26
11. Курсовая работа и ее характеристика.....	26
12. Список принятых сокращений.....	27