

# Эксплуатация и ремонт вертолетов, самолетов и авиационных двигателей

## Раздел №1 «Воздушные суда»

### Тема №1 «Аэродинамика и летно-технические данные вертолётa»



### Лекция №1 «Основные свойства и законы движения воздуха»

# Учебные вопросы:

1. Введение в дисциплину
2. Основные сведения об аэродинамике. Кратка история развития вертолётов
3. Основные параметры и свойства воздуха. Скорость звука, число  $M$  полёта Основные параметры и свойства воздуха. Скорость звука, число  $M$  полёта
4. Воздушный поток, основные понятия и законы движения воздуха



## Вопрос №1 Введение в дисциплину.

- Эффективность применения вертолетов требует от личного состава авиационных подразделений постоянного расширения и углубления своих знаний о физической сущности явлений, происходящих в полете, о закономерностях движения вертолета, о технике пилотирования, об особенностях его маневренных и пилотажных характеристиках, о взаимосвязи и взаимовлиянии различных эксплуатационных факторов.
- Все указанные вопросы относятся к предмету **аэродинамики**. Именно **аэродинамика** объясняет и обосновывает технику пилотирования вертолета на различных режимах полета и маневрах, раскрывает физическую сущность целого ряда эксплуатационных ограничений и дает возможность определить, как наиболее правильно должен реагировать летчик при возникновении критических ситуаций на предельных режимах и при особых случаях в полете.

## Вопрос №2 Основные сведения об аэродинамике. Краткая история развития вертолётов

- **Аэродинамика** (греч. аэро — воздух, динамис — сила) — наука, изучающая силы, возникающие при обтекании тел воздухом и другими газами.
- **Динамика полета**- раздел механики, в котором изучается движение летательного аппарата в воздухе. Динамика полета позволяет по известным силам и их моментам, действующим на вертолет, определить траекторию полета и закон движения, и наоборот, по заданной траектории и закону движения определить необходимые силы и моменты.
- **Практическая аэродинамика**- прикладная часть аэродинамики и динамики полета, а также теории авиадвигателей и систем управления. Она рассматривает явления и процессы, протекающие на всех этапах полета, знание которых необходимо летчику для освоения техники пилотирования вертолета, овладения его безаварийной эксплуатацией, для наиболее полного использования боевых возможностей ЛА.

## Вопрос №3 Основные параметры и свойства воздуха.

### Скорость звука, число М полета

- **Воздух представляет собой смесь** азота, кислорода, водорода и других газов. У земли воздух состоит из **78% азота**, **21% кислорода** и **1% остальных газов**.
- **Воздух имеет молекулярную структуру**, поэтому для определения силового воздействия воздуха на тело нужно учесть воздействие каждой молекулы, но это сложно. С другой стороны участие в воздействии огромного числа молекул, направления движения которых равновероятны, позволяет считать это воздействие практически непрерывным по времени по всей поверхности, а воздух рассматривать как **сплошную среду** занимающую объем без пустоты и межмолекулярных промежутков.
- Такая схема, позволяющая рассматривать обтекание тела не как процесс бомбардировки множеством молекул, а как обтекание сплошной средой называется **гипотезой сплошной среды**.
- Сплошная среда имеет определенные механические свойства (вязкость, сжимаемость, инертность), которые характеризуются параметрами: **температурой, плотностью и давлением**.

- **Температурой** воздуха называется **степень его нагретости**. Она характеризует скорость хаотического движения молекул воздуха: чем больше температура, тем быстрее движутся молекулы, и наоборот.
- Для измерения температуры используют способность тел (например, ртути) расширяться при сообщении им тепла.
- Температура измеряется по шкалам **Цельсия** и **Кельвина**. За ноль по шкале Цельсия принята температура таяния льда, а за  $100^{\circ}$  — температура кипения воды. Нулю по шкале Кельвина соответствует температура, при которой прекращается хаотическое (тепловое) движение молекул. Доказано, что это происходит при температуре, равной —  $-273^{\circ}$  по шкале Цельсия.
- Связь между температурой в градусах Цельсия и температурой в градусах Кельвина выражается формулой

$$T^{\circ}\text{К} = t^{\circ}\text{С} + 273^{\circ},$$

- где  $T^{\circ}\text{К}$  — температура, *град* Кельвина;
- $t^{\circ}\text{С}$  — температура, *град* Цельсия.

- **Давлением** воздуха называется сила, действующая на единицу поверхности перпендикулярно к ней.

$$P = F/S$$

- Давление газа является результатом силового воздействия (ударов) его молекул на оболочку. Давление измеряется в *мм рт. ст.*,  $\text{кг}/\text{см}^2$ ,  $\text{кг}/\text{м}^2$  и других единицах. Давление воздуха, равное  $1 \text{ кг}/\text{см}^2$  ( $735,6 \text{ мм рт. ст.}$ ), называется технической атмосферой.
- В физике под давлением, равным  $1 \text{ атм}$ , подразумевается давление воздуха, равное  $1,0332 \text{ кг}/\text{см}^2$  ( $760 \text{ мм рт. ст.}$ ).
- Давление вызванное хаотическим движением молекул называется **статистическим**. Оно характеризует энергию сил давления.  $P_{\text{ст}}$   
Дополнительное давление возникающее при движении некоторого объема воздуха называется **динамическим**. Оно характеризует кинетическую энергию воздуха.  $P_{\text{дин}} = \rho V^2/2$  - скоростной напор
- Величина статистического давления не зависит от положения тела в воздухе. А величина динамического давления зависит от положения тела в воздухе.
- Полное давление действующее на тело равно сумме статистического и динамического давления.

$$P = P_{\text{ст.}} + P_{\text{дин}}$$

- **Плотностью** воздуха  $\rho$  называется масса его, заключенная в единице объема и характеризует степень его концентрации т. е.

$$\rho = m / V$$

- где  $m$  — масса воздуха
- $V$  — объем воздуха, имеющий массу  $m$ .

**Давление, плотность и температура связаны между собой уравнением состояния (уравнение Клайперона):**

$$RT = P / \rho$$

где  $p$  — давление,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;

$\rho$  — плотность,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;

$T$  — температура, град Кельвина.

- $R$  — универсальная газовая постоянная. Равна работе 1 кг воздуха при нагревании его на 1 градус при постоянном давлении.

## Изменение параметров воздуха с высотой

- Основные параметры воздуха—температура , давление, плотность ,с подъемом на высоту изменяются.
- С увеличением высоты давление монотонно убывает, плотность также уменьшается, но медленнее давления, что вызвано изменением температуры.
- Температура воздуха примерно до 11 км уменьшается в среднем на каждый километр на 6,5 °С.

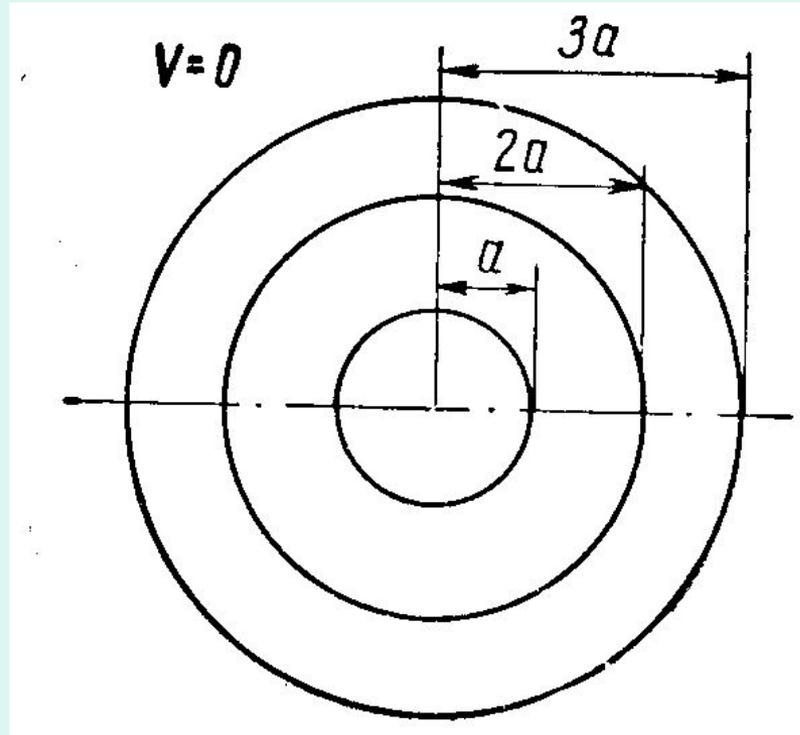


## Основные физические свойства воздуха

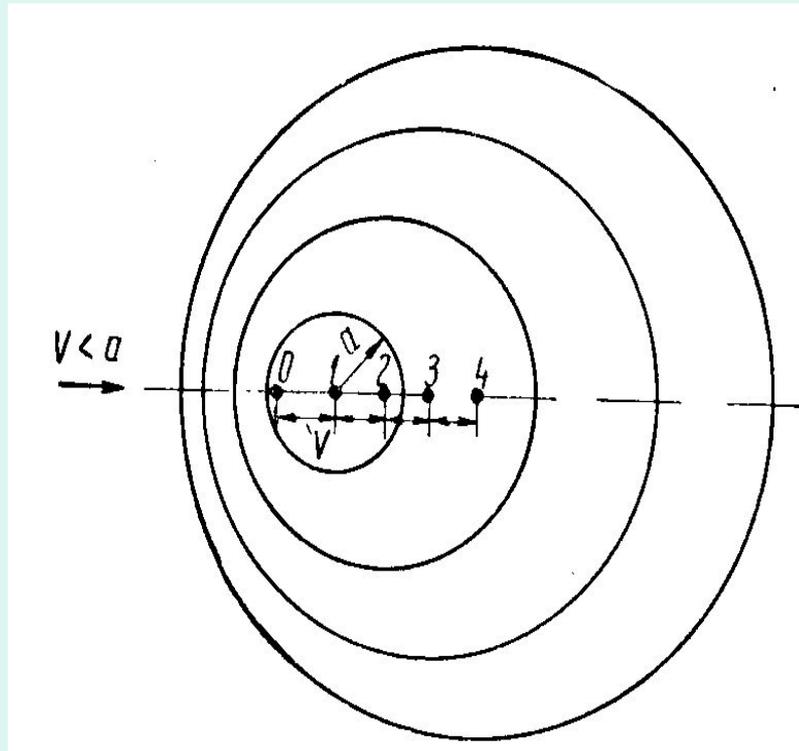
- При полете самолета (вертолета) возникают силы, которые называются аэродинамическими. Их возникновение связано с определенными физическими свойствами воздуха, проявляющимися при движении, а именно: инертностью, вязкостью и сжимаемостью.  
**Инертность** — свойство газов сопротивляться воздействию внешних сил. Мерой инертности тела является его масса.  
• Чем больше плотность воздуха, тем больше инертность единицы объема, т. е. тем большую силу нужно к нему приложить, чтобы вывести его из состояния покоя или равномерного движения.  
Чем больше сила, действующая на воздух, тем больше и сила, действующая со стороны воздуха на тело.  
**Вязкость** — способность газа сопротивляться взаимному сдвигу частиц. Вязкость особенно сильно проявляется вблизи твердых поверхностей.  
**Сжимаемость** — свойство воздуха изменять объем (и следовательно, плотность) под действием давления или при изменении температуры.
- Способность воздуха сжиматься (уменьшать свой объем) объясняется большим расстоянием между молекулами.

- **Звуком** называется процесс распространения в воздухе небольших изменений давления и плотности. Эти изменения распространяются в виде сферических волн, скорость перемещения которых является **скоростью звука (а)**.  
Распространение звуковых волн происходит путем передачи энергии через колебательные движения молекул в пределах длины их свободного пробега. При изменении скорости и высоты изменяется плотность воздуха, а значит будет изменяться и скорость звука.
- Чем выше температура, тем больше кинетическая энергия и скорость хаотического движения молекул, тем больше скорость звука.
- С увеличением высоты плотность воздуха уменьшается, сжимаемость увеличивается, скорость звука уменьшается

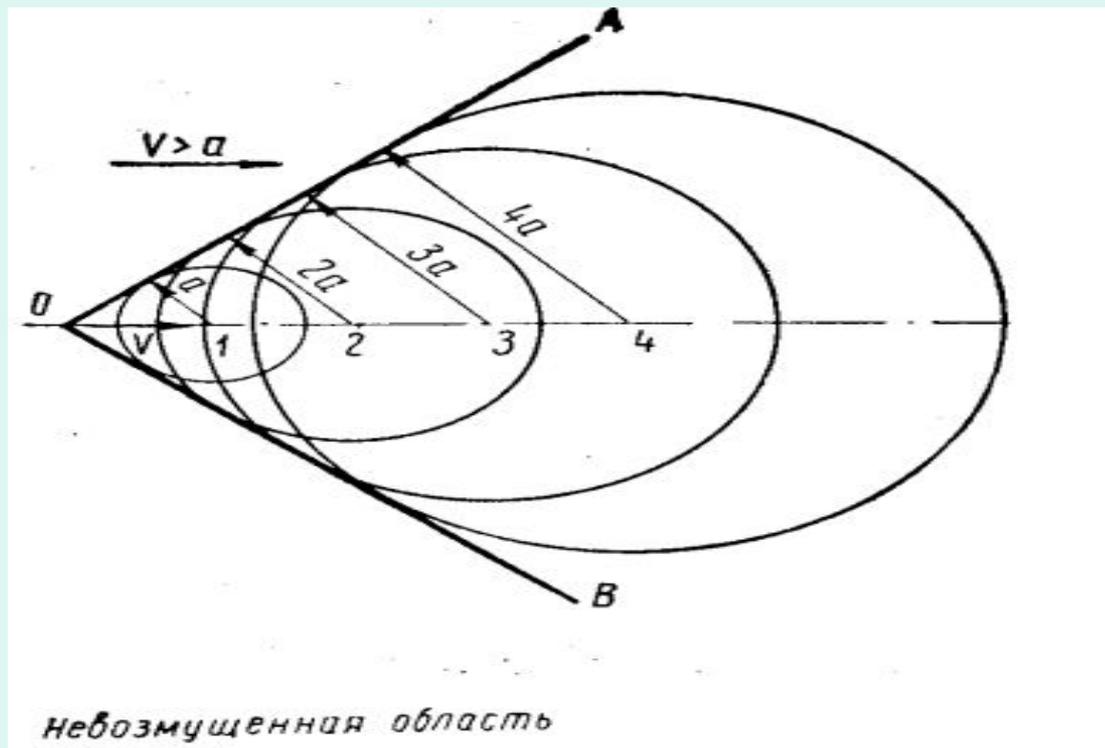
$$a=340 - 4H \quad \text{где } H\text{- высота в километрах}$$



Если источник звука и воздух неподвижны, то звуковые волны распространяются равномерно во все стороны со скоростью звука



Если источник возмущений **O** движется справа налево равномерно со скоростью **V**, причем **V < a**. В этом случае сферические волны возмущений, посылаемые каждую секунду источником **O**, будут переноситься слева направо. Радиус волны будет возрастать на величину скорости звука **a** и одновременно центр волны смещается вправо на величину скорости движения объекта **V**.



Если скорость движения объекта больше скорости звука, т.е.  $V > a$ , то в этом случае радиус волны возрастает на величину  $a$  и одновременно центр волны смещается вправо на величину  $V$ , большую, чем возрастание радиуса, так как  $V > a$ . Т.о. сам источник при этом будет находиться за пределами всех сферических волн, им посланных. Это семейство сферических волн имеет общую огибающую в виде круглого конуса  $AOB$ .

Образующая конической поверхности называется граничной волной слабых возмущений (волной Маха, где **число Маха (M)**- это критерий оценивающий сжимаемость воздуха, который включает скорость движения тела и скорость звука).

$$M=V/a$$

- Не всегда возмущения бывают слабыми, например при взрыве, пролете самолета возникают сильные возмущения- **ударные волны (скачки уплотнения)**.
- Они представляют собой тонкий слой сильно уплотненного воздуха на фронте которого резко возрастают давление, плотность и температура.

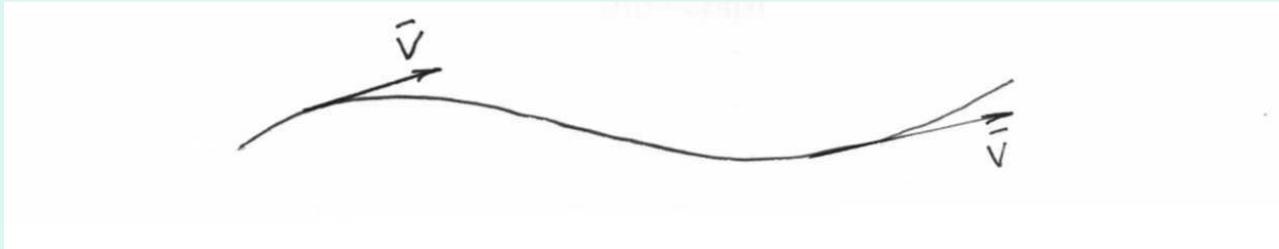
# МЕЖДУНАРОДНАЯ СТАНДАРТНАЯ АТМОСФЕРА

- Атмосфера никогда не бывает спокойной, в ней постоянно происходит изменение параметров воздуха (давления, температуры и плотности). Чтобы иметь возможность сравнивать характеристики различных летательных аппаратов (ЛА), введена так называемая **Международная стандартная атмосфера (МСА)**.
- МСА – это система параметров атмосферы, в основу которой положены следующие значения нулевого параметра воздуха:
  - барометрическое давление  $P = 760$  мм рт. ст. ( $P_0 = 10330$  кгс/м<sup>2</sup>);
  - температура  $t = +15^\circ\text{C}$  ( $T_0 = 288$  К);
  - массовая плотность  $\rho_0 = 0,125$  кгс см<sup>4</sup>;

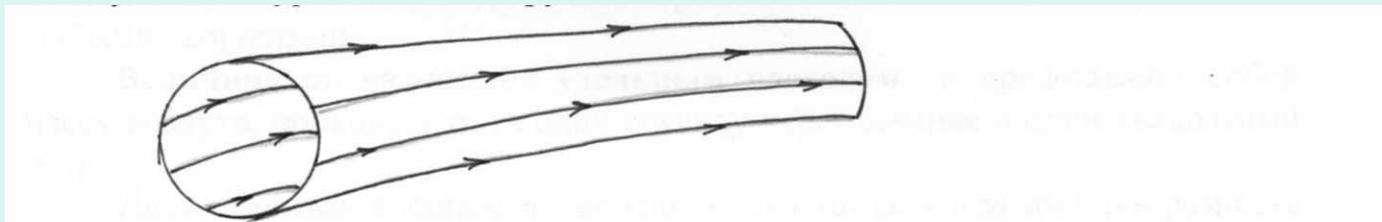
## Вопрос №4 Воздушный поток, основные понятия и законы движения воздуха.

- **Воздушным потоком** называют массу воздуха движущуюся относительно какого-либо тела. Эта масса может быть ограниченной (аэродинамическая труба) или неограниченной (полет ЛА в воздухе).
- Параметры состояния и движения воздуха называют параметрами воздушного потока, а изменения этих параметров – **возмущениями** ( $\Delta P$ ,  $\Delta \rho$ ,  $\Delta V$ ).
- **Идеальным газом** считают газ, в котором отсутствуют силы вязкости и молекулы газа не имеют объема.
- **Установившимся** называется поток, в каждой точке которого параметры газа не изменяются с течением времени.

- Линия в воздушном потоке, в каждой точке которой вектор скорости частиц направлен по касательной к ней, называется **линией тока**.



- Поверхность, образованная линиями тока, проведенными через замкнутый контур называется **трубкой тока**. Воздух, текущий внутри трубки тока, называется **стружкой**



## Литература на самоподготовку:

- 1. Волошенков С.Н. Аэродинамика. Учебное пособие. УВВАУЛ. Уфа, 1995 г. с. 1-22;
- 2. Володко А.М. Основы аэродинамики и динамики полета вертолета. Учебное пособие-М. Транспорт, 1998 г. с. 15-27;
- 3. Ромасевич В.Ф. Практическая аэродинамика вертолетов. Учебное пособие- М. Воениздат, 1980 г. с.3-19;
- 4. **В сети Интернет:** фильм «Вертолеты. История создания» часть 1,2.