

# Набор высоты

(«Практическая аэродинамика и динамика полета» П.Т. Бехтир, глава 3)

## 1. Общие сведения о наборе высоты

Схема сил, действующих на самолет при наборе высоты, изображена на рисунке 1.

Для осуществления набора высоты необходимо:

а) для выполнения полета с постоянным углом набора:

$$Y = G_y = G \cos \theta_H$$

б) для выполнения набора высоты с постоянной скоростью:

$$P_H = X + G_x = X + G \sin \theta_H$$

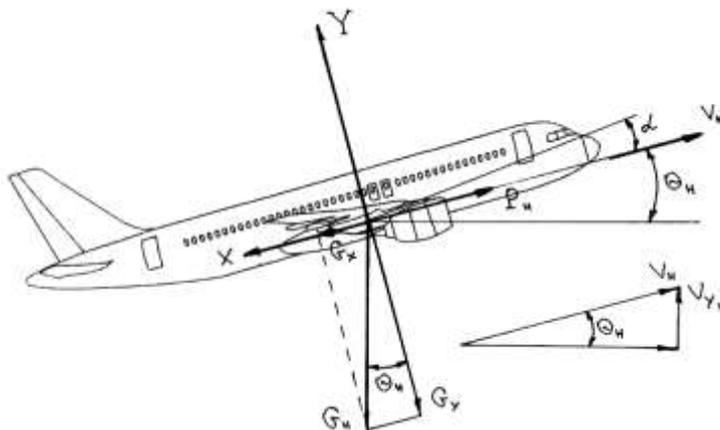


Рисунок 1

Воспользовавшись первым условием:

$$Y = C_y \frac{\rho V^2}{2} S = G \cos \theta_H$$

определим скорость, требуемую при наборе высоты:

$$V_H = \sqrt{\frac{2G \cos \theta_H}{C_y \rho S}} = V_{zn} \sqrt{\cos \theta_H}$$

Так как углы набора транспортных самолетов небольшие, то подъемная сила самолета практически равна полетному весу самолета. Учитывая это, скорость при наборе высоты практически равна скорости горизонтального полета и зависит от полетного веса самолета, угла атаки и плотности воздуха (температуры, давления и высоты полета). Влияние этих факторов на требуемую скорость рассмотрено в гл. 3. Воспользовавшись вторым условием  $P=X+G\sin\theta_H$ , определим тягу, требуемую при наборе высоты.

Для уравновешивания лобового сопротивления при наборе высоты необходима тяга такая же, как и в горизонтальном полете, т.е.  $P_{гн}=X=G/K$ . Составляющую веса  $G\sin\theta_H$  уравновешивает избыток тяги  $\Delta P$ . Следовательно,

$$P_H = P_{zn} + \Delta P = \frac{G}{K} + G \sin \theta_H$$

Как видно, тяга, необходимая для набора высоты, больше тяги, необходимой в горизонтальном полете, на величину  $G \sin \theta_H = \Delta P$ , причем, чем больше полетный вес и угол набора, тем требуется больше дополнительной тяги.

При выполнении набора высоты  $\Delta P = G \sin \theta_H$ . Из этого выражения можно определить угол набора высоты:

$$\sin \theta_H = \frac{\Delta P}{G} = \frac{P_P - P_{ПП}}{G}$$

Как видно из формулы, величина угла набора высоты зависит от избытка тяги  $\Delta P$  и веса самолета.

Наибольший угол набора самолет имеет при угле атаки, близком к наивыгоднейшему, так как при этом избыток тяги максимальный.

Вертикальная скорость набора высоты – это высота, которую набирает самолет за 1 с. Из треугольника скоростей (см. рисунок 1):

$$V_y = V \sin \theta_H = V \frac{\Delta P}{G}$$

Как видно из формулы, вертикальная скорость набора зависит от скорости набора, избытка тяги и веса самолета. Наибольшую вертикальную скорость имеет самолет при данном полетном весе на угле атаки, где  $(\Delta P \cdot V_H)_{\max}$ .

Скорость полета, при которой самолет имеет  $V_{y \max}$ , называется наивыгоднейшей скоростью набора высоты  $V_{\text{нв.наб}}$ .

При уменьшении веса самолета необходимая тяга горизонтального полета уменьшается, а избыток тяги увеличивается. Кроме того, при меньшем полетном весе его составляющая  $G_x = G \sin \theta_H$  также меньше. Следовательно, самолет, имеющий меньший полетный вес, при одном и том же угле атаки имеет большую вертикальную скорость и угол набора высоты. С поднятием на высоту при любом угле атаки избыток тяги уменьшается, а значит, угол набора высоты и вертикальная скорость также уменьшаются.

Уменьшение избытка тяги происходит вследствие уменьшения располагаемой тяги с поднятием на высоту. Кроме того, при наборе высоты полетный вес самолета вследствие выгорания топлива уменьшается, благодаря чему несколько задерживается уменьшение избытка тяги, угла набора и вертикальной скорости.

## **2. Поляры скоростей набора высоты. Первые и вторые режимы набора.**

Зависимость между скоростью по траектории, вертикальной скоростью и углом набора можно представить в виде одного графика, который носит название поляры скоростей набора высоты.

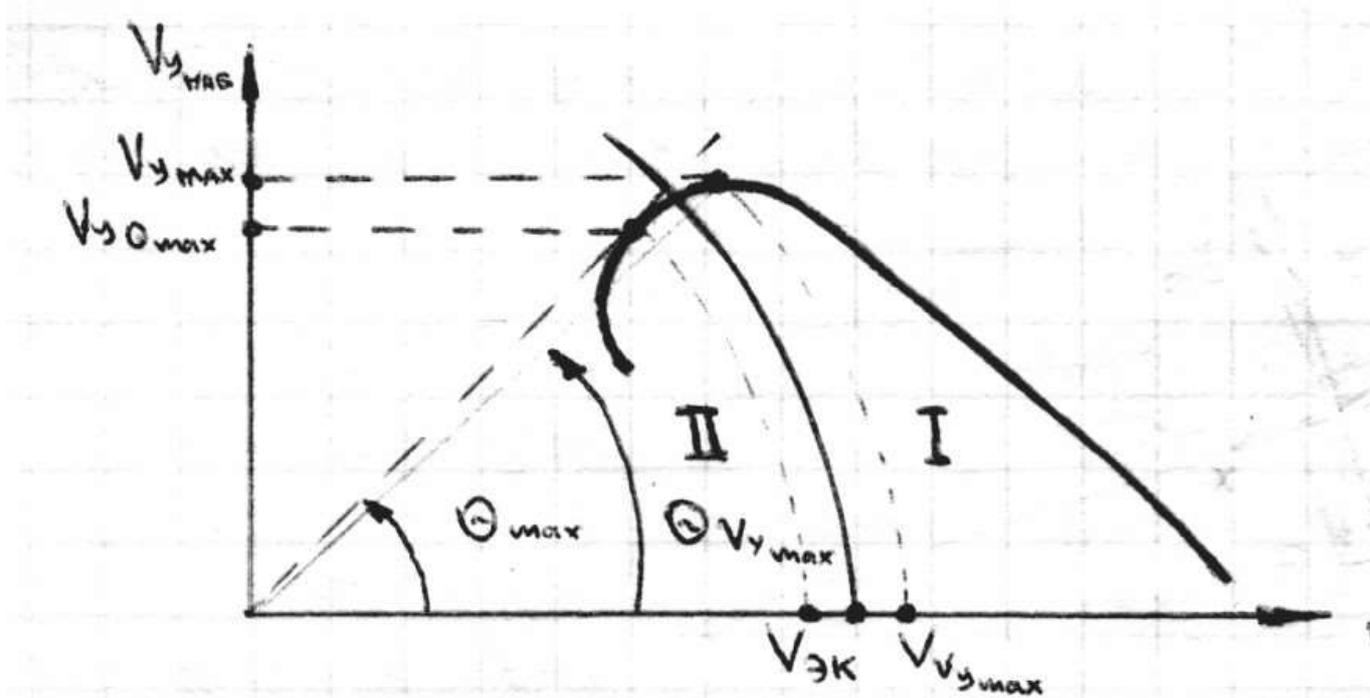


Рисунок 2. Поляра скоростей набора

Каждая точка поляры скоростей набора наглядно показывает скорость по траектории  $V$  (отрезок прямой, проведенной из начала координат в данную точку поляры), вертикальную скорость набора  $V_y$  (отрезок прямой, проведенной через данную точку поляры скоростей перпендикулярно к оси скоростей  $V$ ) и угол набора - угол, заключенный между вектором скорости  $V$  и осью скорости полета.

Опускаясь из любой точки кривой на горизонтальную ось по дуге окружности с центром в начале координат, можно отсчитать скорость полета по траектории набора.

Поляра скоростей набора позволяет определить характерные режимы установившегося набора и соответствующие максимальный угол набора и максимальную вертикальную скорость набора.

Режим наиболее быстрого набора высоты – определяется проведением касательной к поляре скоростей набора параллельно оси скорости. Этот режим набора применяется в случае необходимости быстро набрать заданную высоту.

Режим наиболее крутого набора – определяется проведением касательной к поляре скоростей из начала координат. Этот режим набора применяется, когда необходимо «перетянуть» самолет через близко расположенное препятствие.

На поляре скоростей набора также можно найти режим максимальной теоретической скорости набора (определяется проведением касательной дуги к поляре скоростей набора с центром в начале координат).

Границей первых и вторых режимов набора, как и в горизонтальном полете, является наивыгоднейшая скорость.

Режимы набора в диапазоне скоростей от  $V_{\text{мин теор}}$  до  $V_{\text{нв}}$ , для которых  $\frac{d\theta}{dV} > 0$ , называются вторыми.

Первые режимы набора имеют место в диапазоне скоростей от  $V_{\text{нв}}$  до  $V_{\text{макс}}$ , для которых  $\frac{d\theta}{dV} < 0$ .

Кроме особенностей, рассмотренных выше применительно к горизонтальному полету, для вторых режимов установившегося набора характерно так называемое обратное действие руля высоты, отклонение руля высоты вверх (взятие ручки управления самолетом на себя) в конечном счете приводит не к увеличению, как в первом режиме, а к уменьшению угла наклона траектории.

При взятии ручки управления на себя угол атаки увеличивается, подъемная сила  $Y$  возрастает и траектория сначала искривляется вверх, т. е. угол набора увеличивается. Однако самолет не имеет возможности уравновеситься на более крутой траектории, так как избыток тяги  $\Delta P_1$ , имевшийся в исходном режиме полета и уравнивающий составляющую веса  $G \sin \theta_1$ , окажется недостаточным для уравнивания возрастающей составляющей силы веса самолета  $G \cdot \sin \theta_1'$  при новом увеличенном угле набора  $\theta_1' > \theta_1$ .

Скорость, а значит, и подъемная сила начинают уменьшаться, а траектория, ставшая сразу после взятия ручки управления на себя более крутой, будет постепенно (по мере падения скорости) отклоняться вниз. Так как на вторых режимах избыток тяги с уменьшением скорости уменьшается, то равенство

$\Delta P_2 = G \sin \theta$  будет достигнуто лишь при новом угле набора траектории  $\theta_2 < \theta_1$ .

На первых режимах набора взятие ручки управления самолетом на себя сопровождается увеличением угла набора, так как уменьшение скорости (после взятия ручки управления на себя) вызывает увеличение избытка тяги, а большему избытку тяги соответствует более крутой набор самолета.

### 3. Потолок самолета

С подъемом на высоту избыток тяги уменьшается и на какой-то определенной высоте становится равным нулю. А это значит, что и вертикальная скорость установившегося набора тоже уменьшится до нуля. На этой высоте и выше самолет не имеет возможности совершать установившийся набор.

Высота полета, на которой вертикальная скорость установившегося набора равна нулю, называется теоретическим (или статическим) потолком самолета.

На теоретическом потолке избытка тяги нет, поэтому возможен только горизонтальный полет и только на наивыгоднейшем угле атаки (и только на наивыгоднейшей скорости), на котором наименьшая потребная тяга.

Диапазон скоростей при этом равен нулю.

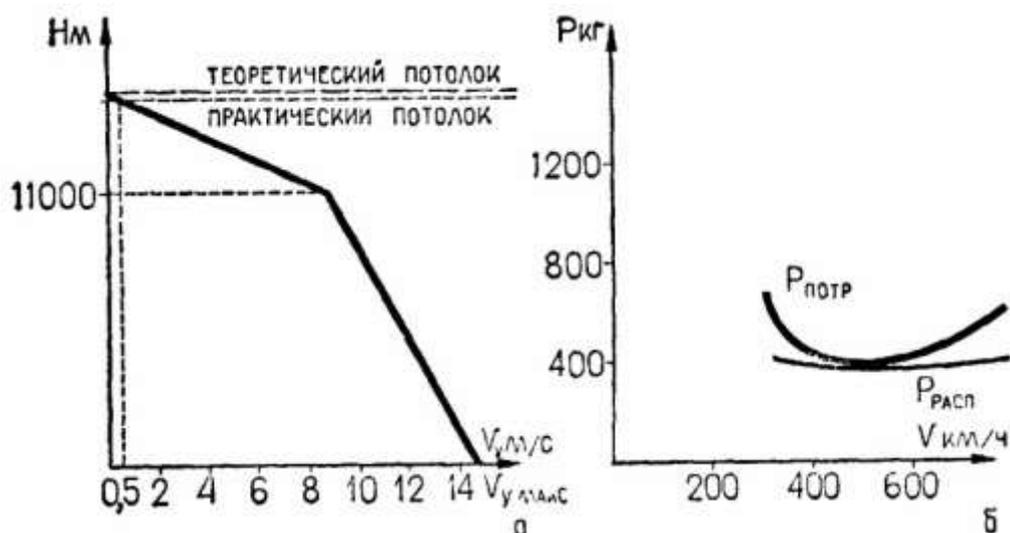


Рисунок 3. К определению потолка самолета:  
 а - график зависимости  $V_y$  от высоты полета;  
 б - кривые потребных и располагаемых тяг на теоретическом потолке

При установившемся наборе самолет практически не может достигнуть теоретического потолка, так как по мере приближения к нему избыток тяги становится настолько мал, что для набора оставшейся высоты потребуются затратить слишком много времени и топлива. Из-за отсутствия избытка тяги полет на теоретическом потолке практически невозможен, потому что любые нарушения режима полета без избытка тяги нельзя устранить. Например, при случайно образовавшемся даже небольшом крене самолет теряет значительную высоту (проваливается). Поэтому кроме понятия теоретического (статического) потолка введено понятие так называемого практического потолка.

Условно считают, что практический потолок самолета есть высота, на которой максимальная вертикальная скорость набора равна 0,5 м/с.

Разница между теоретическим и практическим потолком у современных самолетов невелика и не превышает 200 м. Теоретический и практический потолки можно определить по графику (см. рисунок 3).

#### 4. Влияние ветра на набор высоты

Проведенные расчеты и построение графиков барограммы и траектории набора были выполнены для штилевых условий. В действительности движение самолета осуществляется при наличии ветра и представляет собой сложное движение, состоящее из относительного движения самолета с воздушной скоростью и переносного движения самолета вместе с массой воздуха со скоростью ветра  $W$  (см. рисунок 4)

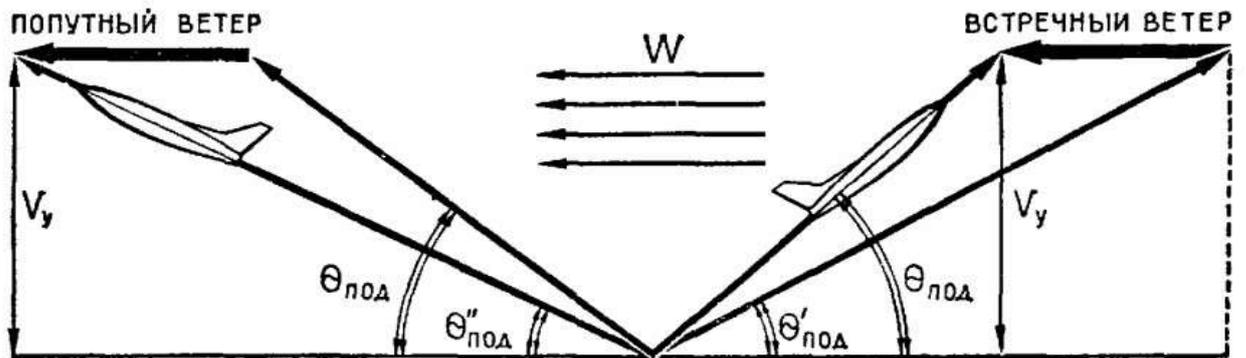


Рисунок 4. Влияние ветра на набор высоты

Скорость самолета относительно земли, так называемая путевая скорость, равна геометрической сумме относительной (воздушной) и переносной (скорости ветра) скоростей. Если самолет летит в безветрие, то  $\Delta_{\text{пуг}} = \Delta W$ , если против ветра, то  $\Delta_{\text{пуг}} = \Delta \Delta W$ , при попутном ветре  $\Delta_{\text{пуг}} = \Delta \Delta W$

В связи с этим изменяется угол набора высоты  $\theta$ . Величина же вертикальной скорости подъема остается неизменной. При наборе со встречным ветром угол подъема больше, а проходимый путь меньше, чем при безветрии. Набор при попутном ветре будет проходить с меньшим углом набора, т. е. более полого, и самолет будет проходить большее расстояние.