

Министерство транспорта Российской Федерации (Минтранс России)  
Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация)  
ФГОУ ВПО “Санкт-Петербургский государственный университет  
гражданской авиации”

**И.И. Алешков**

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ АЭРОНАВИГАЦИИ**

Учебное пособие

Санкт-Петербург

2009

Министерство транспорта Российской Федерации (Минтранс России)  
Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация)  
ФГОУ ВПО “Санкт-Петербургский государственный университет  
гражданской авиации”

**И.И. Алешков**

## **РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ АЭРОНАВИГАЦИИ**

Учебное пособие

Допущено УМО по образованию в области аэронавигации  
в качестве учебного пособия для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки “Аэронавигация” и специальностям  
высшего профессионального образования “Эксплуатация воздушных судов и  
организация воздушного движения”, “Летная эксплуатация воздушных судов”  
и “Аэронавигационное обслуживание и использование воздушного  
пространства”

Санкт-Петербург

2009

**АЛЕШКОВ И.И. РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПО ОСНОВАМ АЭРОНАВИГАЦИИ:**

Учебное пособие / Университет ГА. С.-Петербург, 2009.

В краткой форме рассматриваются вопросы, относящиеся к основам аэронавигации, наиболее распространенные типы задач, решаемые в процессе подготовки к полету и при выполнении полета. Приводится порядок решения задач, а также даются контрольные задачи по каждой из рассматриваемых тем. Для проверки правильности решения контрольных задач приведены ответы.

Предназначено для студентов всех факультетов и специализаций, изучающих дисциплину “Аэронавигация”. Может быть использовано летным и диспетчерским составом производственных подразделений.

Ил. 38, табл. 6, библи. 7 назв.

Рецензенты:

Г.В.Коваленко, докт. техн. наук проф.

И.Б. Кузнецов, канд. техн. наук доц.

## Оглавление

|                                                                                |     |
|--------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Список сокращений .....                                                        | 4   |
| 1. Определение направления движения ВС .....                                   | 6   |
| 2. Определение высоты и воздушной скорости полета .....                        | 19  |
| 2.1. Расчет безопасных высот .....                                             | 24  |
| 2.2. Расчет элементов вертикального маневрирования .....                       | 31  |
| 2.3. Определение воздушной скорости полета .....                               | 43  |
| 3. Влияние ветра на полет ВС .....                                             | 54  |
| 3.1. Определение ожидаемой путевой скорости и требуемого<br>курса полета ..... | 57  |
| 3.2. Определение направления и скорости ветра .....                            | 59  |
| 3.3. Эквивалентный ветер .....                                                 | 63  |
| 4. Применение угломерных радионавигационных систем .....                       | 67  |
| 4.1. Полет от радиостанции .....                                               | 69  |
| 4.2. Полет на радиостанцию .....                                               | 76  |
| 4.3. Определение места воздушного судна .....                                  | 81  |
| 5. Применение БРЛС .....                                                       | 85  |
| 6. Комплексные задачи .....                                                    | 94  |
| Ответы .....                                                                   | 99  |
| Литература .....                                                               | 102 |

## **СПИСОК СОКРАЩЕНИЙ**

БРЛС – бортовая радиолокационная станция

БУ – боковое уклонение

ВС – воздушное судно

ВТ – воздушная трасса

ДП – дополнительная поправка

ЗИПУ – заданный истинный путевой угол

ЗМПУ – заданный магнитный путевой угол

ИК – истинный курс

ИПМ – исходный пункт маршрута

ИПС – истинный пеленг самолета

КК – компасный курс

КПМ – конечный пункт маршрута

КУВ – курсовой угол ветра

КУГ – курсовой угол грозы

КУО – курсовой угол ориентира

КУР – курсовой угол радиостанции

КУС – комбинированный указатель скорости

ЛБУ – линейное боковое уклонение

ЛЗП – линия заданного пути

ЛФП – линия фактического пути

МБВ – минимальная безопасная высота

МВЛ – местная воздушная линия

МК – магнитный курс

МПР – магнитный пеленг радиостанции

МПС – магнитный пеленг самолета

МС – место самолета

НВ – навигационный ветер

НЛ – навигационная линейка

НПП ГА – Наставление по производству полетов в гражданской авиации

НТС – навигационный треугольник скоростей

ПВД – приемник воздушного давления

ПВП – правила визуальных полетов

ПК – поправка в курс

ППМ – промежуточный пункт маршрута

ППП – правила полетов по приборам

ПР – пеленг радиостанции

ПС – пеленг самолета

ПУ – путевой угол

РЛЭ – Руководство по летной эксплуатации

РНТ – радионавигационная точка

ТНВ – термометр наружного воздуха

УС – угол сноса

ФИПУ – фактический истинный путевой угол

ФМПУ – фактический магнитный путевой угол

## 1. ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЯ ВС

Любое движение – относительно. Его скорость и направление зависят от системы отсчета. Относительно воздушной среды ВС движется с истинной воздушной скоростью. У самолетов она направлена почти точно по продольной оси ВС. Поэтому, если мы будем рассматривать движение относительно воздушной среды, то угловая величина, характеризующая направление перемещения, будет представлять собой курс воздушного судна.

**Курс** – это угол в горизонтальной плоскости между направлением, принятым за начало отсчета в точке местонахождения воздушного судна, и проекцией на эту плоскость продольной оси воздушного судна.

Отсчитывается по ходу часовой стрелки в диапазоне от 0 до 360° от принятого начала отсчета. За начало отсчета курсов может быть принято северное направление истинного, магнитного или опорного меридианов.

**Истинный меридиан** представляет собой часть большого круга, заключенного между полюсами Земли и проходящего через данную точку земной поверхности. В любой точке, кроме полюсов, меридиан имеет северное и южное направления.

Направлением **магнитного меридиана** называют направление горизонтальной составляющей вектора напряженности магнитного поля Земли в данной точке.

Направление **опорного меридиана** – это любое условное направление в горизонтальной плоскости, принятое за начало отсчета и жестко связанное с нулевой осью шкалы курсов идеального курсового гироскопа. Земной меридиан какой-либо точки маршрута (истинный или магнитный), совпадающий с этим направлением, также называют опорным меридианом.

В зависимости от выбранной системы отсчета получили название и применяемые курсы: истинный, магнитный и ортодромический соответственно (рис.1).

При измерении магнитного курса на ВС чувствительный элемент магнитного компаса, кроме земного магнетизма, подвергается влиянию магнитных сил и источников постоянного электрического поля ВС. Поэтому измеренный курс, называемый компасным курсом, не совпадает с магнитным курсом. Условно считают, что компасный курс отсчитывается от некоторого другого направления, называемого **компасным меридианом**.

Все перечисленные начальные направления отсчета курсов, как правило, не совпадают друг с другом. Их взаимное положение определяется с помощью определенных угловых поправок.

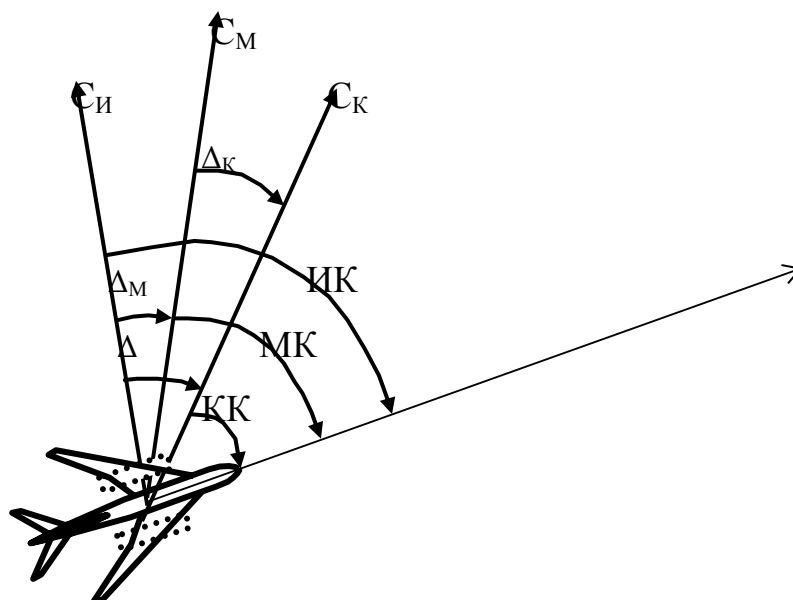


Рис. 1. Истинный (ИК), магнитный (МК) и компасный (КК) курсы ВС

Угол, заключенный между северным направлением истинного и магнитного меридианов, называется **магнитным склонением**  $\Delta_M$ . Отсчитывается от северного направления истинного меридиана до северного направления магнитного меридиана (к востоку со знаком “+”, а к западу “-”, то есть, если истинный меридиан расположен левее (западнее) магнитного, то магнитное склонение положительно и наоборот, если магнитный меридиан расположен левее (западнее) истинного, то магнитное склонение отрицательно).

Угол, заключенный между северным направлением магнитного и компасного меридианов, называется **девиацией**  $\Delta_K$ . Отсчитывается от северного направления магнитного меридиана до северного направления компасного меридиана (к востоку со знаком “+”, а к западу “-”).

Угол, заключенный между северным направлением истинного и компасного меридианов, называется **вариацией**  $\Delta$ . Отсчитывается от северного направления истинного до северного направления компасного меридиана. Вариация равна сумме магнитного склонения и девиации  $\Delta = \Delta_M + \Delta_K$ .

Угол, заключенный между северными направлениями опорного и истинного меридианов, называется **азимутальной поправкой**  $\Delta_a$ .

Угол, заключенный между северным направлением опорного и магнитного меридианов, называется **условным магнитным склонением**  $\Delta_{My}$ .

Основным принципом использования курсовых приборов является их комплексное применение, что требует перехода от одной системы измерения курса к другой. Чтобы избежать ошибок при таком переходе, следует использовать правило учета поправок. Оно основано на том, что, как правило, пилот снимает показания с прибора, а потом последовательно вводит различные поправки, получая все более правильное (истинное) значение.

Правило учета поправок в навигации: *при переходе от приборных значений к истинным все поправки прибавляются (учитываются со своим знаком), а при переходе от истинных значений к приборным все поправки вычитаются (с учетом их знаков).*

Это правило применимо не только к курсам, но и к путевым углам, пеленгам, высотам, скоростям и т.п.

Знание и правильное использование этого правила заменяет запоминание десятков формул. На примере курсов оно показано в виде мнемонической схемы (рис.2). В левой части схемы – приборные величины, а при перемещении вправо они становятся все более истинными. Необходимо обратить внимание, что ортодромический курс считается более истинным, чем истинный курс.

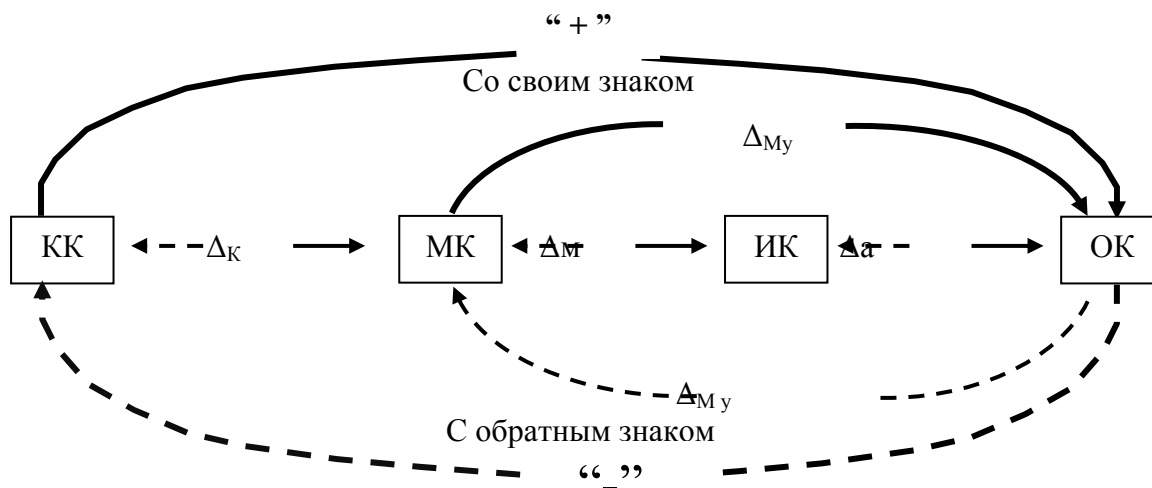


Рис. 2. Правило перевода курсов

С помощью этой схемы можно получить любые формулы, например:

$$\text{ИК} = \text{МК} + \Delta_M;$$

$$\text{МК} = \text{ИК} - \Delta_M;$$

$$\text{ИК} = \text{КК} + \Delta = \text{КК} + \Delta_M + \Delta_K;$$

$$\text{КК} = \text{ИК} - \Delta = \text{ИК} - \Delta_M - \Delta_K;$$

$$\text{МК} = \text{КК} + \Delta_K;$$

$$\text{КК} = \text{МК} - \Delta_K;$$

$$\Delta_K = \text{МК} - \text{КК};$$

$$\Delta_M = \text{ИК} - \text{МК};$$

$$\Delta = \text{ИК} - \text{КК};$$

$$\text{ОК} = \text{ИК} + \Delta_a = \text{МК} + \Delta_{My}.$$

Настоятельно рекомендуется использовать именно правило учета поправок, а не запоминать формулы или пытаться вывести формулы с помощью рисунка с изображением меридианов. Это обычно приводит к ошибкам.

**Пример 1.**  $\text{КК} = 86^\circ$ ;  $\Delta_K = -3^\circ$ ;  $\Delta_M = 9^\circ$ . Определить МК, ИК и  $\Delta$ .

**Решение.** Поскольку переход осуществляется в направлении более истинных величин, поправки прибавляются (с учетом их знака).

$$\text{МК} = \text{КК} + \Delta_K = 86 + (-3) = 83^\circ;$$

$$\text{ИК} = \text{КК} + \Delta_M + \Delta_K = 86 + (-3) + (+9) = 92^\circ;$$

$$\Delta = \Delta_M + \Delta_K = (-3) + (+9) = +6^\circ.$$

**Пример 2.**  $МК = 264^\circ$ ;  $\Delta_K = + 2^\circ$ ;  $\Delta = - 14^\circ$ . Определить КК, ИК и  $\Delta_M$ .

**Решение.** Компасный курс более приборный, чем магнитный, поэтому девиация вычитается:

$$КК = МК - \Delta_K = 264 - 2 = 262^\circ.$$

Истинный курс более истинный, чем компасный, поэтому вариация, которая служит для перехода от компасного курса к истинному, прибавляется.

$$ИК = КК + \Delta = 262 + (- 14) = 248^\circ.$$

$$\Delta_M = \Delta - \Delta_K = - 14 - 2 = - 16^\circ.$$

### ЗАДАЧИ

1.  $КК = 236^\circ$ ;  $\Delta_K = + 5^\circ$ . Определить МК.
2.  $КК = 22^\circ$ ;  $\Delta_K = - 2^\circ$ ;  $\Delta_M = - 8^\circ$ . Определить МК, ИК.
3.  $КК = 164^\circ$ ;  $\Delta_K = + 2^\circ$ ;  $\Delta = + 12^\circ$ . Определить МК, ИК,  $\Delta_M$ .
4.  $МК = 328^\circ$ ;  $\Delta_K = - 4^\circ$ ;  $\Delta_M = + 6^\circ$ . Определить КК, ИК,  $\Delta$ .
5.  $МК = 78^\circ$ ;  $\Delta_M = + 6^\circ$ . Определить ИК.
6.  $МК = 8^\circ$ ;  $\Delta_K = - 4^\circ$ ;  $\Delta = - 9^\circ$ . Определить КК, ИК.
7.  $МК = 285^\circ$ ;  $\Delta_K = + 5^\circ$ . Определить КК.
8.  $МК = 136^\circ$ ;  $\Delta_K = - 4^\circ$ ;  $\Delta_M = - 13^\circ$ . Определить КК, ИК,  $\Delta$ .
9.  $КК = 44^\circ$ ;  $\Delta_K = + 3^\circ$ ;  $\Delta = - 7^\circ$ . Определить МК, ИК.
10.  $ИК = 155^\circ$ ;  $\Delta_M = - 11^\circ$ . Определить МК.
11.  $ИК = 268^\circ$ ;  $\Delta_K = - 4^\circ$ ;  $\Delta_M = - 13^\circ$ . Определить КК, МК.
12.  $ИК = 331^\circ$ ;  $\Delta_K = + 2^\circ$ ;  $\Delta_M = + 5^\circ$ . Определить КК, МК,  $\Delta$ .
13.  $ИК = 16^\circ$ ;  $\Delta_K = - 4^\circ$ ;  $\Delta = + 1^\circ$ . Определить КК, МК,  $\Delta_M$ .
14.  $ИК = 69^\circ$ ;  $\Delta_K = - 5^\circ$ ;  $\Delta_M = - 15^\circ$ . Определить КК, МК.
15.  $МК = 96^\circ$ ;  $\Delta_K = + 3^\circ$ ;  $\Delta_M = + 7^\circ$ . Определить КК, ИК,  $\Delta$ .

Другим основным направлением, необходимым для навигации, является направление линии пути, выражаемое в градусах путевого угла.

**Линия пути** – это проекция траектории полета воздушного судна на поверхность земли. Она может быть заданной и фактической.

Проекция фактической траектории полета на земную поверхность является **линией фактического пути**, а проекция заданной траектории полета – **линией заданного пути**.

**Фактический (заданный) путевой угол** – угол, заключенный между северным направлением меридиана, принятого за начало отсчета, и линией фактического (заданного) пути.

Вектор путевой скорости, характеризующий перемещение места самолета по земной поверхности, всегда направлен по касательной к ЛФП в данной точке. Поэтому фактический путевой угол можно определить и как угол между северным направлением меридиана и направлением вектора путевой скорости. Соответственно заданный путевой угол характеризует, куда должен быть направлен вектор путевой скорости, а фактический путевой угол – куда этот вектор направлен на самом деле в данный момент.

Путевые углы отсчитываются от направлений, принятых за начало отсчета, так же как и курсы.

Для определения фактического путевого угла в полете необходимо знать курс воздушного судна и фактический угол сноса на данном курсе:

$$\text{ФМПУ} = \text{МК} + \text{УС};$$

$$\text{ФИПУ} = \text{ИК} + \text{УС};$$

$$\text{ФМПУ} = \text{ФИПУ} - \Delta_{\text{м}}.$$

Не следует забывать, что УС имеет собственный знак (при сносе вправо – плюс, при сносе влево – минус). Угол сноса может быть измерен бортовым оборудованием (например, ДИСС), рассчитан по известному ветру или определен на контрольном этапе.

Из приведенных формул, которые справедливы во всех случаях, следует, что

$$\text{МК} = \text{ФМПУ} - \text{УС}.$$

Поскольку для полета по ЛЗП фактический путевой угол должен быть равен заданному ( $\text{ФМПУ} = \text{ЗМПУ}$ ), можно определить, какой именно курс (курс следования) необходимо выдерживать, чтобы выполнялось это условие.

Для этого в данную формулу можно подставить ЗМПУ (вместо ФМПУ) и расчетное (предполагаемое) значение угла сноса:

$$МКр = ЗМПУ - УСр.$$

Не следует забывать, что эта формула справедлива не для определения курса вообще (курс всегда можно определить по компасу), а только для расчета курса, обеспечивающего следование по ЛЗП.

Боковым уклонением называют угол между ЛЗП и направлением на ВС из начального ППМ участка маршрута. Это - угловая величина. Считается, что она имеет знак плюс при уклонении ВС вправо от ЛЗП и минус – при уклонении влево (рис. 3).

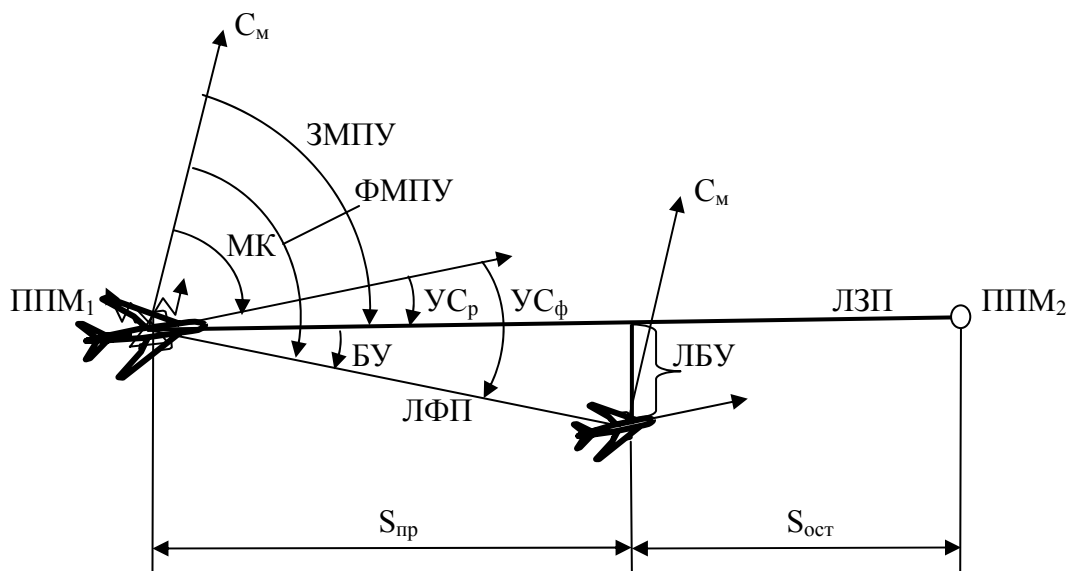


Рис. 3. Контроль пути по направлению

Если ВС достаточно точно прошло начальный ППМ участка маршрута и следовало с постоянным курсом (по прямой), то линия, соединяющая начальный ППМ с текущим ВС, и будет представлять собой ЛФП. Поскольку направление ЛФП характеризует ФМПУ, а направление ЛЗП – ЗМПУ, то в этом частном случае разность между ними и будет являться БУ:

$$БУ = ФМПУ - ЗМПУ.$$

Если ВС следовало с курсом МК, рассчитанным с помощью расчетного угла сноса УСр, но, тем не менее, уклонилось от ЛЗП, то очевидно, что расчетный угол сноса был не точен, а погрешность его определения это и есть БУ. От-

сюда следует, что фактический угол сноса может быть определен по зависимости:

$$УС_{\phi} = УС_p + БУ.$$

Не следует забывать, что каждая из входящих в формулу величин имеет свой знак, который должен учитываться при расчете.

Линейным боковым уклоном называется расстояние ВС от ЛЗП. Это - линейная величина, то есть измеряется в километрах. Знак у нее такой же, как и у БУ: при уклонении ВС вправо – плюс, влево – минус. Значение ЛБУ может быть определено по РТС, визуально или расчетным путем.

Пройденное расстояние  $S_{пр}$ , БУ и ЛБУ являются элементами прямоугольного треугольника (рис. 3), одной из вершин которого является начальный ППМ<sub>1</sub>, и поэтому связаны между собой следующими соотношениями:

$$ЛБУ = S_{пр} \operatorname{tg} БУ.$$

Эта зависимость может быть реализована с помощью НЛ с использованием следующего алгоритма (рис. 4):

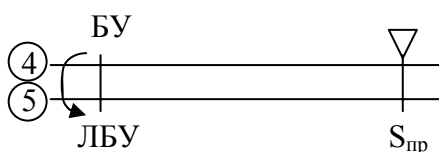


Рис. 4. Алгоритм расчета линейного бокового уклонения

$$БУ = \operatorname{arctg} (ЛБУ/S_{пр}).$$

При небольших значениях ЛБУ боковое уклонение в радианах равно

$$БУ = ЛБУ/S_{пр}$$

или в градусах

$$БУ = 57,3 ЛБУ/ S_{пр} \approx 60 ЛБУ/S_{пр},$$

и, наоборот, если известно БУ и пройденное расстояние, то

$$ЛБУ \approx БУ S_{пр}/60.$$

Эта формула может использоваться для расчетов в уме, особенно, если ее сформулировать в виде мнемонического правила: *на расстоянии (удалении) 60*



$$\text{ЛБУ} \approx \text{ДП } S_{\text{ост}}/60.$$

При расчете по этой формуле также можно пользоваться мнемоническим правилом (на удалении 60 км одному градусу соответствует один километр).

Зная оставшееся расстояние и ЛБУ, можно определить ДП, или, наоборот, зная ДП и оставшееся расстояние, можно узнать ЛБУ.

Таким образом, ЛБУ можно определить либо с помощью БУ, либо с помощью ДП:

$$\text{ЛБУ} \approx \text{БУ } S_{\text{пр}}/60 \text{ или } \text{ЛБУ} \approx \text{ДП } S_{\text{ост}}/60.$$

Приравняв правые части этих выражений и поделив обе части полученного равенства на произведение  $S_{\text{пр}} S_{\text{ост}}$ , можно получить пропорцию

$$\text{ДП} / S_{\text{пр}} = \text{БУ} / S_{\text{ост}}.$$

А поскольку пройденное и оставшееся расстояния пропорциональны пройденному и оставшемуся времени полета, то

$$\text{ДП} / t_{\text{пр}} = \text{БУ} / t_{\text{ост}}.$$

Из этих пропорций можно получить любые нужные формулы, например:

$$\text{ДП} = (S_{\text{пр}}/S_{\text{ост}}) \text{ БУ}$$

или

$$\text{ДП} = (t_{\text{пр}}/t_{\text{ост}}) \text{ БУ}.$$

В том случае, если отклонение ВС от ЛЗП или расстояние до ППМ невелико, можно рассчитать курс ( $\text{МК}_{\text{ппм}}$ ), при взятии которого ВС выйдет в конечный ППМ участка. Для этого нужно определить поправку в курс, с которым следовало ВС:

$$\text{ПК} = \text{БУ} + \text{ДП}.$$

Первое слагаемое в этой формуле как бы устраняет погрешность в курсе, с которым следовало ВС и уклонилось от ЛЗП. Если взять поправку в курс, равную только БУ, то ВС больше уклоняться не будет и, поскольку оно уже уклонилось, будет следовать параллельно ЛЗП. А для выхода в ППМ нужно развернуть ВС еще дополнительно на величину ДП (см. рис. 5), что и учитывает второе слагаемое формулы. Отсюда и произошло название “дополнительная поправка”.

**Пример 4.**  $МК = 236^\circ$ ;  $УС = - 3^\circ$ ;  $\Delta_M = +9^\circ$ . Определить ФИПУ.

**Решение.** 1. Определяем значение ИК по правилу учета поправок:

$$ИК = МК + (\Delta_M) = 236 + (+ 9) = 245^\circ.$$

2. Находим ФИПУ:

$$ФИПУ = ИК + (УС) = 245 + (- 3) = 242^\circ.$$

**Пример 5.** ВС точно прошло ППМ и следовало с постоянным  $МК = 312^\circ$ .

Определить БУ, если  $ЗМПУ = 317^\circ$ ;  $УС_\phi = + 8^\circ$ .

**Решение.** 1. Находим значение ФМПУ:

$$ФМПУ = 312 + (+ 8) = 320^\circ.$$

2. Рассчитываем значение БУ:

$$БУ = 320 - 317 = 3^\circ.$$

**Пример 6.** ВС точно прошло ППМ и следовало с постоянным  $МК = 82^\circ$ .

$ЗМПУ = 74^\circ$ ;  $S_{пр} = 72$  км;  $ЛБУ = - 4$  км. Определить ФМПУ.

**Решение.** 1. Рассчитываем величину БУ по формуле:

$$БУ = 60 \cdot (- 4) / 72 = - 3^\circ.$$

Можно воспользоваться и мнемоническим правилом. Если бы расстояние было 60 км, то 4 км ЛБУ дали бы БУ, равное  $4^\circ$ . Поскольку расстояние немного больше (72 км), то этому же ЛБУ соответствует несколько меньший угол ( $3^\circ$ ). Знак минус следует из того, что ВС уклонилось влево.

2. Находим расчетное значение угла сноса:

$$УС_p = ЗМПУ - МК = 74 - 82 = - 8^\circ.$$

Его можно определить и без формулы, на основе следующих простых рассуждений. Выполнять полет необходимо в направлении  $74^\circ$ , но пилот выдерживал курс  $82^\circ$ , то есть отвернул продольную ось ВС на  $8^\circ$  вправо, чтобы компенсировать влияние ветра. Следовательно, он считал, что ВС будет сносить на  $8^\circ$  влево, то есть расчетный угол сноса  $- 8^\circ$ .

3. Находим значение фактического угла сноса:

$$УС_\phi = УС_p + БУ = (- 8) + (- 3) = - 11^\circ.$$

4. Рассчитываем величину ФМПУ:

$$ФМПУ = 82 + (- 11) = 71^\circ.$$

## ЗАДАЧИ

16. Воздушное судно следует по участку маршрута, выдерживая  $МК = 90^\circ$ . С применением РТС навигации определен  $УС = - 6^\circ$ . Магнитное склонение в данном районе равно  $- 9^\circ$ . Определить значение ФИПУ.

17. Воздушное судно следует по участку маршрута, выдерживая  $МК = 210^\circ$ . Проложив на карте линию пути, экипаж получил значение  $ФИПУ = 202^\circ$ . Определить фактический угол сноса, если  $\Delta_M = - 8^\circ$ .

18. Воздушное судно следует по участку маршрута, выдерживая  $МК = 356^\circ$ . Угол сноса был измерен с помощью бортового радиолокатора  $УС = + 6^\circ$ . Найти значение ФМПУ и величину бокового уклонения, если  $ЗМПУ = 5^\circ$ .

19. Полет ВС выполняется по участку воздушной трассы с  $ЗМПУ = 243^\circ$ . Экипаж выдерживал курс  $МК = 248^\circ$ . После прохождения контрольного этапа  $S = 45$  км экипаж определил  $ЛБУ = 6$  км. Определить ФМПУ и  $УС_\phi$ .

20.  $ЗМПУ$  участка маршрута равен  $345^\circ$ . Пройдя половину участка с  $МК = 340^\circ$ , экипаж определил  $ФМПУ = 338^\circ$ . Найти значение  $МК$  выхода в ППМ.

21. Получив две отметки МС, экипаж по карте определил  $ФИПУ = 33^\circ$ . Определить величину бокового уклонения, если  $ЗМПУ$  участка маршрута равен  $28^\circ$ , магнитное склонение в данном районе равно  $+ 7^\circ$ , а экипаж выдерживал  $МК = 30^\circ$ .

22. Воздушное судно следует по участку маршрута, выдерживая  $МК = 268^\circ$ . В полете получено значение  $ФИПУ = 280^\circ$ . Определить величину угла сноса, если  $\Delta_M = + 6^\circ$ .

23. Выполняя полет по участку маршрута с  $ЗМПУ = 137^\circ$ , экипаж выдерживал  $МК = 130^\circ$ . На контрольном этапе длиной 75 км ВС уклонилось от оси воздушной трассы влево на 4 км. Определить фактический угол сноса на данном участке маршрута полета.

24. При выполнении полета по участку маршрута с  $ЗМПУ = 27^\circ$  экипаж выдерживал  $МК = 24^\circ$ . Определить значение угла сноса, если к концу контрольного этапа  $S = 90$  км величина ЛБУ  $= 6$  км.

25. Полет ВС происходит с  $МК = 58^\circ$ .  $ЗМПУ$  участка маршрута равен  $65^\circ$ . Определить величину бокового уклонения, если фактический угол сноса, измеренный с помощью БРЛС, составил  $4^\circ$ .

## 2. ОПРЕДЕЛЕНИЕ ВЫСОТЫ И ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ ПОЛЕТА

**Высотой полета** называется расстояние по вертикали от воздушного судна до уровня, принятого за начало отсчета.

За уровни начала отсчета высоты (рис.6) могут приниматься:

- уровень моря, измеренная от него высота называется **абсолютной высотой**;
- уровень рельефа местности непосредственно под ВС, от него отсчитывается **истинная высота полета**;
- любой условный уровень, начало отсчета **относительной** высоты. Наиболее часто под относительной высотой понимают высоту относительно уровня аэродрома (порога ВПП).

Наибольшее распространение при измерении высоты полета получили барометрический и радиотехнический методы. Барометрический позволяет измерять барометрическую высоту, а радиотехнический – истинную.

Основным средством измерения высоты является барометрический высотомер. Измеряемую им высоту называют **барометрической** высотой. В стандартной атмосфере она совпадает с высотой ВС над изобарической поверхностью, соответствующей давлению, установленному на высотомере. В реальной атмосфере она может отличаться на сотни метров, поэтому, строго говоря, барометрическая высота не является высотой, то есть геометрическим расстоянием от какого-то уровня.

**Высотой перехода** называется установленная в районе аэродрома высота для перевода шкалы давления барометрического высотомера на значение давления 760 мм рт. ст. (1013,2 мбар) при наборе заданного эшелона.

**Эшелоном перехода** является установленный эшелон для перевода шкалы давления барометрического высотомера с давления 760 мм рт. ст. (1013,2 мбар) на давление аэродрома или минимальное давление, приведенное к уровню моря.

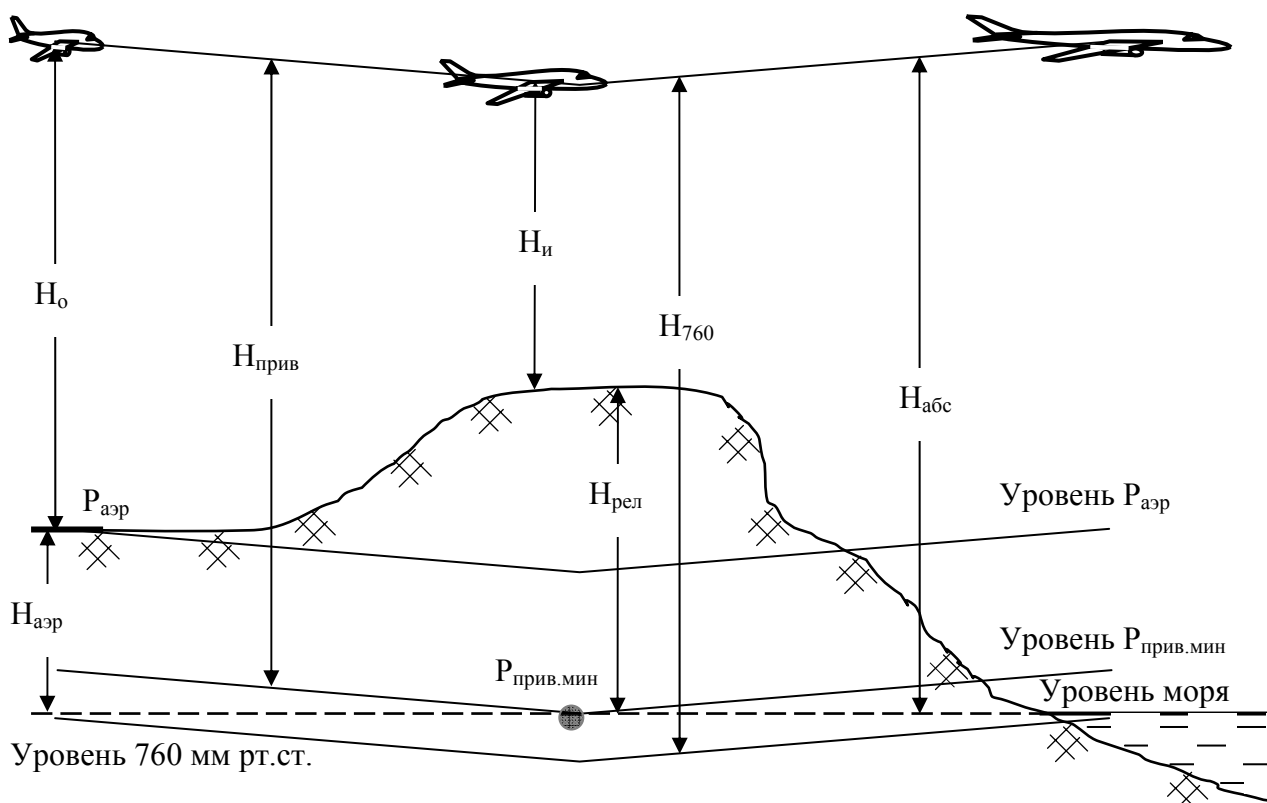


Рис. 6. Высота полета в зависимости от уровня отсчета

Барометрическим высотомерам присущи инструментальные, аэродинамические и методические погрешности.

**Инструментальные погрешности  $\Delta H_{и}$**  возникают из-за неточности изготовления механизма высотомера, неточности его регулировки, износа деталей и изменения упругих свойств анероидного блока. Они индивидуальны для каждого прибора, даже если одного типа, и на разных высотах могут быть разными.

**Аэродинамические погрешности  $\Delta H_{а}$**  возникают за счет неточного измерения атмосферного давления на высоте полета из-за искажения воздушного потока, обтекающего ВС. Зависят от высоты и скорости полета, а также типа и места установки ПВД. Они одинаковы для всех высотомеров на самолете данного типа и приводятся в Руководстве по летной эксплуатации.

Для удобства учета этих погрешностей на борту ВС для каждого из имеющихся барометрических высотомеров имеется таблица показаний высотомера с учетом суммарных поправок  $\sum \Delta H = \Delta H_{и} + \Delta H_{а}$  для установленных эшелонов полета.

**Методические погрешности**  $\sum \Delta H_m$  возникают из-за несовпадения фактических условий атмосферы с расчетными, положенными в основу тарировки шкалы барометрического высотомера.

Эти погрешности вызываются несоответствием фактического распределения температуры воздуха по высотам значениям температуры по стандартной атмосфере. Они приводят к занижению показаний высоты при температуре у земли выше  $+15^\circ\text{C}$  и к завышению - при температурах ниже  $+15^\circ\text{C}$ . Температурные погрешности могут достигать больших величин; они особенно опасны зимой при полетах на малых высотах и в горных районах. Величина данной погрешности может быть рассчитана по формуле

$$\Delta H_t = \frac{t_0 - 15}{300} H_{\text{пр}},$$

где  $t_0$  – температура воздуха у земли;

$H_{\text{пр}}$  – высота по прибору.

С помощью НЛ-10М можно непосредственно пересчитать приборную высоту в исправленную. Для этого используются 7, 8 и 9 шкалы навигационной линейки (рис.7).

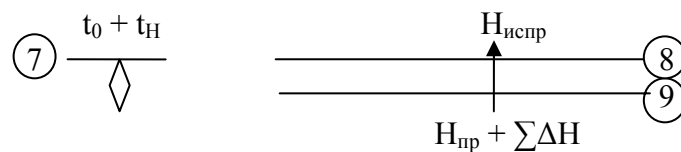


Рис. 7. Алгоритм преобразования высоты полета

В случае необходимости расчета истинной высоты полета при известных значениях температуры  $t_0$  и давления  $p_m$  пролетаемой местности применяется зависимость:

$$H_{\text{и}} = H_{\text{пр}} + \sum \Delta H + \Delta H_t - (p_{\text{уст}} - p_{\text{прив. мин}}) \cdot 11 - H_{\text{рел}},$$

где  $H_{\text{пр}}$  – значение высоты по барометрическому высотомеру;

$\sum \Delta H$  – суммарная поправка высотомера;

$\Delta H_t$  – температурная поправка высотомера;

$p_{уст}$  – значение атмосферного давления, установленное на шкале давления барометрического высотомера;

$p_{прив. мин}$  – минимальное приведенное давление по маршруту полета, то есть наименьшее из давлений на уровне моря;

$H_{рел}$  – высота рельефа пролетаемой местности.

Приведенное давление, то есть давление на уровне моря, может быть получено по формуле, справедливой, если высота рельефа не превышает нескольких сотен метров:

$$p_{прив. мин} = p_m + \frac{H_{рел}}{11}.$$

Приборная высота полета по заданной истинной может быть определена по обратной зависимости:

$$H_{пр} = H_{и} + H_{рел} + (p_{уст} - p_{прив. мин}) \cdot 11 - \Delta H_t - \sum \Delta H.$$

**Пример 7.** ВС выполняет полет на эшелоне, высота которого выдерживается по высотомеру  $H_{пр} = 7270$  м. При этом  $\sum \Delta H = -70$  м,  $H_{рел} = 476$  м,  $t_0 = -8^\circ\text{C}$ ,  $t_H = -42^\circ\text{C}$ ,  $p_{прив. мин} = 744$  мм рт. ст. Определить истинную высоту полета.

**Решение.** 1. Вычисляем высоту эшелона:

$$H_{эш} = H_{пр} + \sum \Delta H = 7270 + (-70) = 7200 \text{ м.}$$

2. Определяем сумму температур:

$$t_0 + t_H = (-8) + (-42) = -50^\circ\text{C}.$$

3. По НЛ-10 находим исправленную высоту  $H_{испр}$ :

$$H_{испр} = 6780 \text{ м.}$$

4. Рассчитываем поправку на разность давлений:

$$\Delta H_6 = (760 - 744) \cdot 11 = 176 \text{ м.}$$

5. Определяем истинную высоту полета:

$$H_{и} = 6780 - 176 - 476 = 6128 \text{ м.}$$

## ЗАДАЧИ

26. Абсолютная высота аэродрома  $H_{\text{аэр}} = 166$  м. Относительная высота полета равна 1500 м. Определить истинную высоту полета, если абсолютная высота пролетаемой местности 318 м.

27. Высота аэродрома относительно уровня моря  $H_{\text{аэр}} = 294$  м. Относительная высота полета равна 1300 м. Определить истинную высоту полета, если превышение пролетаемой местности относительно уровня аэродрома составляет 88 м.

28. Определить абсолютную высоту полета, если превышение аэродрома относительно уровня моря равно 68 м, а относительная высота полета составляет 900 м.

29. Заданный эшелон полета 8100 м. Суммарная поправка барометрического высотомера равна - 90 м. Определить истинную высоту полета, если  $H_{\text{рел}} = 263$  м,  $t_0 = + 8^\circ \text{C}$ ,  $t_H = - 32^\circ \text{C}$ ,  $P_m = 734$  мм рт. ст.

30. Заданная истинная высота полета равна 6600 м. Абсолютная высота пролетаемой местности 350 м, поправка высотомера составляет - 80 м, температура у земли  $t_0 = + 12^\circ \text{C}$ , температура воздуха на высоте полета  $t_H = - 42^\circ \text{C}$ . Определить показания высотомера для полета на заданной истинной высоте.

31. Показания высотомера 10200 м. Суммарная поправка высотомера равна - 100 м. Температура воздуха у земли  $t_0 = + 5^\circ \text{C}$ , на высоте полета  $t_H = - 42^\circ \text{C}$ . Местность - ниже уровня аэродрома на 310 м. Определить истинную высоту полета.

## 2.1. Расчет безопасных высот

**Безопасной высотой полета** называется минимальная высота полета, обеспечивающая установленный запас высоты (истинную безопасную высоту) над земной или водной поверхностью или препятствиями на ней. Запас высоты устанавливается руководящими документами так, чтобы он гарантировал ВС от столкновения с препятствиями. Безопасные высоты выдерживаются с помощью барометрического высотомера, отсчитываются от уровня той барометрической поверхности, давление которой установлено по шкале давления высотомера, и требуют предварительного расчета.

В общем случае безопасная высота включает в себя четыре составляющих: установленное значение истинной безопасной высоты (запаса высоты над препятствием); максимальную высоту препятствия над некоторым заданным уровнем; методическую температурную поправку барометрического высотомера; поправку на различие уровней отсчета высоты препятствия и высоты полета (рис. 8).

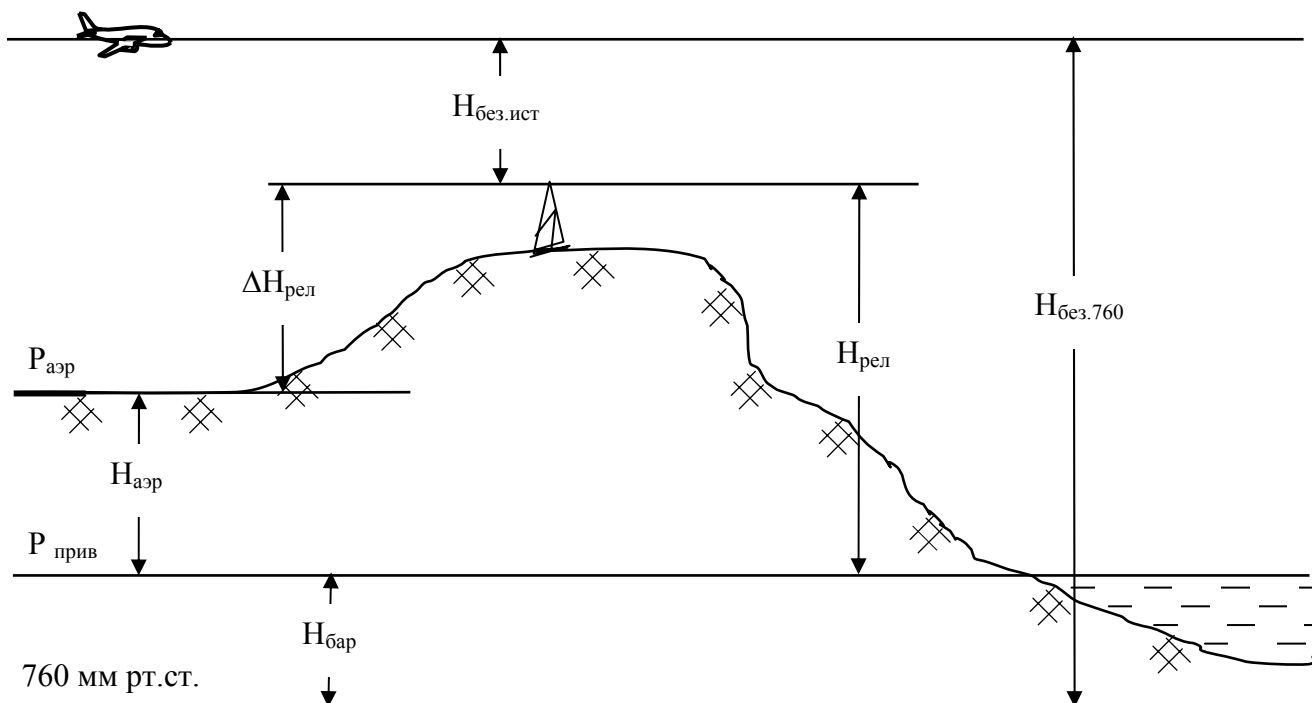


Рис. 8. Расчет безопасных высот

Значение истинной безопасной высоты устанавливается НПП ГА в зависимости от района, правил, скорости полета и характера местности (табл. 1).

Таблица 1

Истинные безопасные высоты полета

| Район полетов                                          | Местность                                          | Скорость истинная, км/ч | Н <sub>без. ист.</sub> , м |        |
|--------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------|----------------------------|--------|
|                                                        |                                                    |                         | по ППП                     | по ПВП |
| В зоне взлета и посадки                                | Любая                                              | ≤ 300                   | 300                        | 100    |
|                                                        |                                                    | > 300                   |                            | 200    |
| В районе подхода, по ВТ, МВЛ и установленным маршрутам | Равнинная<br>Холмистая<br>Над водным пространством | ≤ 300                   | 600                        | 100    |
|                                                        |                                                    | 301... 550              |                            | 200    |
|                                                        |                                                    | > 550                   |                            | -      |
|                                                        | Горная (до 2000 м)                                 | ≤ 550                   | 900                        | 300    |
|                                                        |                                                    | > 550                   |                            | -      |
|                                                        | Горная (выше 2000 м)                               | ≤ 550                   | 900                        | 600    |
|                                                        |                                                    | > 550                   |                            | -      |

Расчету подлежат следующие высоты:

а) высота круга

$$H_{кр} = H_{без.ист} + \Delta H_{рел} - \Delta H_t.$$

Округляется в сторону увеличения до значения, кратного 100.

На аэродроме могут выполняться полеты как по ППП, так и по ПВП. Обычно в этом случае устанавливается единая высота круга, и в соответствии с табл. 1 для ее расчета используется  $H_{без.ист}=300$  м, соответствующая полетам по ППП. Здесь  $\Delta H_{рел}$  – максимальное превышение рельефа местности над уровнем аэродрома с учетом искусственных препятствий в установленной зоне учета препятствий, м;

б) минимальная безопасная высота в районе аэродрома

$$МБВ = 300 + \Delta H_{рел} - \Delta H_t.$$

Округляется в сторону увеличения до значения, кратного 10. Если разница в высотах рельефа с учетом искусственных препятствий не превышает 100 м, МБВ устанавливается единой для всего района аэродрома. В противном слу-

чае район аэродрома делится на секторы (не более 4) и для каждого устанавливается своя МБВ. Она используется при полетах по ППП в случае отклонения ВС от установленной схемы полета в районе аэродрома. МБВ отсчитывается от уровня порога ВПП и выдерживается с помощью барометрического высотомера, установленного на давление аэродрома.

Здесь  $\Delta H_{\text{рел}}$  - максимальное превышение рельефа местности над уровнем аэродрома с учетом искусственных препятствий в радиусе 50 км от контрольной точки аэродрома, м.

в) безопасная высота полета в районе подхода

$$H_{\text{без. подх}} = H_{\text{без. ист}} + H_{\text{рел}} - \Delta H_t + (760 - p_{\text{прив. аэр}}) \cdot 11.$$

Округляется в сторону увеличения до значения, кратного 10. Рассчитывается для каждого коридора. Выдерживается по давлению 760 мм рт.ст и используется на участках снижения и набора высоты (в коридорах входа и выхода).

г) безопасная высота полета по атмосферному давлению 760 мм рт. ст.

$$H_{\text{без. 760}} = H_{\text{без. ист}} + H_{\text{рел}} - \Delta H_t + (760 - p_{\text{прив. мин}}) \cdot 11.$$

По рассчитанному значению  $H_{\text{без. 760}}$  устанавливается нижний безопасный эшелон для полета в данном направлении путем его увеличения до значения ближайшего эшелона. Используется при полетах по ППП по трассам, маршрутам вне трасс.

д) безопасная высота полета в районе аэродрома ниже нижнего эшелона

$$H_{\text{без. аэр}} = H_{\text{без. ист}} + \Delta H_{\text{рел}} - \Delta H_t;$$

е) безопасная высота полета по маршруту ниже нижнего эшелона

$$H_{\text{без. прив}} = H_{\text{без. ист}} + H_{\text{рел}} - \Delta H_t,$$

где  $H_{\text{без. ист}}$  – установленное значение истинной безопасной высоты, м;

$\Delta H_{\text{рел}}$  – высота наивысшей точки рельефа местности с учетом искусственных препятствий относительно уровня аэродрома в пределах установленной ширины полосы, м;

$\Delta H_t$  – методическая температурная поправка высотомера, определяемая с помощью НЛ или по формуле по среднегодовой температуре - в случаях **а, б, в** и по фактической – в случаях **г, д, е** (в случаях **г** и **е** берется минимальная из фактических температур вдоль маршрута), м;

$H_{\text{рел}}$  – абсолютная высота наивысшей точки рельефа местности с учетом искусственных препятствий в пределах установленной ширины полосы, м;

Искусственные препятствия учитываются при скорости полета более 300 км/ч, а в горной местности – независимо от скорости.

$p_{\text{прив. аэр}}$  – минимальное атмосферное давление на аэродроме по многолетним наблюдениям, приведенное к уровню моря, мм рт. ст.;

$p_{\text{прив. мин}}$  – фактическое минимальное атмосферное давление по маршруту полета, приведенное к уровню моря, мм рт. ст.

**Пример 8.** Рассчитать высоту круга для полетов по ППП, если среднегодовая температура по результатам многолетних наблюдений равна  $t_0 = + 8^\circ \text{C}$ , а  $\Delta H_{\text{рел}} = 86 \text{ м}$ .

**Решение.** 1. Определяем минимально допустимую истинную безопасную высоту полета по кругу по ППП:

$$H_{\text{без.ист}} = 300 \text{ м.}$$

2. Рассчитываем высоту круга:

$$H_{\text{кр}} = H_{\text{без. ист}} + \Delta H_{\text{рел}} - (t_0 - 15) \cdot (H_{\text{без. ист}} + \Delta H_{\text{рел}}) / 300 = 300 + 86 - (8 - 15) \times (300 + 86) / 300 = 495 \text{ м.}$$

Округляем полученное значение:

$$H_{\text{кр}} = 500 \text{ м.}$$

**Пример 9.** Рассчитать безопасную высоту полета по давлению 760 мм рт. ст. и значение безопасного эшелона, если ИПУ =  $246^\circ$ ,  $H_{\text{рел}} = 568 \text{ м}$ ,  $t_0 = - 24^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 754 \text{ мм рт. ст.}$

**Решение.** 1. Определяем минимально допустимую истинную безопасную высоту полета по ППП:

$$H_{\text{без.ист}} = 600 \text{ м.}$$

2. Определяем значение абсолютной безопасной высоты:

$$H_{\text{без. абс}} = H_{\text{без. ист}} + H_{\text{рел}} = 600 + 568 = 1168 \text{ м.}$$

3. Определяем величину температуры на высоте  $H_{\text{без. абс}}$ :

$$t_H = t_0 - 6,5 (H_{\text{без. абс}}, \text{ км}) = -24 - 6,5 \cdot 1,2 = -32^\circ \text{ С.}$$

4. Рассчитываем сумму температур у земли и на высоте:

$$t_0 + t_H = -24 + (-32) = -56^\circ \text{ С.}$$

5. Находим высоту с учетом температурной поправки с помощью НЛ:

$$H_{\text{без. абс. испр}} = 1350 \text{ м.}$$

6. Определяем барометрическую поправку к высоте:

$$\Delta H_b = (760 - p_{\text{прив. мин}}) \cdot 11 = (760 - 754) \cdot 11 = 66 \text{ м.}$$

7. Определяем безопасную высоту полета по давлению 760 мм рт. ст.

$$H_{\text{без. 760}} = 1350 + 66 = 1411 \text{ м.}$$

8. По полученной безопасной высоте и ИПУ находим значение  $H_{\text{без. эш}}$

$$H_{\text{без. 760}} = 1800 \text{ м.}$$

**Пример 10.** Рассчитать безопасную высоту для полета по ПВП в районе аэродрома, если  $t_0 = -12^\circ \text{ С}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 47 \text{ м}$ ,  $V = 240 \text{ км/ч}$ .

**Решение.** 1. Определяем минимально допустимую истинную безопасную высоту полета в районе аэродрома по ПВП:

$$H_{\text{без. ист}} = 100 \text{ м.}$$

2. Рассчитываем относительную безопасную высоту:

$$H_{\text{отн}} = H_{\text{без. ист}} + \Delta H_{\text{преп}} = 100 + 47 = 147 \text{ м.}$$

3. Определяем величину температурной поправки:

$$\Delta H_t = \frac{t_0 - 15}{300} H_{\text{пр}} = \frac{-12 - 15}{300} 147 = -13 \text{ м.}$$

4. Рассчитываем безопасную высоту полета в районе аэродрома:

$$H_{\text{без. аэр}} = 147 - (-13) = 160 \text{ м.}$$

**Пример 11.** Рассчитать безопасную высоту полета по маршруту ниже нижнего эшелона, если  $t_0 = +22^\circ \text{ С}$ ,  $H_{\text{преп}} = 263 \text{ м}$ ,  $V = 160 \text{ км/ч}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 746 \text{ мм рт. ст.}$

**Решение.** 1. Определяем минимально допустимую истинную безопасную высоту полета по маршруту по ПВП:

$$H_{\text{без.ист}} = 100 \text{ м.}$$

2. Рассчитываем относительную безопасную высоту:

$$H_{\text{отн}} = H_{\text{без.ист}} + H_{\text{преп}} = 100 + 263 = 363 \text{ м.}$$

3. Определяем величину температурной поправки:

$$\Delta H_t = \frac{t_0 - 15}{300} H_{\text{пр}} = \frac{22 - 15}{300} 363 = 8 \text{ м.}$$

4. Рассчитываем безопасную высоту полета в районе аэродрома:

$$H_{\text{без.аэр}} = 363 - 8 = 345 \text{ м.}$$

## **ЗАДАЧИ**

32. Рассчитать безопасную высоту для полета по ПВП в районе аэродрома ниже нижнего эшелона, если  $t_0 = +16^\circ \text{ C}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 138 \text{ м}$ ,  $V = 320 \text{ км/ч}$ .

33. Рассчитать безопасную высоту для полета по ППП в районе аэродрома, если  $t_0 = -18^\circ \text{ C}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 254 \text{ м}$ .

34. Рассчитать высоту круга для полета по ПВП, если  $t_0 = +4^\circ \text{ C}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 98 \text{ м}$ ,  $V = 160 \text{ км/ч}$ .

35. Рассчитать высоту круга для полета по ППП, если  $t_0 = -2^\circ \text{ C}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 24 \text{ м}$ ,  $V = 240 \text{ км/ч}$ .

36. Рассчитать высоту круга для полета по ПВП, если  $t_0 = +8^\circ \text{ C}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 324 \text{ м}$ ,  $V = 330 \text{ км/ч}$ .

37. Рассчитать высоту круга для полета по ППП, если  $t_0 = +12^\circ \text{ C}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 446 \text{ м}$ ,  $V = 400 \text{ км/ч}$ .

38. Рассчитать безопасную высоту для полета по ПВП в районе аэродрома, если  $t_0 = -26^\circ \text{ C}$ ,  $\Delta H_{\text{преп}} = 228 \text{ м}$ ,  $V = 260 \text{ км/ч}$ .

39. Рассчитать безопасную высоту для полета по маршруту ниже нижнего эшелона, если  $t_0 = +16^\circ \text{ C}$ ,  $H_{\text{преп}} = 689 \text{ м}$ ,  $V = 220 \text{ км/ч}$ .

40. Рассчитать безопасную высоту для полета по маршруту ниже нижнего эшелона, если  $t_0 = -24^\circ \text{ C}$ ,  $H_{\text{преп}} = 294 \text{ м}$ ,  $V = 340 \text{ км/ч}$ .

41. Рассчитать безопасную высоту для полета по маршруту ниже нижнего эшелона, если  $t_0 = -24^\circ \text{C}$ ,  $H_{\text{преп}} = 2018 \text{ м}$ ,  $V = 240 \text{ км/ч}$ .

42. Рассчитать безопасную высоту полета в районе подхода, если  $t_0 = -18^\circ \text{C}$ ,  $H_{\text{аэр}} = 64 \text{ м}$ ,  $p_{\text{аэр}} = 743 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $H_{\text{рел}} = 218 \text{ м}$ ,  $V = 390 \text{ км/ч}$ .

43. Рассчитать безопасную высоту полета в районе подхода над холмистой местностью, если  $t_0 = +28^\circ \text{C}$ ,  $H_{\text{аэр}} = 248 \text{ м}$ ,  $p_{\text{аэр}} = 743 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $H_{\text{рел}} = 781 \text{ м}$ ,  $V = 430 \text{ км/ч}$ .

44. Рассчитать безопасную высоту полета по атмосферному давлению 760 мм рт. ст., если полет проходит над равнинной местностью и при этом  $t_0 = +11^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 753 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $H_{\text{рел}} = 217 \text{ м}$ .

45. Рассчитать безопасную высоту полета по атмосферному давлению 760 мм рт. ст., если полет проходит над холмистой местностью и при этом  $t_0 = -39^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 738 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $H_{\text{рел}} = 461 \text{ м}$ .

46. Рассчитать безопасную высоту полета по атмосферному давлению 760 мм рт. ст., если  $t_0 = -26^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 746 \text{ мм рт. ст.}$ ,  $H_{\text{рел}} = 2413 \text{ м}$ .

47. Рассчитать безопасную высоту полета по давлению 760 мм рт. ст. и значение безопасного эшелона, если полет проходит над равнинной местностью и при этом  $\text{ИПУ} = 24^\circ$ ,  $H_{\text{рел}} = 268 \text{ м}$ ,  $t_0 = -24^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 758 \text{ мм рт. ст.}$

48. Рассчитать безопасную высоту полета по давлению 760 мм рт. ст. и значение безопасного эшелона, если полет проходит над холмистой местностью и при этом  $\text{ИПУ} = 342^\circ$ ,  $H_{\text{рел}} = 627 \text{ м}$ ,  $t_0 = +24^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 747 \text{ мм рт. ст.}$

49. Рассчитать значение безопасного эшелона, если полет проходит над холмистой местностью и при этом  $\text{ИПУ} = 149^\circ$ ,  $H_{\text{рел}} = 1568 \text{ м}$ ,  $t_0 = -24^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 742 \text{ мм рт. ст.}$

50. Рассчитать значение безопасного эшелона, если  $\text{ИПУ} = 296^\circ$ ,  $H_{\text{рел}} = 2255 \text{ м}$ ,  $t_0 = -42^\circ \text{C}$ ,  $p_{\text{прив. мин}} = 734 \text{ мм рт. ст.}$

## 2.2. Расчет элементов вертикального маневрирования

### Расчет времени и расстояния набора высоты заданного эшелона

В соответствии с НПП ГА набор заданного эшелона (высоты) полета производится по указанию диспетчера службы движения в соответствии с установленной схемой выхода и по маршруту полета на режимах, определенных РЛЭ.

Выполняя полет по установленному маршруту, экипаж ВС должен знать, на каком удалении от аэродрома вылета и в какое время будет занят заданный эшелон (высота) полета (рис. 9).

При пересечении высоты перехода экипаж обязан перевести шкалы давления барометрических высотомеров на отсчет 760 мм рт. ст. (1013,2 мбар) и сличить показания высотомеров.

По окончании набора заданного эшелона экипаж должен сверить показания высотомеров в соответствии с установленными правилами.

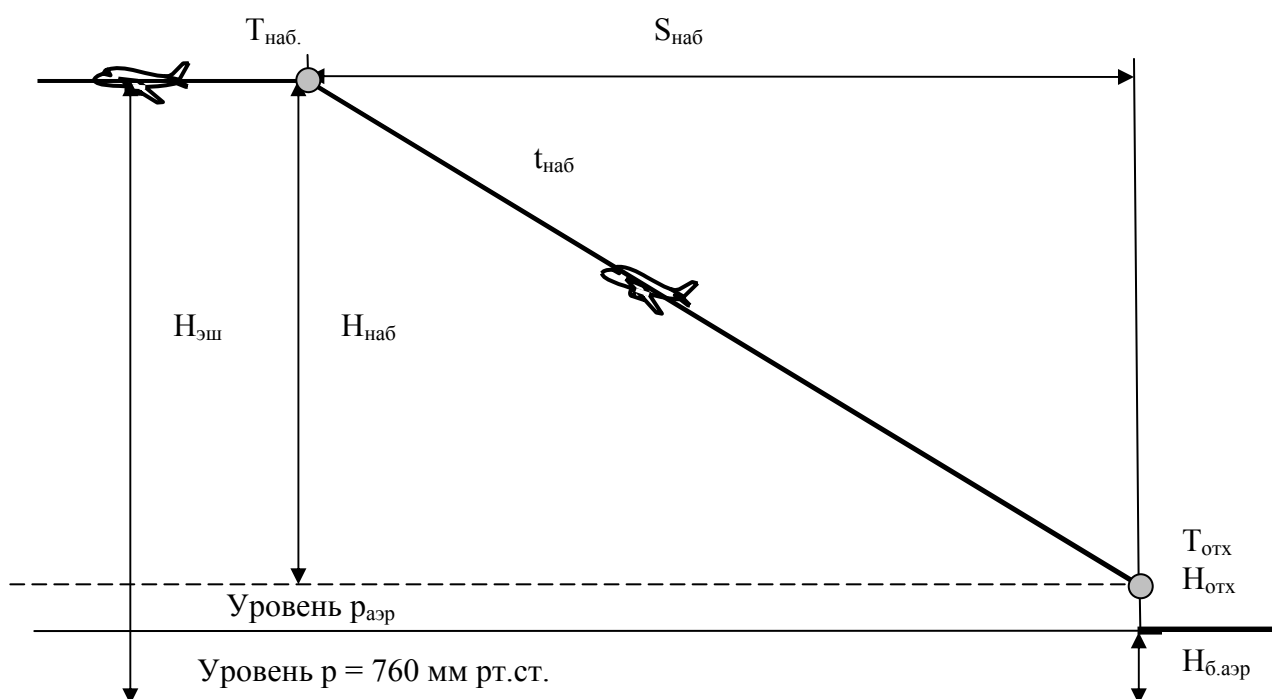


Рис. 9. Определение времени и места набора высоты заданного эшелона полета

Для расчета момента и места набора заданного эшелона необходимо выполнить следующие действия:

1. Рассчитываем барометрическую высоту аэродрома  $H_{\text{бар. аэр}}$ :

$$H_{\text{бар. аэр}} = (760 - p_{\text{аэр}}) \cdot 11,$$

где  $p_{\text{аэр}}$  – давление аэродрома, мм рт. ст.;

2. Определяем высоту набора  $H_{\text{наб}}$ :

$$H_{\text{наб}} = H_{\text{эш}} - H_{\text{бар. аэр}} - H_{\text{отх}},$$

где  $H_{\text{отх}}$  – высота отхода от аэродрома, м;

3. Рассчитываем время набора высоты  $t_{\text{наб}}$ :

$$t_{\text{наб}} = H_{\text{наб}} / V_{\text{в}},$$

где  $V_{\text{в}}$  – средняя вертикальная скорость на этапе набора высоты, м/с;

Эта операция может быть выполнена с помощью НЛ (рис. 10):



Рис. 10. Алгоритм расчета времени набора (снижения)

4. Находим время окончания набора высоты заданного эшелона  $T_{\text{наб}}$ :

$$T_{\text{наб}} = T_{\text{отх}} + t_{\text{наб}},$$

где  $T_{\text{отх}}$  – время отхода от аэродрома вылета;

5. Определяем расстояние, необходимое для набора заданного эшелона  $S_{\text{наб}}$ :

$$S_{\text{наб}} = W_{\text{наб}} t_{\text{наб}},$$

где  $W_{\text{наб}}$  – средняя путевая скорость на этапе набора высоты.

Этот расчет также может быть выполнен с помощью НЛ (рис. 11):

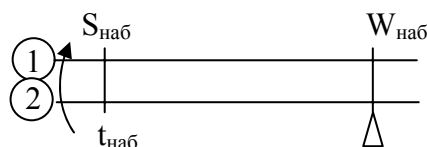


Рис. 11. Алгоритм определения расстояния

**Пример 12.** Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 9600$  м; высота отхода от аэродрома  $H_{\text{отх}} = 600$  м; давление на аэродроме  $p_{\text{аэр}} = 746$  мм рт. ст.; расчетная

средняя путевая скорость на этапе набора высоты  $W_{\text{наб}} = 640$  км/ч; средняя вертикальная скорость набора заданного эшелона  $V_v = 11$  м/с; время отхода от аэродрома  $T_{\text{отх}} = 18.15$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома и в какое время будет занята высота заданного эшелона.

**Решение.** 1. Рассчитываем барометрическую высоту аэродрома:

$$H_{\text{бар. аэр}} = (760 - 746) \cdot 11 = 154 \text{ м.}$$

2. Определяем высоту набора:

$$H_{\text{наб}} = 9600 - 600 - 154 = 8846 \text{ м.}$$

3. Рассчитываем время набора высоты:

$$t_{\text{наб}} = 8846 / 11 = 804 \text{ с} = 13,4 \text{ мин.}$$

4. Находим время окончания набора высоты заданного эшелона:

$$T_{\text{наб}} = 18.15 + 0.13,4 = 18.28,4.$$

5. Определяем расстояние, необходимое для набора заданного эшелона:

$$S_{\text{наб}} = (640 \cdot 13,4) / 60 = 143 \text{ км.}$$

## ЗАДАЧИ

51. Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 7200$  м; высота отхода от аэродрома  $H_{\text{отх}} = 400$  м; давление на аэродроме  $p_{\text{аэр}} = 766$  мм рт. ст.; расчетная средняя путевая скорость на этапе набора высоты  $W_{\text{наб}} = 410$  км/ч; средняя вертикальная скорость набора заданного эшелона  $V_v = 6$  м/с; время отхода от аэродрома  $T_{\text{отх}} = 10.32$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома и в какое время будет занята высота заданного эшелона.

52. Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 4500$  м; высота отхода от аэродрома  $H_{\text{отх}} = 500$  м; давление на аэродроме  $p_{\text{аэр}} = 716$  мм рт. ст.; расчетная средняя путевая скорость на этапе набора высоты  $W_{\text{наб}} = 340$  км/ч; средняя вертикальная скорость набора заданного эшелона  $V_v = 7$  м/с; время отхода от аэродрома  $T_{\text{отх}} = 21.45$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома и в какое время будет занята высота заданного эшелона.

53. Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 10600$  м; высота отхода от аэродрома  $H_{\text{отх}} = 600$  м; давление на аэродроме  $p_{\text{аэр}} = 734$  мм рт. ст.; расчетная средняя пу-

тевая скорость на этапе набора высоты  $W_{\text{наб}} = 640$  км/ч; средняя вертикальная скорость набора заданного эшелона  $V_{\text{в}} = 13$  м/с; время отхода от аэродрома  $T_{\text{отх}} = 07.28$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома и в какое время будет занята высота заданного эшелона.

54. Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 9100$  м; высота отхода от аэродрома  $H_{\text{отх}} = 500$  м; давление на аэродроме  $p_{\text{аэр}} = 758$  мм рт. ст.; расчетная средняя путевая скорость на этапе набора высоты  $W_{\text{наб}} = 570$  км/ч; средняя вертикальная скорость набора заданного эшелона  $V_{\text{в}} = 9$  м/с; время отхода от аэродрома  $T_{\text{отх}} = 12.35$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома и в какое время будет занята высота заданного эшелона.

55. Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 7200$  м; высота отхода от аэродрома  $H_{\text{отх}} = 800$  м; давление на аэродроме  $p_{\text{аэр}} = 772$  мм рт. ст.; расчетная средняя путевая скорость на этапе набора высоты  $W_{\text{наб}} = 340$  км/ч; средняя вертикальная скорость набора заданного эшелона  $V_{\text{в}} = 5$  м/с; время отхода от аэродрома  $T_{\text{отх}} = 14.43$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома и в какое время будет занята высота заданного эшелона.

### **Расчет времени и расстояния снижения**

Снижение воздушного судна с заданного эшелона (высоты) полета выполняется по разрешению диспетчера службы движения с докладом экипажа о начале снижения. Оно производится по маршруту полета и установленной схеме подхода к аэродрому на режимах, определенных РЛЭ (рис. 12).

В районах аэродромов (аэроузлов) с интенсивным воздушным движением устанавливаются стандартные ограничения поступательных и вертикальных скоростей снижения воздушных судов. Сведения о введении ограничений публикуются в документах аэронавигационной информации.

В целях регулирования интервалов между воздушными судами диспетчеру службы движения разрешается задавать режимы поступательных и (или)

вертикальных скоростей в допустимых для данного воздушного судна пределах.

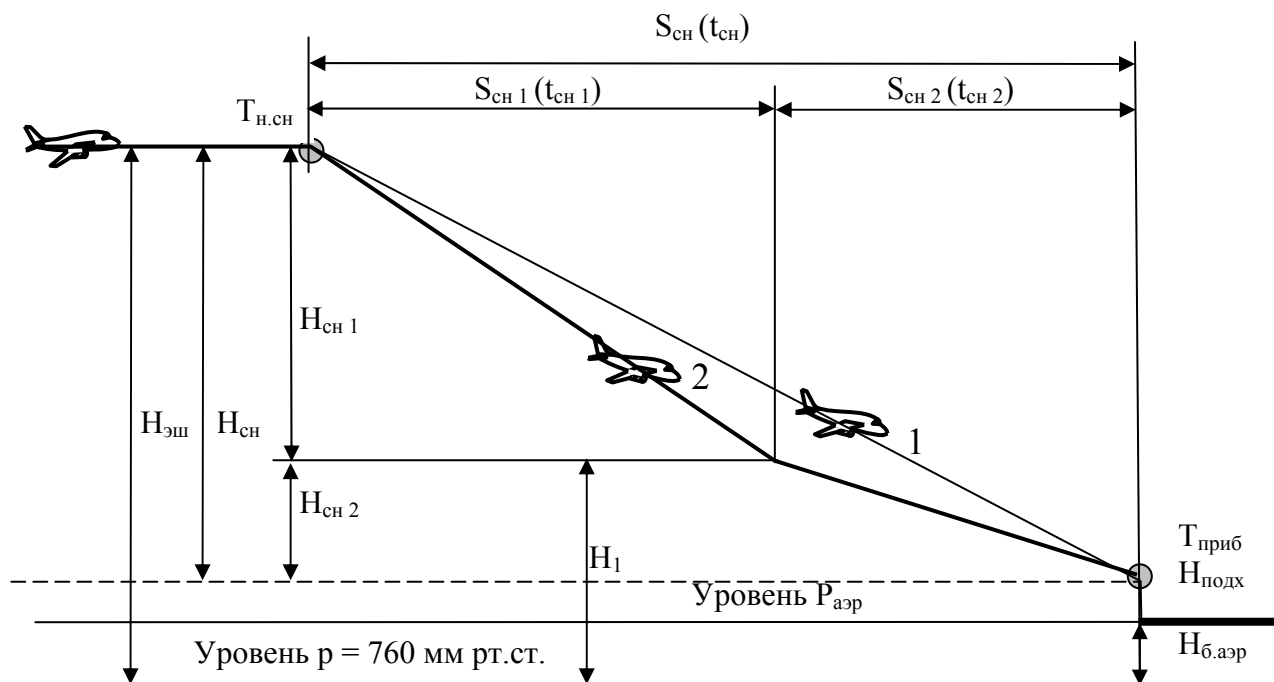


Рис. 12. Определение времени и места начала снижения

Рассмотрим данный расчет на примерах.

**Пример 13.** Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 7800$  м; высота подхода к аэродрому посадки  $H_{\text{подх}} = 500$  м; давление на аэродроме посадки  $p_{\text{аэр}} = 738$  мм рт. ст.; расчетная средняя путевая скорость снижения  $W_{\text{сн}} = 460$  км/ч; средняя вертикальная скорость снижения  $V_{\text{в}} = 8$  м/с; время прибытия на аэродром посадки  $T_{\text{приб}} = 10.42$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома посадки и в какое время необходимо начинать снижение.

**Решение.** 1. Рассчитываем барометрическую высоту аэродрома:

$$H_{\text{бар. аэр}} = (760 - 738) \cdot 11 = 242 \text{ м.}$$

2. Определяем высоту снижения:

$$H_{\text{сн}} = H_{\text{эш}} - H_{\text{подх}} - H_{\text{бар. аэр}} = 7800 - 500 - 242 = 7058 \text{ м.}$$

3. Находим время снижения с помощью НЛ (рис. 13):

$$t_{\text{сн}} \approx 15 \text{ мин.}$$



Рис. 13. Алгоритм расчета времени снижения

4. Рассчитываем время начала снижения:

$$T_{\text{нач. сн}} = T_{\text{приб}} - t_{\text{сн}} = 10.42 - 0.15 = 10.27.$$

5. Определяем расстояние, на котором необходимо начинать снижение, используя НЛ:

$$S_{\text{сн}} = 115 \text{ км.}$$

**Пример 14.** Заданный эшелон полета  $H_{\text{эш}} = 9600$  м; высота подхода к аэродрому посадки  $H_{\text{подх}} = 600$  м; давление на аэродроме посадки  $p_{\text{аэр}} = 769$  мм рт. ст.; расчетная средняя путевая скорость на начальном этапе снижения  $W_{\text{сн}} = 760$  км/ч; средняя вертикальная скорость снижения  $V_{\text{в}} = 12$  м/с; в районе аэродрома на высотах ниже 3000 м действуют ограничения по скоростям: путевая и вертикальная скорости соответственно равны: 400 км/ч и 7 м/с; время прибытия на аэродром посадки  $T_{\text{приб}} = 19.25$ . Определить, на каком расстоянии от аэродрома посадки и в какое время необходимо начинать снижение.

**Решение.** 1. Находим значение высоты, которую необходимо потерять на первом этапе:

$$H_{\text{сн.1}} = H_{\text{эш}} - H_1 = 9600 - 3000 = 6600 \text{ м,}$$

где  $H_1 = 3000$  м.

2. Рассчитываем время снижения на этом этапе:

$$t_{\text{сн.1}} \approx 9 \text{ мин.}$$

3. Определяем пройденное расстояние за время снижения на первом этапе:

$$S_{\text{сн.1}} = 106 \text{ км.}$$

4. Рассчитываем барометрическую высоту аэродрома:

$$H_{\text{бар. аэр}} = (760 - 769) \cdot 11 = -99 \text{ м.}$$

5. Находим высоту снижения на втором этапе:

$$H_{\text{сн.2}} = H_1 - H_{\text{подх}} - H_{\text{бар. аэр}} = 3000 - 600 - (-99) = 2499 \text{ м.}$$

6. Рассчитываем время снижения на втором этапе:

$$t_{\text{сн.2}} \approx 6 \text{ мин.}$$

7. Определяем пройденное расстояние за время снижения на втором этапе:

$$S_{\text{сн.2}} = 40 \text{ км.}$$

8. Рассчитываем расстояние, на котором необходимо начинать снижение:

$$S_{\text{сн}} = S_{\text{сн.1}} + S_{\text{сн.2}} = 106 + 40 = 146 \text{ км.}$$

9. Находим время начала снижения:

$$T_{\text{нач. сн}} = T_{\text{приб}} - t_{\text{сн.1}} - t_{\text{сн.2}} = 19.25 - 0.09 - 0.06 = 19.10.$$

В зависимости от условий воздушной обстановки могут быть изменены условия снижения: оно может быть разрешено позже расчетного времени или изменен рубеж, на который необходимо занять заданную высоту полета. В данной ситуации необходимо рассчитать потребную вертикальную скорость снижения.

**Пример 15.** Полет воздушного судна выполняется на эшелоне  $H_{\text{эш}} = 10100 \text{ м}$ . Высота полета по кругу на аэродроме назначения  $H_{\text{кр}} = 400 \text{ м}$ , давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 716 \text{ мм рт. ст.}$  Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 11.36$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000 \text{ м}$  равна  $V_y = 15 \text{ м/с}$ , а путевая скорость на этом этапе  $W = 710 \text{ км/ч}$ . После пересечения  $H_1 = 3000 \text{ м}$  они соответственно равны  $6 \text{ м/с}$  и  $350 \text{ км/ч}$ . После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж  $30 \text{ км}$  занять  $1500 \text{ м}$ , эшелон перехода  $900$ . Рассчитать потребную вертикальную скорость снижения на первом этапе.

**Решение.** 1. Находим значение высоты, которую необходимо потерять на первом этапе:

$$H_{\text{сн.1}} = 10100 - 3000 = 7100 \text{ м.}$$

2. Рассчитываем время снижения на этом этапе:

$$t_{\text{сн } 1} \approx 8 \text{ мин.}$$

3. Определяем пройденное расстояние за время снижения на первом этапе:

$$S_{\text{сн } 1} = 93 \text{ км.}$$

4. Рассчитываем барометрическую высоту аэродрома:

$$H_{\text{бар. аэр}} = (760 - 716) \cdot 11 = 484 \text{ м.}$$

5. Находим высоту снижения на втором этапе:

$$H_{\text{сн.2}} = H_1 - H_{\text{подх}} - H_{\text{бар. аэр}} = 3000 - 400 - 484 = 2116 \text{ м.}$$

6. Рассчитываем время снижения на втором этапе:

$$t_{\text{сн } 2} \approx 6 \text{ мин.}$$

7. Определяем пройденное расстояние за время снижения на втором этапе:

$$S_{\text{сн } 2} = 34 \text{ км.}$$

8. Рассчитываем расстояние, на котором необходимо начинать снижение:

$$S_{\text{сн}} = S_{\text{сн } 1} + S_{\text{сн } 2} = 93 + 34 = 127 \text{ км.}$$

9. Находим время начала снижения:

$$T_{\text{нач. сн}} = T_{\text{приб}} - t_{\text{сн } 1} - t_{\text{сн } 2} = 11.36 - 0.08 - 0.06 = 11.22.$$

10. Определяем значение высоты, которую необходимо потерять в связи с изменением аэронавигационной обстановки:

$$H_{\text{сн.2}}^* = H_1 - H_{\text{зад}} = 3000 - 1500 = 1500 \text{ м.}$$

В этом случае мы не учитываем барометрическую высоту аэродрома, так как занимаем заданную высоту по давлению 760 мм рт. ст. Если бы заданная высота была ниже высоты эшелона перехода, то тогда необходимо учесть барометрическую высоту аэродрома.

11. Рассчитываем время снижения до заданной высоты (вертикальную скорость принимаем равной установленной для второго этапа):

$$t_{\text{сн } 2}^* \approx 4 \text{ мин.}$$

12. Определяем пройденное расстояние за время снижения до заданной высоты:

$$S_{\text{сн } 2}^* = 24 \text{ км.}$$

13. Находим располагаемое расстояние для выполнения снижения на первом этапе:

$$S_{\text{расп}} = S_{\text{сн}} - S_{\text{зад}} - S_{\text{сн } 2}^* = 127 - 30 - 24 = 73 \text{ км.}$$

14. Рассчитываем время полета на располагаемом расстоянии:

$$t_{\text{расп}} = S_{\text{расп}}/W_1 = 370 \text{ с.}$$

15. Находим потребное значение вертикальной скорости:

$$V_{\text{в.потр.}} = H_{\text{сн.1}}/t_{\text{расп}} = 19 \text{ м/с.}$$

## ЗАДАЧИ

56. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 6600 \text{ м}$ . Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 900 \text{ м}$ , давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 735 \text{ мм рт. ст.}$ . Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 16.25$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна равна  $V_y = 10 \text{ м/с}$ , а путевая скорость  $W = 450 \text{ км/ч}$ .

57. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 5400 \text{ м}$ . Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 500 \text{ м}$ , давление на аэродроме вылета составляет  $P_{\text{аэр}} = 743 \text{ мм рт. ст.}$ . Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 18.05$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна равна  $V_y = 9 \text{ м/с}$ , а путевая скорость  $W = 410 \text{ км/ч}$ .

58. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 6600 \text{ м}$ . Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 500 \text{ м}$ , давление на аэродроме вылета составляет  $P_{\text{аэр}} = 722 \text{ мм рт. ст.}$ . Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 19.45$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна равна  $V_y = 8 \text{ м/с}$ , а путевая скорость  $W = 450 \text{ км/ч}$ .

59. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 8100 \text{ м}$ . Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 900 \text{ м}$ , давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 723 \text{ мм рт. ст.}$ . Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 16.45$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна равна  $V_y = 10 \text{ м/с}$ , а путевая скорость  $W = 610 \text{ км/ч}$ .

60. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 5400$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 600$  м, давление на аэродроме вылета составляет  $P_{\text{аэр}} = 773$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 18.05$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна равна  $V_y = 9$  м/с, а путевая скорость  $W = 410$  км/ч.

61. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 9600$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 500$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 735$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 16.25$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 14$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 750$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 6 м/с и 380 км/ч.

62. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 9600$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 900$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 755$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 11.45$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 16$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 800$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 8 м/с и 480 км/ч.

63. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 9600$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 600$  м, давление на аэродроме вылета составляет  $P_{\text{аэр}} = 738$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 11.22$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 12$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 680$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 6 м/с и 420 км/ч.

64. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 10100$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 500$  м, давление на аэродроме вылета составляет  $P_{\text{аэр}} = 741$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 18.57$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения

воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 14$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 840$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 6 м/с и 390 км/ч.

65. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 8100$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 500$  м, давление на аэродроме вылета составляет  $P_{\text{аэр}} = 728$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 18.25$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 12$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 750$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 8 м/с и 420 км/ч.

66. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 8600$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 700$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 755$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 19.05$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 12$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 720$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 7 м/с и 360 км/ч. После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж 40 км занять 1500 м, эшелон перехода 1200 м. Рассчитать потребную вертикальную скорость снижения на первом этапе.

67. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 10100$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 500$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 726$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 21.23$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 15$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 790$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 7 м/с и 390 км/ч. После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж 30 км занять 1200 м, эшелон перехода 1500 м. Рассчитать потребную вертикальную скорость снижения на первом этапе.

68. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 9100$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 400$  м, давление на аэродроме посадки составляет

$P_{\text{аэр}} = 716$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 11.36$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 12$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 710$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 6 м/с и 350 км/ч. После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж 40 км занять 1500 м, эшелон перехода 900 м. Рассчитать потребную вертикальную скорость снижения на первом этапе.

69. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 8600$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 600$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 732$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 10.06$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 15$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 710$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 6 м/с и 330 км/ч. После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж 30 км занять 1800 м, эшелон перехода 1200 м. Рассчитать потребную вертикальную скорость снижения на первом этапе.

70. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 9100$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 700$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 746$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 15.32$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 14$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 750$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 6 м/с и 370 км/ч. После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж 40 км занять 1500 м, эшелон перехода 900 м. Рассчитать потребную вертикальную скорость снижения на первом этапе.

71. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 8100$  м. Высота полета по кругу  $H_{\text{кр}} = 400$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{\text{аэр}} = 716$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{\text{приб}} = 08.36$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 14$  м/с, а путевая скорость

на этом этапе  $W = 730$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 8 м/с и 410 км/ч. После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж 50 км занять 4500 м. Рассчитать требуемую вертикальную скорость снижения до заданной высоты.

72. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{эш} = 9600$  м. Высота полета по кругу  $H_{кр} = 900$  м, давление на аэродроме посадки составляет  $P_{аэр} = 715$  мм рт. ст. Расчетное время прибытия  $T_{приб} = 18.56$ . Определить момент и рубеж начала снижения, если средняя вертикальная скорость снижения воздушного судна до высоты  $H_1 = 3000$  м равна  $V_y = 16$  м/с, а путевая скорость на этом этапе  $W = 720$  км/ч. После пересечения  $H_1 = 3000$  м они соответственно равны 7 м/с и 400 км/ч. После доклада о расчетном времени снижения экипаж получил команду: на рубеж 40 км занять 4200 м. Рассчитать требуемую вертикальную скорость снижения на первом этапе.

### 2.3. Определение воздушной скорости полета

Истинная воздушная скорость – это скорость полета воздушного судна, с которой оно перемещается относительно окружающей среды за счет тяги двигателей. Она зависит от режима работы двигателей, аэродинамических качеств ВС и плотности воздуха на высоте полета.

Скорость, которую показывает прибор, предназначенный для ее измерения, называется приборной. Истинная воздушная скорость применяется для выполнения навигационных расчетов, а приборная – для пилотирования.

Воздушная скорость измеряется при помощи аэродинамического указателя скорости, принцип действия которого основан на измерении скоростного напора встречного потока воздуха, набегающего на ВС в полете.

Указатели воздушной скорости бывают двух типов: однострелочные (УС) и комбинированные двухстрелочные (КУС).

Указатель скорости имеет инструментальные, аэродинамические и методические погрешности.

**Инструментальные погрешности  $\Delta V_{\text{и}}$**  возникают по тем же причинам, что и у барометрических высотомеров. Они определяются при проверках в лаборатории, и для каждого указателя составляются бортовые таблицы показаний прибора с учетом инструментальной поправки.

**Аэродинамические погрешности  $\Delta V_{\text{а}}$**  возникают за счет неточного измерения полного и особенно статического давления в зоне установки приемника давления. Определяются в результате летных испытаний ВС и указываются в РЛЭ для каждого типа ВС.

**Методические погрешности  $\Delta V_{\text{М}}$**  возникают из-за несовпадения фактических условий атмосферы со стандартными, положенными в основу расчета шкалы указателя. Они делятся на два вида: из-за изменения плотности воздуха и из-за изменения сжимаемости воздуха.

В основу расчета шкалы указателя скорости положена стандартная массовая плотность  $\rho = 1,225 \text{ кг/м}^3$ , которая соответствует атмосферному давлению  $p = 760 \text{ мм рт. ст.}$  и температуре  $t_0 = +15^\circ\text{C}$  на уровне моря. Фактическая плотность очень редко совпадает со стандартной. Изменение плотности учитывается или с помощью НЛ, или аналитическим расчетом. Для грубой приближенной оценки величины погрешности можно воспользоваться следующей таблицей (табл. 2), представляющей зависимость методической поправки указателя скорости из-за изменения плотности воздуха от высоты полета в стандартной атмосфере. Величины поправок указаны в процентах от приборной скорости. Например, если приборная скорость на высоте 9000 м составляет 500 км/ч, то с учетом поправки – 800 км/ч (60% от 500 составляет 300).

Таблица 2

Методическая поправка указателя скорости

| $H_{\text{пр}}, \text{ м}$ | 1000 | 2000 | 3000 | 4000 | 5000 | 6000 | 7000 | 8000 | 9000 | 10000 |
|----------------------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|-------|
| $\Delta V_{\text{М}}, \%$  | 5    | 10   | 15   | 20   | 25   | 30   | 40   | 50   | 60   | 70    |

Погрешности второго вида возникают в результате изменения сжимаемости воздуха на высоте полета относительно сжимаемости на уровне моря, при-

нятой при расчете шкалы указателя. На малых высотах и скоростях они незначительные, поэтому при скоростях полета до 350...400 км/ч и высотах до 3000 м ими можно пренебречь. Поправка, учитывающая изменение сжимаемости, всегда имеет отрицательный знак. Для ее учета используются номограммы или таблицы (табл. 3).

Таблица 3

Поправка на изменение сжимаемости воздуха, км/ч

| Высота полета, м | V <sub>пр</sub> , км/ч |     |     |     |     |     |
|------------------|------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
|                  | 300                    | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 |
| 2000             | 1                      | 2   | 3   | 4   | 7   | 9   |
| 4000             | 2                      | 4   | 6   | 10  | 16  | 23  |
| 6000             | 3                      | 6   | 11  | 18  | 27  | 39  |
| 8000             | 4                      | 9   | 17  | 28  | 41  | 53  |
| 10000            | 6                      | 13  | 24  | 40  | 56  | 80  |
| 12000            | 9                      | 19  | 34  | 56  | 78  | 98  |
| 14000            | 12                     | 25  | 48  | 73  | 97  | 118 |

### Расчет воздушной скорости для однострелочного указателя

**Истинная воздушная скорость** рассчитывается по формуле

$$V_{\text{и}} = V_{\text{пр}} + \Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} + \Delta V_{\text{м}},$$

где  $V_{\text{пр}}$  – показания указателя воздушной скорости;

$\Delta V_{\text{и}}$  – инструментальная поправка указателя;

$\Delta V_{\text{а}}$  – аэродинамическая поправка ПВД;

$\Delta V_{\text{м}}$  – методическая поправка на изменение плотности воздуха с высотой.

Методическая поправка может быть учтена или аналитически, или с помощью НЛ при использовании шкал 11, 12, 14 и 15 (рис. 14).

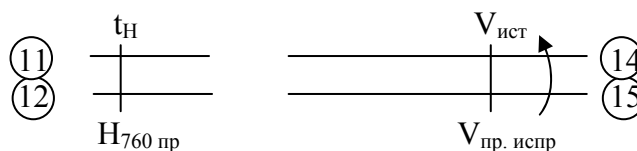


Рис. 14. Алгоритм определения истинной воздушной скорости

При этом против высоты полета, взятой по 12 шкале, устанавливаем по 11 шкале температуру воздуха на высоте и против значения исправленной при-

борной скорости по 15 шкале на 14 шкале отсчитываем величину истинной воздушной скорости с учетом поправки на изменение плотности воздуха.

Исправленная приборная скорость представляет собой сумму показаний указателя скорости и поправок, кроме поправки на изменение плотности.

**Пример 16.** Показание указателя воздушной скорости равно 210 км/ч. Высота эшелона полета – 1200 м. Температура воздуха на высоте  $t_H = + 8^\circ \text{C}$ . Инструментальная и аэродинамическая поправки указателя скорости составляют  $\Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} = - 5$  км/ч. Определить истинную воздушную скорость.

**Решение.** 1. Находим исправленное значение приборной скорости:

$$V_{\text{пр. испр}} = V_{\text{пр}} + \Delta V_{\text{и}} = 210 + (- 5) = 205 \text{ км/ч.}$$

2. Определяем истинную воздушную скорость, используя НЛ для учета поправки на изменение плотности воздуха:

$$V_{\text{и}} = 217 \text{ км/ч.}$$

Выполним расчет истинной воздушной скорости, используя расчеты в уме.

**Пример 17.** Показание указателя воздушной скорости равно 160 км/ч. Высота эшелона полета составляет 900 м. Температура воздуха на высоте  $t_H = + 10^\circ \text{C}$ . Суммарная поправка указателя скорости  $\Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} = - 5$  км/ч. Определить истинную воздушную скорость.

**Решение.** 1. Находим исправленное значение приборной скорости:

$$V_{\text{пр. испр}} = 160 + (- 5) = 155 \text{ км/ч.}$$

2. Рассчитываем значение методической поправки к указателю скорости, которая может быть получена по следующей зависимости:

$$\Delta V_{\text{м}} = K V_{\text{пр. испр}},$$

где  $K$  – величина поправки в %, переведенная в десятые.

Для  $H = 900$  м величина поправки равна 4,5 % или  $K = 0,045$ . Отсюда

$$\Delta V_{\text{м}} = 0,045 \cdot 155 = 7 \text{ км/ч.}$$

3. Рассчитываем значение истинной воздушной скорости:

$$V_{\text{и}} = V_{\text{пр. испр}} + \Delta V_{\text{м}} = 155 + 7 = 162 \text{ км/ч.}$$

**Приборная скорость** рассчитывается по обратной зависимости:

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{и}} - \Delta V_{\text{м}} - \Delta V_{\text{и}} - \Delta V_{\text{а}}.$$

При этом расчете вначале по истинной воздушной скорости с помощью НЛ или аналитически определяется значение исправленной приборной скорости, а затем из полученной величины вычитаются оставшиеся поправки.

**Пример 18.** Значение истинной воздушной скорости равно 240 км/ч. Высота эшелона полета – 2400 м. Температура воздуха на высоте  $t_{\text{Н}} = -15^{\circ}\text{C}$ . Суммарная поправка указателя скорости  $\Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} = -5$  км/ч. Определить приборную скорость полета.

**Решение.** 1. Находим исправленное значение приборной скорости с помощью НЛ. Устанавливаем значение температуры на высоте по 11 шкале против высоты эшелона по 12 шкале. Против величины истинной воздушной скорости по 14 шкале на 15 отсчитываем значение приборной исправленной скорости.

$$V_{\text{пр. испр}} = 220 \text{ км/ч.}$$

2. Получаем значение приборной скорости:

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{пр. испр}} - \Delta V_{\text{и}} - \Delta V_{\text{а}} = 220 - (-5) = 225 \text{ км/ч.}$$

Выполним аналогичный расчет без использования НЛ.

**Пример 19.** Значение истинной воздушной скорости равно 200 км/ч. Эшелон полета – 3000 м. Температура воздуха на высоте  $t_{\text{Н}} = -15^{\circ}\text{C}$ . Суммарная поправка указателя скорости  $\Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} = +8$  км/ч. Определить приборную скорость полета.

**Решение.** 1. Находим исправленное значение приборной скорости аналитическим расчетом. В предыдущем расчете истинной воздушной скорости мы записали, что

$$V_{\text{и}} = V_{\text{пр. испр}} + \Delta V_{\text{м}} = V_{\text{пр. испр}} + K V_{\text{пр. испр}} = V_{\text{пр. испр}} (1 + K),$$

где  $K = 0,15$  для  $H = 3000$  м.

Откуда

$$V_{\text{пр. испр}} = V_{\text{и}} / (1 + K) = 200 / (1 + 0,15) = 200 / 1,15 = 174 \text{ км/ч.}$$

2. Рассчитываем величину приборной скорости полета:

$$V_{\text{пр}} = 174 - 8 = 166 \text{ км/ч.}$$

### **Расчет воздушной скорости для комбинированного указателя**

Для данного типа указателей воздушной скорости расчет может выполняться по показаниям как широкой, так и узкой стрелок.

**Истинная воздушная скорость по показаниям широкой стрелки КУС** рассчитывается по аналогичной зависимости, как и для однострелочного указателя, но с добавлением поправки на изменение сжимаемости воздуха с высотой:

$$V_{\text{и}} = V_{\text{пр}} + \Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} + \Delta V_{\text{сж}} + \Delta V_{\text{м}},$$

где  $\Delta V_{\text{сж}}$  – поправка на изменение сжимаемости воздуха с высотой.

Поправка на изменение сжимаемости с высотой может быть определена по табл. 3 или по графику (рис. 15).

Для ВС типа Ту-154 указывается суммарная поправка, включающая инструментальную и аэродинамическую поправки.

**Приборная скорость по широкой стрелке** для указателя КУС может быть рассчитана по той же формуле в обратном порядке:

$$V_{\text{пр}} = V_{\text{и}} - \Delta V_{\text{м}} - \Delta V_{\text{сж}} - \Delta V_{\text{а}} - \Delta V_{\text{и}}.$$

Учитываются все поправки, которые влияют на показания широкой стрелки.

**Пример 20.** Полет должен выполняться на эшелоне  $H_{\text{эш}} = 9600$  м с истинной воздушной скоростью  $V_{\text{и}} = 850$  км/ч. Показания указателя температуры наружного воздуха ТНВ-15  $t_{\text{пр}} = -32^\circ \text{С}$ . Поправка к указателю скорости  $\Delta V = +8$  км/ч. Определить приборную скорость для широкой стрелки КУС.

**Решение.** 1. Термометр наружного воздуха всегда показывает завышенную температуру из-за нагрева воздуха при его сжатии. Поэтому показания термометра необходимо исправить. Поправка к показаниям термометра наружного воздуха может быть определена по таблице (табл. 4) или специальной шкале НЛ в зависимости от истинной скорости полета.

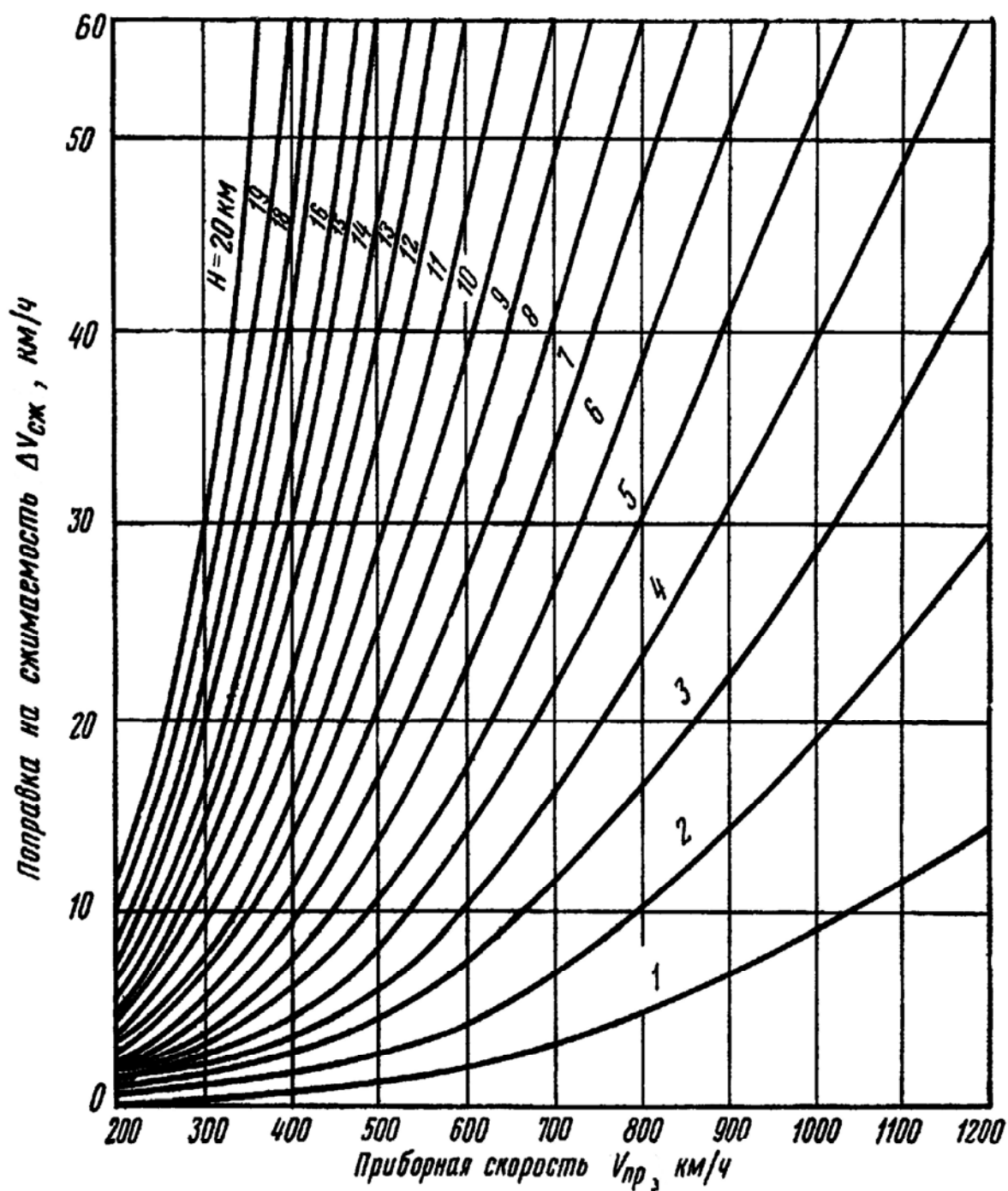


Рис. 15. Поправка на сжимаемость воздуха для указателя скорости

Таблица 4

Поправки к указателям температуры наружного воздуха,  $\Delta t$ , °С

| $V_{и}$ , км/ч | 100 | 200 | 300 | 400 | 500 | 600 | 700 | 800 | 900 | 1000 | 1100 |
|----------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|------|
| ТНВ-15         | 0   | 1   | 2   | 3   | 4   | 8   | 13  | 19  | 25  | 32   | 41   |
| ТУЭ            | 0   | 1   | 2   | 4   | 7   | 10  | 13  | 17  | 21  | 26   | 32   |

Определяем поправку к указателю температуры:

$$\Delta t = 22^\circ \text{C}.$$

2. Находим фактическую температуру воздуха на высоте полета:

$$t_H = -32 - 22 = -54^\circ \text{C}.$$

3. Учитывая методическую поправку с помощью НЛ, определяем исправленную приборную скорость:

$$V_{\text{пр. испр}} = 515 \text{ км/ч}.$$

4. Находим поправку на сжимаемость воздуха:

$$\Delta V_{\text{сж}} = -23 \text{ км/ч}.$$

5. Рассчитываем величину приборной скорости, которая будет соответствовать заданной истинной воздушной скорости:

$$V_{\text{пр}} = 515 - (-23) - 8 = 530 \text{ км/ч}.$$

**Истинная воздушная скорость по показаниям узкой стрелки КУС** рассчитывается по следующей зависимости:

$$V_{\text{и}} = V_{\text{пр. КУС}} + \Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} + \Delta V_{\text{м}}.$$

В данном случае поправка на изменение сжимаемости уже учтена, так как в конструкции КУС имеется дополнительная анероидная коробка, учитывающая изменение плотности с высотой. Поэтому узкая стрелка индицирует значение скорости, примерно равное истинной воздушной.

Для учета методической поправки на НЛ применяется следующий алгоритм (рис. 16).

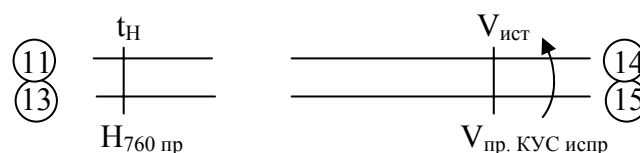


Рис. 16. Алгоритм определения истинной воздушной скорости для узкой стрелки КУС

**Пример 21.** Полет выполняется на эшелоне  $H_{\text{эш}} = 6600$  м. Показание узкой стрелки КУС  $V_{\text{пр. КУС}} = 470$  км/ч. Поправки к указателю скорости

$\Delta V_{\text{и}} = + 6 \text{ км/ч}$ ,  $\Delta V_{\text{а}} = - 8 \text{ км/ч}$ . Показания указателя температуры наружного воздуха ТНВ-15  $t_{\text{пр}} = - 30^{\circ} \text{ С}$ . Определить истинную скорость по показаниям узкой стрелки КУС.

**Решение.** 1. Находим поправку к указателю температуры:

$$\Delta t = 4^{\circ} \text{ С}.$$

2. Определяем фактическую температуру воздуха на высоте полета:

$$t_{\text{н}} = - 30 - 4 = - 34^{\circ} \text{ С}.$$

3. Определяем исправленную скорость:

$$V_{\text{пр. КУС испр}} = V_{\text{пр. КУС}} + \Delta V_{\text{и}} + \Delta V_{\text{а}} = 470 + (+ 6) + (- 8) = 468 \text{ км/ч}.$$

4. Находим истинную скорость полета, учитывая методическую температурную поправку с помощью НЛ:

$$V_{\text{и}} = 460 \text{ км/ч}.$$

## ЗАДАЧИ

73. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 7800 \text{ м}$ . Показания указателя скорости составляют  $V_{\text{пр}} = 510 \text{ км/ч}$ . Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = - 8 \text{ км/ч}$ ,  $\Delta V_{\text{а}} = - 5 \text{ км/ч}$ . Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = - 42^{\circ} \text{ С}$ . Определить истинную скорость полета.

74. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 1200 \text{ м}$ . Показания указателя скорости составляют  $V_{\text{пр}} = 210 \text{ км/ч}$ . Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = + 5 \text{ км/ч}$ ,  $\Delta V_{\text{а}} = - 1 \text{ км/ч}$ . Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = - 12^{\circ} \text{ С}$ . Определить истинную скорость полета.

75. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 8100 \text{ м}$ . Показания указателя скорости составляют  $V_{\text{пр}} = 610 \text{ км/ч}$ . Поправка к указателю скорости  $\Delta V = - 18 \text{ км/ч}$ . Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = - 42^{\circ} \text{ С}$ . Определить истинную скорость полета.

76. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 4500 \text{ м}$ . Показания указателя скорости составляют  $V_{\text{пр}} = 340 \text{ км/ч}$ . Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = - 5 \text{ км/ч}$ ,  $\Delta V_{\text{а}} = 8 \text{ км/ч}$ . Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = - 26^{\circ} \text{ С}$ . Определить истинную скорость полета.

77. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 10600$  м. Показания указателя скорости составляют  $V_{\text{пр}} = 610$  км/ч. Поправка к указателю скорости  $\Delta V = -23$  км/ч. Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = -56$  °С. Определить истинную скорость полета.

78. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 600$  м. Показания указателя скорости составляют  $V_{\text{пр}} = 170$  км/ч. Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = -5$  км/ч,  $\Delta V_{\text{а}} = 2$  км/ч. Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = 14$  °С. Определить истинную скорость полета.

79. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 8100$  м. Истинная скорость полета равна  $V_{\text{ист}} = 810$  км/ч. Поправка к указателю скорости  $\Delta V = -23$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = -42$  °С. Определить показание указателя воздушной скорости.

80. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 6600$  м. Истинная скорость полета равна  $V_{\text{ист}} = 400$  км/ч. Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = 4$  км/ч,  $\Delta V_{\text{а}} = 11$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = -28$  °С. Определить показание указателя воздушной скорости.

81. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 9600$  м. Истинная скорость полета равна  $V_{\text{ист}} = 910$  км/ч. Поправка к указателю скорости  $\Delta V = 26$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = -35$  °С. Определить показание указателя воздушной скорости.

82. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 7200$  м. Истинная скорость полета равна  $V_{\text{ист}} = 470$  км/ч. Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = 14$  км/ч,  $\Delta V_{\text{а}} = -7$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = -32$  °С. Определить показание указателя воздушной скорости.

83. Полет воздушного судна выполняется на высоте  $H_{\text{эш}} = 1500$  м. Заданная истинная скорость полета равна  $V_{\text{ист}} = 190$  км/ч. Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = +5$  км/ч,  $\Delta V_{\text{а}} = -2$  км/ч. Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = +12$  °С. Определить показание указателя воздушной скорости полета.

84. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 7200$  м. Показания КУС составляют  $V_{\text{пр КУС}} = 570$  км/ч. Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = + 15$  км/ч,  $\Delta V_{\text{а}} = - 8$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = - 30$  °С. Определить истинную скорость полета.

85. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 9600$  м. Показания КУС составляют  $V_{\text{пр КУС}} = 810$  км/ч. Поправка к указателю скорости  $\Delta V = - 21$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = - 34$  °С. Определить истинную скорость полета.

86. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 5100$  м. Показания КУС составляют  $V_{\text{пр КУС}} = 470$  км/ч. Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = - 5$  км/ч,  $\Delta V_{\text{а}} = - 8$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = - 20$  °С. Определить истинную скорость полета.

87. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 9100$  м. Показания КУС составляют  $V_{\text{пр КУС}} = 810$  км/ч. Поправка к указателю скорости  $\Delta V = - 28$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = - 40$  °С. Определить истинную скорость полета.

88. Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 10100$  м. Показания КУС составляют  $V_{\text{пр КУС}} = 910$  км/ч. Поправка к указателю скорости  $\Delta V = - 23$  км/ч. Показания термометра наружного воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{пр}} = - 36$  °С. Определить истинную скорость полета.

### 3. ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ПОЛЕТ ВС

**Ветром** называется горизонтальное перемещение воздушных масс относительно земной поверхности, вызванное неравномерным распределением атмосферного давления в горизонтальной плоскости. Как любой вектор он характеризуется модулем и направлением. На практике используются два вида направления ветра (рис. 17).

**Навигационное направление ветра** - это угол, заключенный между направлением, принятым за начало отсчета, и направлением, куда дует ветер. В зависимости от принятого направления отсчета оно может быть истинным, магнитным или условным, как правило, – магнитное.

**Метеорологическое направление ветра** – это угол, заключенный между северным направлением истинного меридиана и направлением, откуда дует ветер.

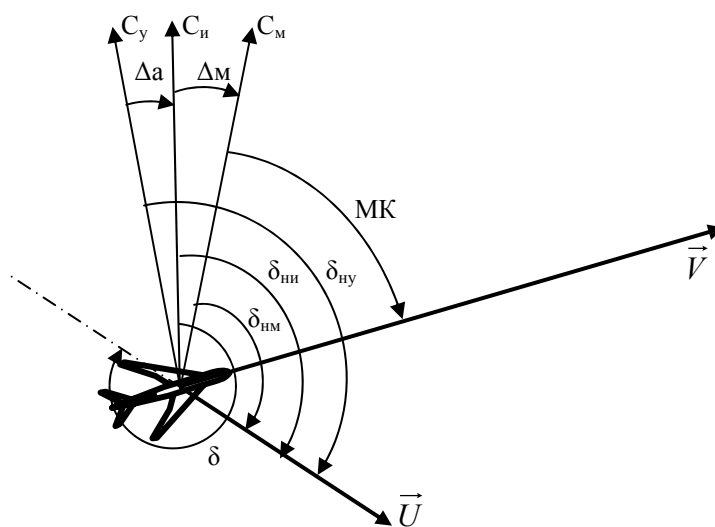


Рис. 17. Навигационное и метеорологическое направления ветра

Направления ветра связаны между собой следующими зависимостями:

$$\delta_{н. и} = \delta \pm 180^\circ;$$

$$\delta_{н. м} = \delta \pm 180^\circ - \Delta_m;$$

$$\delta_{н. у} = \delta \pm 180^\circ + \Delta_a,$$

где  $\Delta_m$  – магнитное склонение в данной точке;

$\Delta_a$  – азимутальная поправка.

Так как воздушное судно перемещается относительно воздушной среды со скоростью  $\vec{V}$ , а сама воздушная среда находится в движении относительно поверхности земли со скоростью  $\vec{U}$ , то перемещение ВС относительно поверхности земли будет характеризоваться векторной суммой названных скоростей, то есть путевой скоростью  $\vec{W}$ :

$$\vec{W} = \vec{V} + \vec{U}.$$

Три указанных вектора образуют в пространстве треугольник, проекция которого на горизонтальную плоскость называется **навигационным треугольником скоростей** (рис. 18).

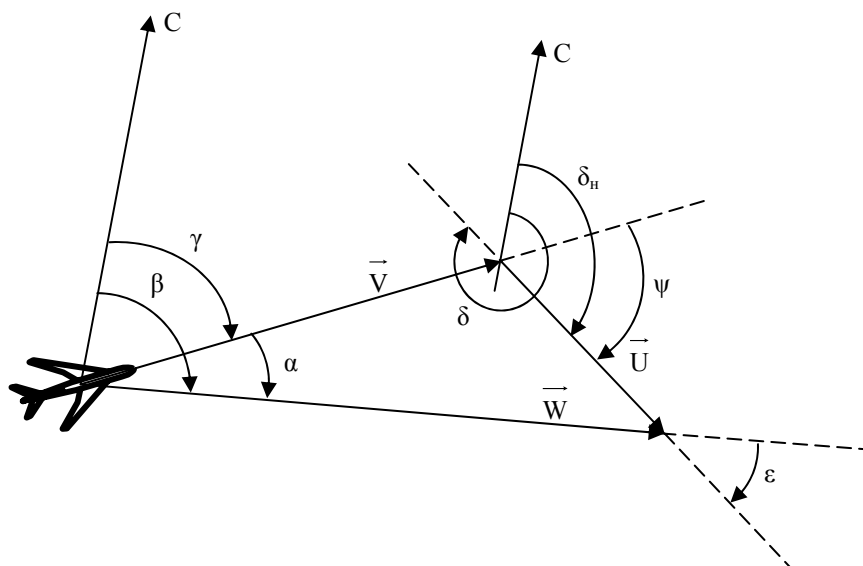


Рис. 18. Навигационный треугольник скоростей

Сторонами треугольника являются модули векторов путевой скорости  $\vec{W}$ , воздушной скорости  $\vec{V}$ , скорости ветра  $\vec{U}$ , которые ориентированы относительно направлений: путевой угол  $\beta$  (ПУ), курс  $\gamma$  (К) и направление ветра  $\delta_n$  (НВ), а углами – курсовой угол ветра  $\psi$  (КУВ), угол ветра  $\epsilon$  (УВ) и угол сноса  $\alpha$  (УС).

**Курсовой угол ветра** – угол, заключенный между проекцией вектора воздушной скорости на горизонтальную плоскость и вектором ветра. Отсчитывается от вектора воздушной скорости к вектору скорости навигационного ветра аналогично углу ветра.

**Угол ветра** – это угол, заключенный между вектором путевой скорости и вектором ветра. Отсчитывается от вектора путевой скорости к вектору скорости навигационного ветра по часовой стрелке от 0 до 360° или от 0 до ±180°.

**Углом сноса** называется угол, заключенный между проекцией вектора воздушной скорости на горизонтальную плоскость и вектором путевой скорости. Отсчитывается от вектора воздушной скорости вправо со знаком “+”, а влево со знаком “–”.

Элементы треугольника связаны между собой следующими основными соотношениями:

$$\beta = \gamma + \alpha;$$

$$\varepsilon = \delta_H - \beta;$$

$$\psi = \delta_H - \beta = \varepsilon + \alpha;$$

$$\frac{\sin \alpha}{U} = \frac{\sin \varepsilon}{V} = \frac{\sin(\varepsilon + \alpha)}{W};$$

$$W = V \cos \alpha + U \cos \varepsilon;$$

$$W^2 = V^2 + U^2 + 2VU \cos \psi.$$

Анализируя приведенные соотношения, мы видим, что при:

- попутном ветре ( $\varepsilon = 0^\circ$ )  $W = V + U$ ;

- встречном ветре ( $\varepsilon = 180^\circ$ )  $W = V - U$ ;

- боковом ветре ( $\varepsilon = 90^\circ$  или  $270^\circ$ ) угол сноса равен максимальному значению, которое находится по зависимости  $\alpha_{\max} \approx \frac{60U}{V}$ , а путевая скорость примерно равна воздушной  $W \approx V$ .

Решая НТС по приведенным зависимостям, которые могут быть дополнены в случае необходимости, экипаж определяет необходимые элементы для реализации заданной траектории полета.

Все решаемые с помощью НТС задачи сводятся к 4-м типовым:

- определение ожидаемой путевой скорости и требуемого курса полета;
- определение параметров фактического навигационного режима полета;
- определение элементов пилотажного режима полета;
- определение направления и скорости ветра.

Наиболее часто используются первая и четвертая задачи.

### 3.1. Определение ожидаемой путевой скорости и требуемого курса полета

Данная задача, как правило, решается в процессе предполетной подготовки, когда по заданным значениям путевого угла  $\beta_3$  и истинной воздушной скорости  $V$ , а также по параметрам прогностического ветра  $\delta$ ,  $U$  необходимо рассчитать ожидаемые значения путевой скорости  $W$ , угла сноса  $\alpha$  и требуемое для выполнения полета по ЛЗП значение курса  $\gamma_T$ .

Решение выполняется в следующем порядке:

1. Рассчитываем навигационное направление ветра по приведенным соотношениям (в зависимости от того, какой из меридианов принят за начало отсчета):

$$\delta_{н. и} = \delta \pm 180^\circ, \delta_{н. м} = \delta \pm 180^\circ - \Delta_m, \delta_{н. y} = \delta \pm 180^\circ + \Delta_a.$$

2. Определяем угол ветра:

$$\varepsilon = \delta_n - \beta_3.$$

3. С помощью НЛ получаем ожидаемые значения  $W$  и  $\alpha$ . Для этого используется следующий алгоритм (рис. 19).

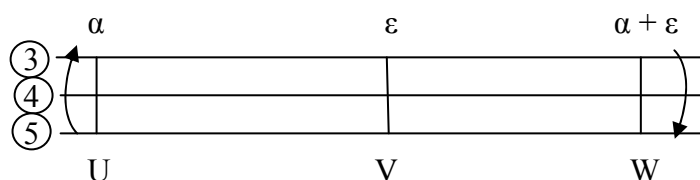


Рис. 19. Алгоритм расчета угла сноса и путевой скорости

Против значения истинной воздушной скорости  $V$  по 5 шкале устанавливаем по 3 шкале величину угла ветра  $\varepsilon$  и против значения скорости ветра  $U$  на 5 шкале по 3 отсчитываем угол сноса  $\alpha$ , а против суммы углов ветра и сноса ( $\varepsilon + \alpha$ ) по 3 шкале по 5 отсчитываем путевую скорость  $W$ .

4. Находим требуемое значение курса:

$$\gamma_T = \beta_3 - \alpha.$$

**Пример 22.** Рассчитать ожидаемые значения угла сноса, путевой скорости и требуемый курс полета, если  $V = 450$  км/ч,  $\delta = 210^\circ$ ,  $U = 60$  км/ч,  $\Delta_M = -8^\circ$ ,  $\beta_{3.M} = 144^\circ$ .

**Решение.** 1. Находим навигационное направление ветра (относительно магнитного меридиана):

$$\delta_{H.M} = \delta \pm 180^\circ - \Delta_M = 210 - 180 - (-8) = 38^\circ.$$

2. Определяем угол ветра:

$$\varepsilon = \delta_{H.M} - \beta_{3.M} = 38 - 144 = -106^\circ.$$

3. Используя НЛ, получаем угол сноса и путевую скорость:

$$\alpha = -7^\circ, W = 430 \text{ км/ч}.$$

4. Требуемый курс полета:

$$\gamma_T = \beta_{3.M} - \alpha = 144 - (-7) = 151^\circ.$$

Данная задача может быть решена в уме. Для этого при определении угла сноса воспользуемся теоремой синусов:

$$\sin \alpha = \frac{U}{V} \sin \varepsilon.$$

Для малых углов сноса это выражение может быть записано:

$$\alpha \approx \frac{60 U}{V} \sin \varepsilon = \alpha_{\max} \sin \varepsilon.$$

Чтобы пользоваться данной формулой, необходимо запомнить значения синусов некоторых углов и как изменяется функция синуса угла (табл. 5).

Таблица 5

Значения синусов некоторых углов

|                 |   |     |     |     |     |     |     |     |     |     |      |
|-----------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $\alpha$ , град | 0 | 6   | 12  | 18  | 24  | 30  | 37  | 45  | 54  | 64  | > 75 |
| $\sin \alpha$   | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 0,9 | 1,0  |

Для нахождения путевой скорости воспользуемся зависимостью:

$$W = V \cos \alpha + U \cos \varepsilon.$$

При малых значениях угла сноса можно считать:

$$W \approx V + U \cos \varepsilon.$$

Функцию  $\cos \varepsilon$  можно найти, используя формулы перевода:

$$\cos \varepsilon = \sin (90^\circ - \varepsilon).$$

**Пример 23.** Рассчитать в уме ожидаемые значения угла сноса, путевой скорости и требуемый курс полета, если  $V = 360$  км/ч,  $\delta = 140^\circ$ ,  $U = 60$  км/ч,  $\Delta_M = -12^\circ$ ,  $\beta_{3.M} = 18^\circ$ .

**Решение.** 1. Находим навигационное направление ветра (относительно магнитного меридиана):

$$\delta_{н. м} = 140 + 180 - (-12) = 332^\circ.$$

2. Определяем угол ветра:

$$\varepsilon = 332 - 18 = 314^\circ = -46^\circ.$$

3. Рассчитываем угол сноса и путевую скорость:

$$\alpha_{\max} = \frac{60 \cdot 60}{360} = 10^\circ;$$

$$\sin (-46^\circ) \approx -0,7.$$

$$\alpha = 10^\circ \cdot (-0,7) = -7^\circ.$$

$$W \approx 360 + 60 \cos (-46^\circ) = 360 + 60 \cdot 0,7 = 360 + 42 = 402 \text{ км/ч}.$$

4. Определяем требуемый курс:

$$\gamma_T = 18 - (-7) = 25^\circ.$$

### 3.2. Определение направления и скорости ветра

Данная задача подлежит решению, когда в полете могут быть измерены величины угла сноса и путевой скорости, а полет выполняется с выдерживанием заданного курса и истинной воздушной скорости.

Решение задачи выполняется с использованием условного угла ветра, который представляет собой острый угол между линией фактического пути и направлением ветра (рис. 20).

Расчет выполняется в следующей последовательности:

1. Находим продольную составляющую ветра, которая влияет на создание путевой скорости:

$$\Delta W = W - V \cos \alpha.$$

При малых значениях угла  $\alpha$   $\cos \alpha \approx 1$ . Тогда  $\Delta W \approx W - V$ , то есть она принимается равной эквивалентному ветру.

2. Определяем величину острого угла ветра  $\epsilon'$ .

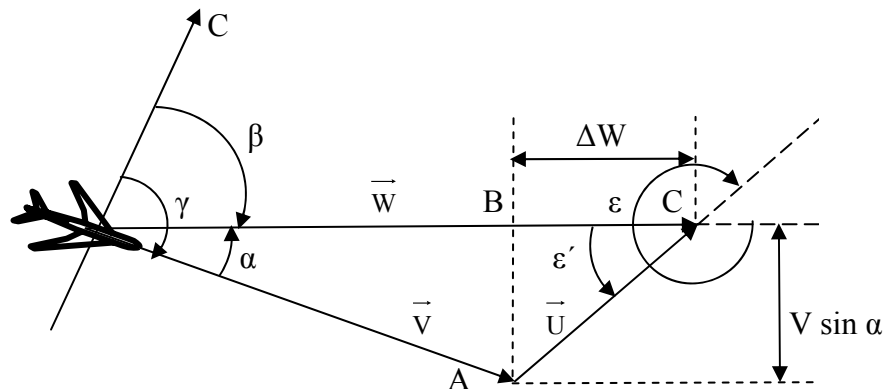


Рис. 20. К определению параметров ветра

Рассматривая  $\Delta ABC$ , получаем

$$\operatorname{tg} \epsilon' = V \sin \alpha / \Delta W.$$

Это равенство может быть реализовано на НЛ по алгоритму (рис. 21):

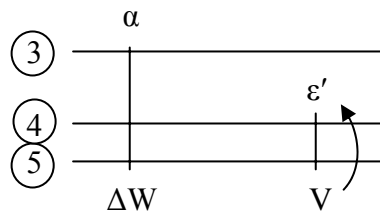


Рис. 21. Алгоритм расчета острого угла ветра

При этом необходимо учесть, что знак острого угла ветра  $\epsilon'$  будет соответствовать знаку угла сноса  $\alpha$ .

3. Находим скорость ветра с помощью НЛ, реализуя следующий алгоритм (рис. 22):

$$U = V \sin \alpha / \sin \epsilon'.$$

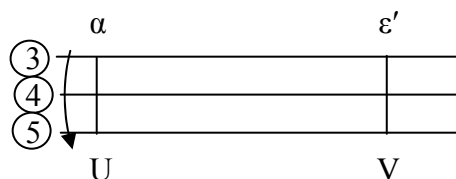


Рис. 22. Алгоритм определения скорости ветра

4. Для расчета метеорологического направления ветра воспользуемся зависимостями:

- если выполняется условие, что  $W < V$ , то

$$\delta = \gamma_{\text{и}} + \alpha - \varepsilon';$$

- если  $W > V$ , то

$$\delta = \gamma_{\text{и}} + \alpha \pm 180^\circ + \varepsilon'.$$

**Пример 24.**  $V_{\text{и}} = 630$  км/ч;  $\gamma_{\text{м}} = 18^\circ$ ;  $\alpha = -8^\circ$ ;  $W = 650$  км/ч;  $\Delta_{\text{м}} = -9^\circ$ .

Определить метеорологическое направление и скорость ветра.

**Решение.** 1. Определяем разность между путевой и истинной воздушной скоростями:

$$\Delta W = 650 - 630 = 20 \text{ км/ч.}$$

2. Находим острый угол ветра с применением алгоритма по НЛ:

$$\varepsilon' = -77^\circ.$$

3. Получаем значение скорости ветра, используя НЛ:

$$U = 88 \text{ км/ч.}$$

4. Рассчитываем метеорологическое направление ветра по второй зависимости, так как  $W > V$ :

$$\begin{aligned} \delta &= \gamma_{\text{и}} + \alpha \pm 180^\circ + \varepsilon' = \gamma_{\text{м}} + \Delta_{\text{м}} + \alpha \pm 180^\circ + \varepsilon' = \\ &= 18 + (-9) + (-8) + 180 + (-77^\circ) = 104^\circ \end{aligned}$$

Задача по расчету параметров ветра может быть решена в уме.

Острый угол ветра находится из прямоугольного  $\Delta ABC$  (рис. 20), в котором  $BC$  представляет собой продольную составляющую ветра  $\Delta W = U_{\text{прод}}$ , а сторона  $AB$  – боковую составляющую  $U_{\text{бок}}$ .

Боковую составляющую мы можем найти, применив теорему синусов для НТС:

$$\frac{\sin \alpha}{U} = \frac{\sin \varepsilon}{V}.$$

$$\text{Отсюда } \sin \alpha = \frac{U}{V} \sin \varepsilon \text{ или } \sin \alpha = \frac{U_{\text{бок}}}{V}, \text{ или же } \alpha \approx \frac{60 U_{\text{бок}}}{V}.$$

Из данного выражения получаем  $U_{бок} = \frac{V}{60} \alpha = K \alpha$ .

Условный угол ветра находится по зависимости  $\varepsilon' = \arctg (U_{бок}/U_{прод})$ .

При определении условного угла ветра необходимо помнить, что при углах, меньших  $40^\circ$ , изменение угла на  $5^\circ$  дает прирост тангенса на 0,1 (табл. 6).

Таблица 6

Значения тангенсов некоторых углов

| $\alpha$ , град            | 0 | 5   | 10  | 15  | 20  | 25  | 30  | 35  | 40  | 45  |
|----------------------------|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\operatorname{tg} \alpha$ | 0 | 0,1 | 0,2 | 0,3 | 0,4 | 0,5 | 0,6 | 0,7 | 0,8 | 1,0 |

Записанное выражение для расчета  $\varepsilon'$  применяется, когда  $U_{бок} < U_{прод}$ .

Если  $U_{бок} > U_{прод}$ , то для получения  $\varepsilon'$  может быть использована следующая формула:

$$\varepsilon' = 90^\circ - \arctg (U_{прод}/U_{бок}).$$

Скорость ветра находится по следующей формуле:

$$U = U_{бок} / \sin \varepsilon'.$$

Направление ветра находим, используя приведенные зависимости:

- если выполняется условие, что  $W < V$ , то

$$\delta = \gamma_{и} + \alpha - \varepsilon';$$

- если  $W > V$ , то

$$\delta = \gamma_{и} + \alpha \pm 180^\circ + \varepsilon'.$$

**Пример 25.**  $V_{и} = 540$  км/ч;  $\gamma_{м} = 342^\circ$ ;  $\alpha = -5^\circ$ ;  $W = 500$  км/ч;  $\Delta m = -8^\circ$ .

Определить метеорологическое направление и скорость ветра.

**Решение.** 1. Определяем разность между путевой и истинной воздушной скоростями:

$$\Delta W = U_{прод} = 500 - 540 = -40 \text{ км/ч.}$$

2. Находим боковую составляющую ветра:

$$U_{бок} = \frac{540}{60} (-5) = -45 \text{ км/ч.}$$

3. Определяем значение условного угла ветра. Так как  $U_{\text{бок}} > U_{\text{прод}}$ , применяем длинную формулу:

$$\varepsilon' = - [90 - \arctg (40/45)] = - [90 - \arctg (0,9)] = - (90 - 42) = - 48^\circ.$$

4. Рассчитываем скорость ветра:

$$U = 45 / \sin 48^\circ = 45 / 0,7 = 64 \text{ км/ч.}$$

5. Метеорологическое направление ветра будет

$$\delta = 342 + (- 8) + (- 5) - (- 48) = 17^\circ.$$

### 3.3. Эквивалентный ветер

При решении навигационных задач можно оценить влияние ветра на путевую скорость, пользуясь эквивалентным ветром.

**Эквивалентный ветер** представляет собой условный ветер, направление которого совпадает с ЛЗП, а скорость такая, что при данной воздушной скорости ВС он создает такую же путевую скорость, что и действительный ветер в данной точке пространства (рис. 23):

$$\vec{V} + \vec{U}_э = \vec{W},$$

откуда

$$\vec{U}_э = \vec{W} - \vec{V}.$$

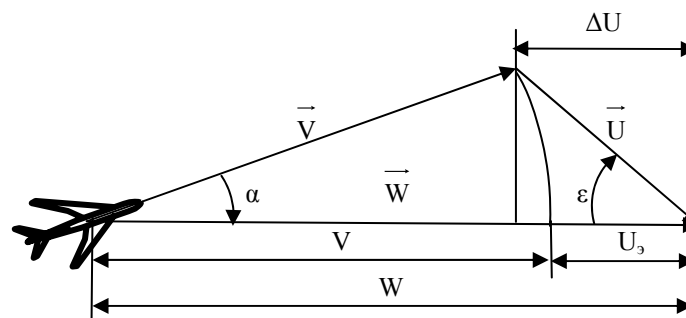


Рис. 23. Эквивалентный ветер

Эквивалентный ветер может быть только попутным или встречным. Его значение в одной и той же точка пространства он зависит от скорости или направления полета ВС, а также от параметров реального ветра.

Он может быть рассчитан по зависимости:

$$U_{\text{э}} = U \cos \varepsilon - (U^2/2V)\sin^2 \varepsilon,$$

или

$$U_{\text{э}} = U_{\text{прод}} - U_{\text{бок}}^2 / 2V.$$

Для каждого типа ВС и среднего значения его скорости рассчитаны и составлены таблицы эквивалентного ветра (табл. 7).

Различают мгновенные и средние значения скорости эквивалентного ветра. Средний за сезон или год эквивалентный ветер по данному маршруту определяется на основе метеорологических наблюдений. Средний эквивалентный ветер по маршруту определяется с использованием скоростей эквивалентного ветра на каждом участке:

$$U_{\text{э.ср}} = \frac{1}{S_{\text{общ}}} \sum_{i=1}^{i=n} U_{\text{э}i} S_i,$$

где  $S_i$  – протяженность  $i$ -го участка;

$U_{\text{э}i}$  – эквивалентный ветер на  $i$ -м участке;

$n$  – число участков.

Таблица 7

Скорость эквивалентного ветра для ВС с  $V_{и} = 400 \dots 500$  км/ч

| Угол ветра, град | Скорость ветра, км/ч |     |     |     |      |      |      |      |      |      |
|------------------|----------------------|-----|-----|-----|------|------|------|------|------|------|
|                  | 20                   | 40  | 60  | 80  | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  | 200  |
| 0, 360           | 20                   | 40  | 60  | 80  | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  | 200  |
| 5, 355           | 20                   | 40  | 60  | 80  | 100  | 120  | 140  | 160  | 180  | 200  |
| 10, 350          | 20                   | 39  | 59  | 78  | 98   | 117  | 137  | 156  | 176  | 196  |
| 15, 345          | 19                   | 38  | 58  | 77  | 96   | 115  | 134  | 152  | 171  | 190  |
| 20, 340          | 19                   | 37  | 56  | 74  | 93   | 111  | 129  | 147  | 165  | 183  |
| 25, 335          | 18                   | 36  | 54  | 71  | 89   | 106  | 123  | 140  | 157  | 173  |
| 30, 330          | 17                   | 34  | 51  | 68  | 84   | 100  | 116  | 131  | 147  | 162  |
| 35, 325          | 16                   | 32  | 48  | 63  | 78   | 93   | 107  | 122  | 135  | 149  |
| 40, 320          | 15                   | 30  | 44  | 58  | 72   | 85   | 98   | 111  | 123  | 135  |
| 45, 315          | 14                   | 27  | 40  | 53  | 65   | 77   | 88   | 99   | 109  | 119  |
| 50, 310          | 13                   | 25  | 36  | 47  | 58   | 68   | 77   | 86   | 95   | 102  |
| 55, 305          | 11                   | 22  | 32  | 41  | 50   | 58   | 66   | 73   | 79   | 85   |
| 60, 300          | 10                   | 19  | 27  | 35  | 42   | 48   | 54   | 59   | 63   | 67   |
| 65, 295          | 8                    | 15  | 22  | 28  | 33   | 35   | 41   | 44   | 46   | 48   |
| 70, 290          | 6                    | 12  | 17  | 21  | 24   | 27   | 29   | 30   | 30   | 29   |
| 75, 285          | 5                    | 9   | 12  | 14  | 16   | 16   | 16   | 15   | 13   | 10   |
| 80, 280          | 3                    | 5   | 6   | 7   | 7    | 5    | 3    | 0    | -4   | -8   |
| 85, 275          | 1                    | 2   | 1   | 0   | -2   | -5   | -9   | -14  | -20  | -27  |
| 90, 270          | -1                   | -2  | -4  | -7  | -11  | -16  | -22  | -28  | -36  | -44  |
| 95, 265          | -2                   | -5  | -9  | -14 | -20  | -26  | -34  | -42  | -51  | -62  |
| 100, 260         | -4                   | -9  | -14 | -21 | -28  | -36  | -45  | -55  | -66  | -78  |
| 105, 255         | -6                   | -12 | -19 | -27 | -36  | -46  | -57  | -68  | -80  | -93  |
| 110, 250         | -7                   | -15 | -24 | -34 | -44  | -55  | -67  | -80  | -93  | -108 |
| 115, 245         | -9                   | -18 | -29 | -40 | -51  | -66  | -77  | -91  | -106 | -121 |
| 120, 240         | -10                  | -21 | -33 | -45 | -58  | -72  | -86  | -101 | -117 | -133 |
| 125, 235         | -12                  | -24 | -37 | -51 | -65  | -80  | -95  | -111 | -127 | -145 |
| 130, 230         | -13                  | -27 | -41 | -56 | -71  | -87  | -103 | -120 | -137 | -155 |
| 135, 225         | -14                  | -29 | -44 | -60 | -76  | -93  | -110 | -127 | -145 | -164 |
| 140, 220         | -15                  | -31 | -47 | -64 | -81  | -99  | -116 | -134 | -153 | -171 |
| 145, 215         | -16                  | -33 | -50 | -68 | -86  | -104 | -122 | -140 | -159 | -179 |
| 150, 210         | -17                  | -35 | -53 | -71 | -89  | -108 | -127 | -146 | -165 | -184 |
| 155, 205         | -18                  | -36 | -55 | -74 | -93  | -112 | -131 | -150 | -169 | -189 |
| 160, 200         | -19                  | -38 | -57 | -76 | -95  | -115 | -134 | -153 | -173 | -193 |
| 165, 195         | -19                  | -39 | -58 | -78 | -97  | -117 | -137 | -157 | -176 | -196 |
| 170, 190         | -20                  | -39 | -59 | -79 | -99  | -118 | -138 | -158 | -178 | -198 |
| 175, 185         | -20                  | -40 | -60 | -80 | -100 | -120 | -140 | -160 | -180 | -200 |
| 180, 180         | -20                  | -40 | -60 | -80 | -100 | -120 | -140 | -160 | -180 | -200 |

## ЗАДАЧИ

89. Определить ожидаемые значения угла сноса, путевой скорости, времени полета и расчетного курса следования по следующим исходным данным.

| №<br>п/п | $\beta_m$ , град | $V_n$ , км/ч | $\delta$ , град | $U$ , км/ч | $\Delta m$ , град | $S$ , км |
|----------|------------------|--------------|-----------------|------------|-------------------|----------|
| 1        | 25               | 180          | 330             | 30         | – 5               | 36       |
| 2        | 48               | 370          | 210             | 50         | 7                 | 74       |
| 3        | 74               | 420          | 160             | 70         | – 12              | 98       |
| 4        | 118              | 450          | 270             | 80         | – 8               | 57       |
| 5        | 176              | 540          | 40              | 60         | 9                 | 69       |
| 6        | 235              | 630          | 260             | 90         | – 16              | 125      |
| 7        | 270              | 710          | 130             | 70         | 5                 | 238      |
| 8        | 303              | 780          | 80              | 120        | – 4               | 146      |
| 9        | 349              | 840          | 310             | 100        | – 10              | 347      |
| 10       | 04               | 920          | 90              | 90         | 5                 | 642      |

90. Определить метеорологическое направление и скорость ветра по следующим исходным данным.

| №<br>п/п | $\gamma_m$ , град | $V_n$ , км/ч | $\alpha$ , град | $W$ , км/ч | $\Delta m$ , град |
|----------|-------------------|--------------|-----------------|------------|-------------------|
| 1        | 124               | 770          | - 8             | 740        | – 5               |
| 2        | 259               | 360          | 6               | 390        | 13                |
| 3        | 43                | 180          | 4               | 160        | – 10              |
| 4        | 344               | 860          | - 5             | 790        | – 4               |
| 5        | 16                | 940          | 12              | 850        | 5                 |
| 6        | 96                | 410          | - 4             | 500        | – 13              |
| 7        | 235               | 560          | 12              | 520        | 14                |
| 8        | 282               | 900          | - 7             | 860        | – 14              |
| 9        | 216               | 510          | 9               | 610        | – 15              |
| 10       | 324               | 850          | -10             | 930        | 9                 |

91. Определить величину эквивалентного ветра по следующим исходным данным.

| № п/п | $\beta_m$ , град | $V_{и}$ , км/ч | $\delta$ , град | $U$ , км/ч | $\Delta m$ , град |
|-------|------------------|----------------|-----------------|------------|-------------------|
| 1     | 58               | 490            | 200             | 100        | – 12              |
| 2     | 276              | 480            | 130             | 60         | 10                |
| 3     | 87               | 520            | 70              | 100        | – 15              |
| 4     | 148              | 400            | 190             | 60         | – 9               |
| 5     | 215              | 410            | 30              | 120        | 7                 |
| 6     | 325              | 480            | 240             | 40         | – 6               |

#### 4. ПРИМЕНЕНИЕ УГЛОМЕРНЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ

Радиотехническим средствам отводится одно из важнейших мест при решении задач навигации, и в комплексе с другими средствами они обеспечивают точное и надежное самолетовождение.

По месту расположения они делятся на бортовые и наземные. Бортовое и соответствующее ему наземное оборудование применяются в комплексе и образуют радиотехническую систему навигации.

По назначению и дальности действия радиотехнические системы навигации подразделяются на системы дальней навигации, системы ближней навигации и системы посадки ВС.

По виду измеряемых параметров радиотехнические системы делятся на угломерные, дальномерные, угломерно-дальномерные и разностно-дальномерные.

Наибольшее распространение в авиации получили угломерные радиотехнические системы навигации, позволяющие определять направление на ВС от радионавигационной точки или от ВС на радионавигационную точку: радиокompасные, радиопеленгаторные и радиомаячные.

При пеленговании с помощью радиокompаса основными элементами пеленгования являются курсовой угол радиостанции, пеленг радиостанции, пеленг ВС (рис. 24).

**Курсовой угол радиостанции** – угол, заключенный между продольной осью ВС и ортодромическим направлением на радиостанцию.

**Пеленг радиостанции** – угол, заключенный между северным направлением меридиана, принятого за начало отсчета, проходящего через ВС, и ортодромическим направлением на радиостанцию.

**Пеленг самолета** – угол, заключенный между северным направлением меридиана, принятого за начало отсчета, проходящего через место установки радиостанции, и ортодромическим направлением на воздушное судно.

Меридианы радиостанции и ВС не параллельны, и линия ортодромического направления от ВС на радиостанцию пересекает эти меридианы под разными углами.

**Угол схождения меридианов** двух точек – это разность путевых углов ортодромии, проходящей через эти точки. Упрощенно его можно представить как угол, заключенный между северным направлением истинного меридиана, проходящего через радиостанцию, и северным направлением истинного меридиана, проходящего через ВС, перенесенного в точку расположения радиостанции параллельно самому себе.

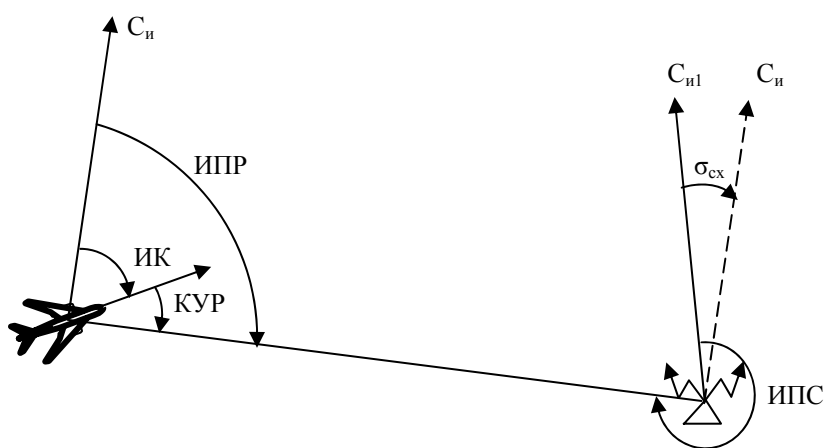


Рис. 24. Основные элементы пеленгования

Радиокомпасные системы позволяют решать следующие задачи:

- выполнять полет от радиостанции или на нее в заданном направлении;
- осуществлять контроль по направлению, дальности;
- определять момент пролета радиостанции или ее траверза, место ВС и навигационные элементы;
- выполнять заход на посадку по установленной схеме.

Рассмотрим выполнение контроля пути по направлению с применением радиокомпаса при полете от радиостанции или на нее.

#### 4.1. Полет от радиостанции

Полет от радиостанции в заданном направлении может быть выполнен, если она расположена на линии пути или ее продолжении. При этом по результатам осуществления контроля пути по направлению полет может выполняться с выходом на ЛЗП и дальнейшим полетом по ней или с выходом в ППМ.

Контроль пути по направлению при полете от радиостанции выполняется путем сравнения ПС с ЗПУ (рис.25). При применении магнитного курсового прибора это будет  $\text{МПС} = \text{МК} + \text{КУР} \pm 180^\circ$  или  $\text{МПС} = \text{МК} + \alpha$  ( $\alpha = \text{КУР} - 180^\circ$ ).

Если  $МПС = ЗМПУ$ , то ВС находится на ЛЗП, если  $МПС < ЗМПУ$ , то ВС - слева от ЛЗП, если  $МПС > ЗМПУ$ , то ВС - справа от ЛЗП.

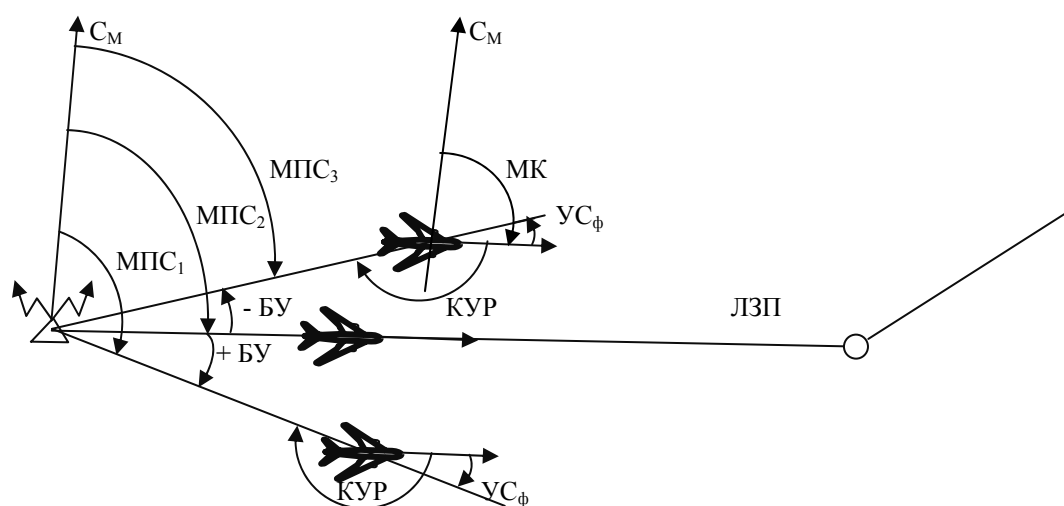


Рис. 25. Полет от радиостанции

При наличии расхождений между МПС и ЗМПУ рассчитывается величина бокового уклонения:

$$\text{БУ} = \text{МПС} - 3\text{МПУ}.$$

Если ВС достаточно точно прошло радиостанцию и следовало от нее с постоянным курсом, то  $\Phi_{МПУ} = МПС$  и можно найти фактический угол сноса:

$$YC_{\phi} = \Phi M\Pi Y - MK_p$$

ИЛИ

$$УС_{\phi} = КУР - 180^{\circ}.$$

**Пример 26.** Воздушное судно выполняет полет по участку маршрута с  $ЗМПУ = 245^{\circ}$ , выдерживая  $МК_p = 238^{\circ}$ . При этом  $КУР = 190^{\circ}$ . Определить МПС, БУ и  $УС_{\phi}$ .

**Решение.** 1. Находим МПС:

$$МПС = 238 + 190 - 180 = 248^{\circ}.$$

2. Рассчитываем величину БУ:

$$БУ = 248 - 245 = 3^{\circ}.$$

3. Определяем фактический УС:

$$УС_{\phi} = 190 - 180 = 10^{\circ}.$$

При контроле пути по направлению необходимо определить линейное боковое уклонение, которое позволяет судить о положении ВС в пределах ширины трассы:

$$ЛБУ = S_{пр} \operatorname{tg} БУ.$$

После определения ЛБУ принимается решение, каким образом будет продолжаться полет: с выходом на ЛЗП или с выходом на ППМ.

Если ЛБУ превышает значение  $b$  (ширина трассы  $2b$ ), то есть при значительном уклонении от ЛЗП, а также если необходимо строго следовать по ЛЗП, необходимо выйти на ЛЗП, задавшись углом выхода  $20...90^{\circ}$  (рис.26).

Далее рассчитывается курс выхода на ЛЗП:

$$МК_{\text{вых}} = ЗМПУ - У_{\text{вых}}.$$

Знак угла выхода соответствует стороне уклонения: при уклонении влево “−”, вправо “+”.

Выход на ЛЗП контролируется по  $КУР_{\text{вых}}$ :

$$КУР_{\text{вых}} = 180^{\circ} + У_{\text{вых}}.$$

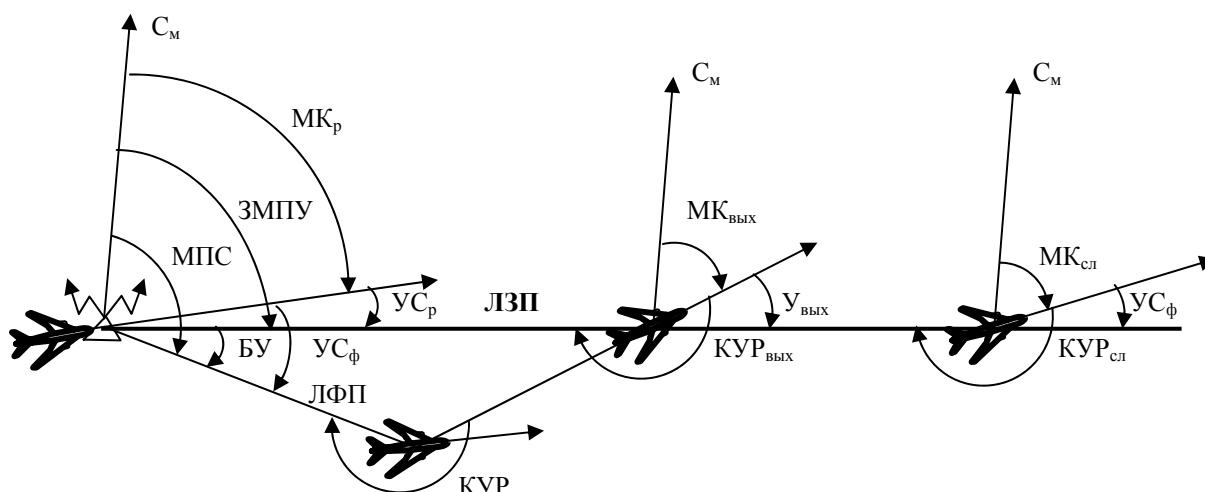


Рис. 26. Полет от радиостанции с выходом на ЛЗП

Выйдя на ЛЗП, экипаж ВС берет курс следования по ЛЗП:

$$MK_{сл} = ЗМПУ - УС_{ф}$$

или

$$MK_{сл} = MK_p - БУ.$$

Контроль полета по ЛЗП осуществляется по  $КУР_{сл}$  или  $МПС_{сл}$ :

$$КУР_{сл} = 180^\circ + УС_{ф}; \quad МПС_{сл} = ЗМПУ.$$

**Пример 27.** Воздушное судно выполняет полет по участку воздушной трассы с  $ЗМПУ = 24^\circ$ , выдерживая  $MK_p = 28^\circ$ . Через 8 мин полета с путевой скоростью 510 км/ч произведен отсчет  $КУР = 170^\circ$ . Ширина воздушной трассы  $2b = 10$  км. Определить  $MK_{вых}$ ,  $КУР_{вых}$ , если  $y_{вых} = 40^\circ$ , а также  $MK_{сл}$  и  $КУР_{сл}$  по воздушной трассе.

**Решение.** 1. Находим МПС:

$$МПС = 28 + 170 - 180 = 18^\circ.$$

2. Рассчитываем величину БУ:

$$БУ = 18 - 24 = -6^\circ.$$

3. Определяем фактический УС:

$$УС_{ф} = 170 - 180 = -10^\circ.$$

4. Находим пройденное расстояние с использованием НЛ по следующему алгоритму (рис. 27):

$$S_{пр} = 68 \text{ км.}$$

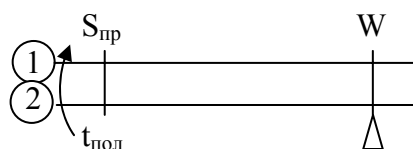


Рис. 27. Алгоритм определения пройденного расстояния

5. Определяем с помощью НЛ величину ЛБУ:

$$\text{ЛБУ} = -7 \text{ км.}$$

6. Рассчитываем магнитный курс выхода на ЛЗП:

$$\text{МК}_{\text{вых}} = 24 - (-40) = 64^\circ.$$

7. Рассчитываем КУР<sub>вых</sub> на ЛЗП:

$$\text{КУР}_{\text{вых}} = 180 - 40 = 140^\circ.$$

8. Определяем МК<sub>сл</sub> по ЛЗП:

$$\text{МК}_{\text{сл}} = 24 - (-10) = 34^\circ.$$

9. Рассчитываем КУР<sub>сл</sub> по воздушной трассе:

$$\text{КУР}_{\text{сл}} = 180 + (-10) = 170^\circ.$$

При незначительном уклонении от ЛЗП, а также если оставшееся до ППМ расстояние невелико, возможен выход ВС сразу на ППМ.

Для следования на ППМ после определения БУ необходимо рассчитать дополнительную поправку и поправку в курс. ДП рассчитывается по пройденному и оставшемуся расстоянию или времени:

$$\text{ДП} = (S_{\text{пр}}/S_{\text{ост}}) \text{ БУ или } \text{ДП} = (t_{\text{пр}}/t_{\text{ост}}) \text{ БУ.}$$

Затем определяется ПК:

$$\text{ПК} = \text{БУ} + \text{ДП.}$$

Решение данных зависимостей возможно с использованием НЛ по следующему алгоритму (рис. 28):

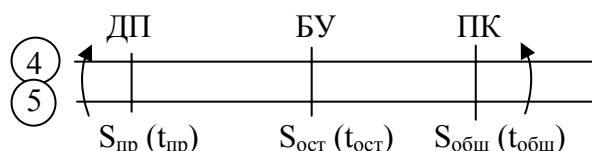


Рис. 28. Алгоритм определения ДП и ПК

Далее определяется магнитный курс следования на ППМ (рис. 29):

$$MK_{ППМ} = MK_p - ПК.$$

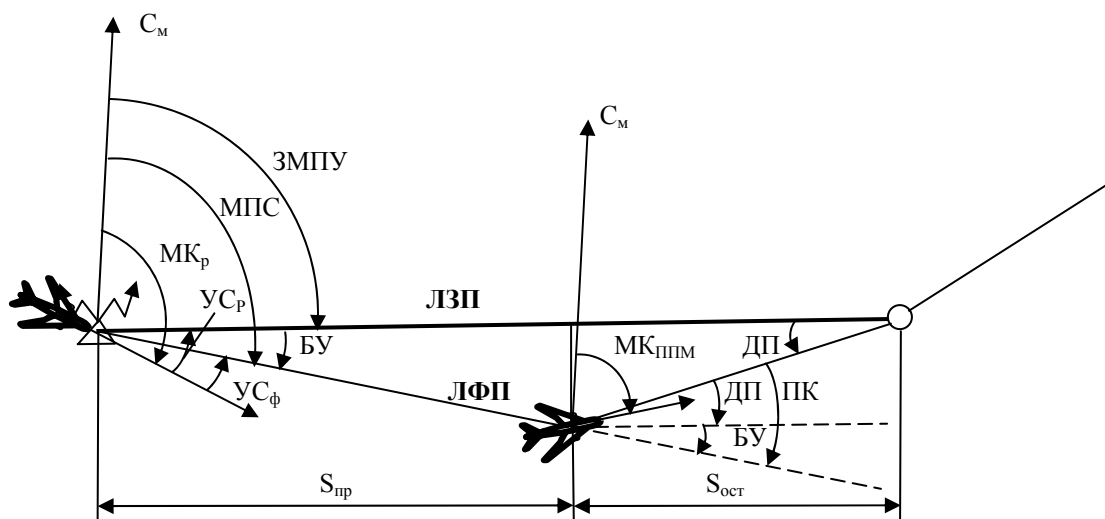


Рис. 29. Полет от радиостанции с выходом на ППМ

**Пример 28.** Воздушное судно выполняет полет с  $MK_p = 164^\circ$  по участку маршрута с  $ЗМПУ = 168^\circ$ . Через 12 мин после пролета радиостанции произведен отсчет  $КУР = 188^\circ$ . Расчетное время полета по данному участку равно 17 мин. Определить  $MK_{ППМ}$ .

**Решение.** 1. Находим МПС:

$$МПС = 164 + 188 - 180 = 172^\circ.$$

2. Рассчитываем величину БУ:

$$БУ = 172 - 168 = 4^\circ.$$

3. Оставшееся время полета до ППМ:

$$t_{ост} = t_{общ} - t_{пр} = 17 - 12 = 5 \text{ мин.}$$

4. Определяем ДП и ПК с помощью НЛ:

$$ДП = 9^\circ, ПК = 13^\circ.$$

5. Рассчитываем  $MK_{ППМ}$ :

$$MK_{ППМ} = 164 - 13 = 151^\circ.$$

## ЗАДАЧИ

92. Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = ЗМПУ = 128^\circ$ . Через 10 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 192^\circ$ . Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 40^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

93.  $ЗМПУ = 32^\circ$ . Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 26^\circ$ . Через 7 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 188^\circ$ . Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 20^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

94.  $ЗМПУ = 229^\circ$ . Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 225^\circ$ . Через 12 минут полета экипаж отсчитал  $КУР = 178^\circ$ . Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 40^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

95.  $ЗМПУ = 86^\circ$ . Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 88^\circ$ . Через 15 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 168^\circ$ . Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 50^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

96. Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 148^\circ$ ,  $ЗМПУ = 138^\circ$ . Через 9 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 182^\circ$ . Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 40^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

97. Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = ЗМПУ = 294^\circ$ . Через 15 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 176^\circ$ . До пролета ППМ осталось 6 мин полета. Определить  $МК_{\text{ППМ}}$ .

98.  $ЗМПУ = 224^\circ$ . Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 232^\circ$ . Через 10 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 180^\circ$ . До пролета ППМ осталось 8 мин полета. Определить  $МК_{\text{ППМ}}$ .

99. Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 336^\circ$ .  $ЗМПУ = 344^\circ$ . Через 15 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 186^\circ$ . До пролета ППМ осталось 8 мин полета. Определить  $МК_{\text{ППМ}}$ .

100. Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 348^\circ$ .  $ЗМПУ = 340^\circ$ . Через 10 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 172^\circ$ . До пролета ППМ осталось 7 мин полета. Определить  $МК_{\text{ППМ}}$ .

101.  $ЗМПУ = 22^\circ$ . Самолет выполняет полет от РНТ с  $МК = 26^\circ$ . Через 9 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 168^\circ$ . До пролета ППМ осталось 7 мин полета. Определить  $МК_{ППМ}$ .

102.  $ЗМПУ = 168^\circ$ . Приводная радиостанция расположена в ППМ.  $T_{общ} = 0$  ч 54 мин. Самолет прошел ППМ в 19.27 с  $МК = 172^\circ$ . В 19.53 отсчитали  $КУР = 182^\circ$ . Определить сторону и величину бокового уклонения самолета от ЛЗП,  $МК_{ППМ}$ .

103.  $ЗМПУ = 185^\circ$ . Приводная радиостанция расположена в ИПМ.  $T_{общ} = 1$  ч 05 мин. Самолет прошел ИПМ в 06.32 с  $МК = 192^\circ$ . В 06.50 отсчитали  $КУР = 178^\circ$ . Определить сторону и величину бокового уклонения самолета от ЛЗП,  $МК_{ППМ}$ .

104.  $ЗМПУ = 292^\circ$ . Приводная радиостанция расположена в ППМ.  $T_{общ} = 0$  ч 31 мин. Самолет прошел ППМ в 14.23 с  $МК = 296^\circ$ . В 14.43 отсчитали  $КУР = 174^\circ$ . Определить сторону и величину бокового уклонения самолета от ЛЗП,  $МК_{ППМ}$ .

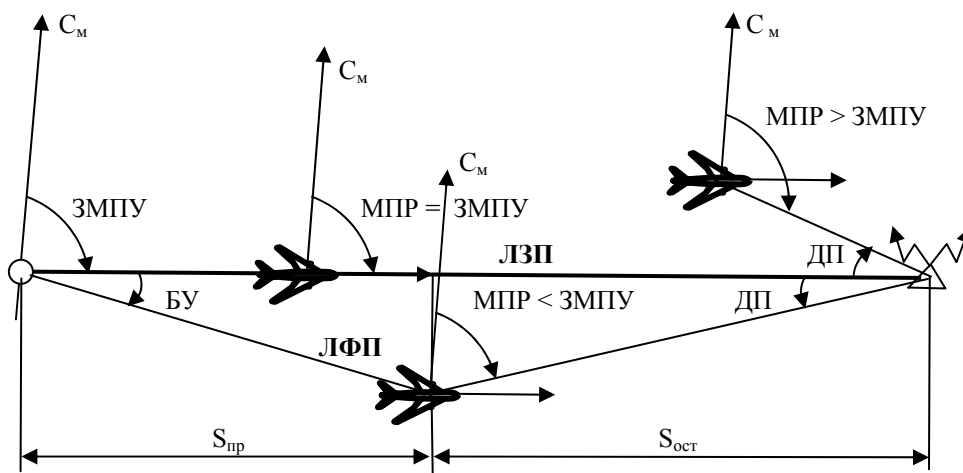
105. Самолет прошел РНТ с  $МК = 86^\circ$  для обхода грозового очага.  $ЗМПУ$  участка ЛЗП, проходящего через РНТ равен  $55^\circ$ . После обхода грозового очага при  $КУР = 185^\circ$  экипаж принял решение выйти на ЛЗП, взяв  $У_{вых} = 40^\circ$ . Определить  $МК_{вых}$  и  $КУР_{вых}$ .

106. Самолет прошел РНТ с  $МК = 12^\circ$  для обхода грозового очага.  $ЗМПУ$  участка ЛЗП, проходящего через РНТ равен  $42^\circ$ . После обхода грозового очага при  $КУР = 175^\circ$  экипаж принял решение выйти на ЛЗП, взяв  $У_{вых} = 60^\circ$ . Определить  $МК_{вых}$  и  $КУР_{вых}$ .

107.  $ЗМПУ = 126^\circ$ . После прохождения РНТ экипаж получил команду на сохранение  $МК = 70^\circ$ . Через 10 мин при  $КУР = 175^\circ$  получена команда на выход на ЛЗП с  $МК = 160^\circ$ . Определить момент выхода на ЛЗП.

108.  $ЗМПУ = 352^\circ$ . Однако при прохождении РНТ экипаж получил команду на сохранение  $МК = 310^\circ$ . Через 9 мин при  $КУР = 188^\circ$  получена команда на выход на ЛЗП с  $МК = 30^\circ$ . Определить момент выхода на ЛЗП.

110. ЗМПУ =  $52^\circ$ . Однако при прохождении РНТ экипаж получил команду на сохранение МК =  $75^\circ$ . Через 11 мин при КУР =  $194^\circ$  получена команда на выход на ЛЗП с МК =  $30^\circ$ . Определить момент выхода на ЛЗП.



$$\text{БУ} = (S_{\text{ост}}/S_{\text{пр}}) \text{ ДП или } \text{БУ} = (t_{\text{ост}}/t_{\text{пр}}) \text{ ДП.}$$

Данные зависимости могут быть реализованы с использованием НЛ по алгоритму, приведенному на рис.27.

Угол сноса рассчитывается по формуле:

$$УС_{\phi} = УС_{р} + БУ.$$

При возникновении отклонения ВС от ЛЗП дальнейшее продолжение полета возможно с выходом прямо на радиостанцию, расположенную в ППМ, или с выходом на ЛЗП и дальнейшим полетом по ЛЗП.

Полет с выходом на ЛЗП выполняется, когда необходимо строго следовать по ЛЗП, а также при значительном боковом отклонении от ЛЗП (рис. 31).

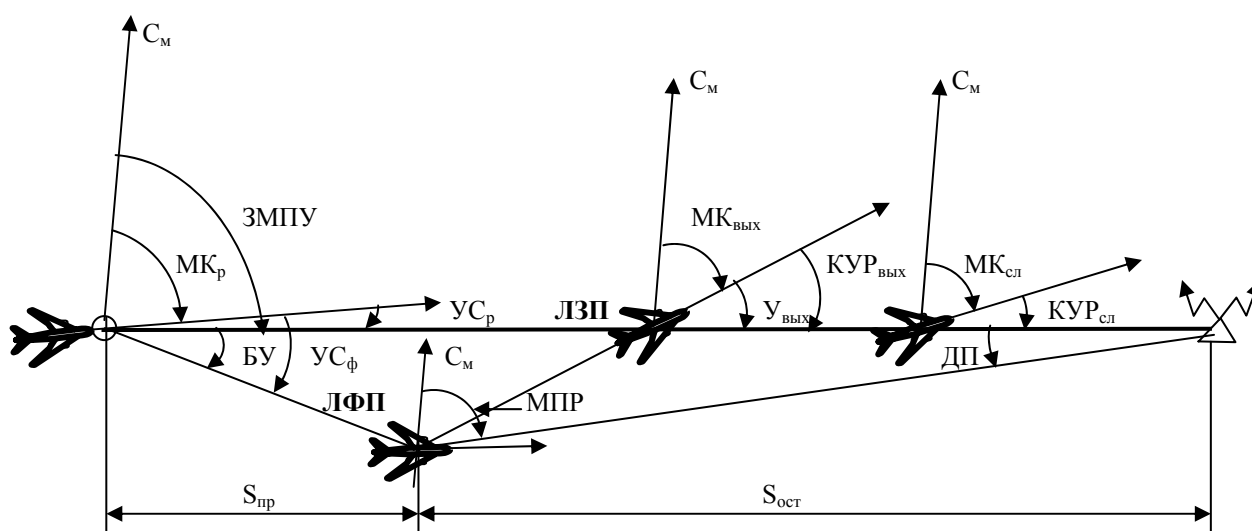


Рис. 31. Полет на радиостанцию с выходом на ЛЗП

В этом случае после расчета ДП задаются углом выхода ( $20 \dots 90^\circ$ ) и рассчитывают  $МК_{\text{вых}}$ :

$$МК_{\text{вых}} = ЗМПУ - У_{\text{вых}}.$$

Знак  $У_{\text{вых}}$  соответствует знаку ДП.

Контролируется выход на ЛЗП по  $КУР_{\text{вых}}$  при  $МПР = ЗМПУ$ :

$$КУР_{\text{вых}} = 360^\circ + У_{\text{вых}}.$$

После выхода на ЛЗП ВС следует с  $МК_{\text{сл}}$ , осуществляя контроль по  $КУР_{\text{сл}}$ :

$$МК_{\text{сл}} = МК_{р} - БУ;$$

$$КУР_{\text{сл}} = 360^\circ + УС_{\phi}.$$

**Пример 29.** Воздушное судно выполняет полет по участку воздушной трассы с ЗМПУ =  $247^\circ$ , выдерживая МК<sub>р</sub> =  $254^\circ$ . Через 12 мин полета с путевой скоростью 400 км/ч произведен отсчет КУР =  $348^\circ$ . Оставшееся время полета до ППМ по расчету составляет 14 мин. Ширина воздушной трассы  $2b = 10$  км. Определить МК<sub>вых</sub>, КУР<sub>вых</sub>, если  $Y_{\text{вых}} = 60^\circ$ , а также МК<sub>сл</sub> и КУР<sub>сл</sub> по воздушной трассе.

**Решение.** 1. Находим МПР:

$$\text{МПР} = 254 + 348 - 360 = 242^\circ.$$

2. Рассчитываем величину ДП:

$$\text{ДП} = 247 - 242 = + 5^\circ.$$

3. Находим значение БУ, используя НЛ:

$$\text{БУ} = + 6^\circ.$$

4. Определяем МК<sub>вых</sub>:

$$\text{МК}_{\text{вых}} = 247 - 60 = 187^\circ.$$

5. Вычисляем КУР<sub>вых</sub>:

$$\text{КУР}_{\text{вых}} = 360 + 60 - 360 = 60^\circ.$$

6. Находим расчетный угол сноса:

$$\text{УС}_р = \text{ЗМПУ} - \text{МК}_р = 247 - 254 = - 7^\circ.$$

7. Рассчитываем фактический угол сноса

$$\text{УС}_ф = (- 7) + (+ 6) = - 1^\circ.$$

8. Определяем МК<sub>сл</sub>:

$$\text{МК}_{\text{сл}} = 247 - (- 1) = 248^\circ.$$

9. Вычисляем КУР<sub>сл</sub>:

$$\text{КУР}_{\text{сл}} = 360 + (- 1) = 359^\circ.$$

Полет на радиостанцию с выходом на ППМ применяется, когда отклонение ВС от ЛЗП или оставшееся до ППМ расстояние малы (рис.32).

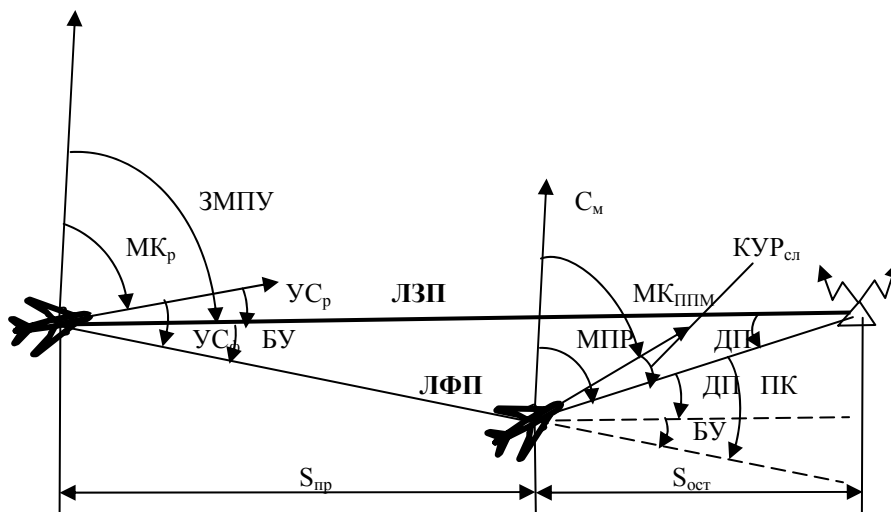


Рис. 32. Полет на радиостанцию с выходом на ППМ

При этом после определения ДП рассчитываются БУ, а затем ПК.

Определяется  $МК_{ППМ}$  по зависимости:

$$МК_{ППМ} = МК_r - ПК.$$

Контроль пути по направлению осуществляется по  $КУР_{сл}$ :

$$КУР_{сл} = 360^\circ + УС_{ф}.$$

**Пример 30.** Воздушное судно выполняет полет с  $МК_r = 338^\circ$  по участку маршрута с  $ЗМПУ = 333^\circ$ . Через 7 мин после пролета ППМ на удалении от него 84 км произведен отсчет  $КУР = 348^\circ$ . Длина участка маршрута составляет 116 км. Определить  $МК_{ППМ}$ .

**Решение.** 1. Находим МПР:

$$МПР = 338 + 348 - 360 = 326^\circ.$$

2. Рассчитываем величину ДП:

$$ДП = 333 - 326 = 7^\circ.$$

3. Вычисляем оставшееся расстояние:

$$S_{ост} = S_{общ} - S_{пр} = 116 - 84 = 32 \text{ км}.$$

4. Определяем БУ и ПК с помощью НЛ:

$$БУ = 2^\circ, \text{ ПК} = 9^\circ.$$

5. Рассчитываем  $МК_{ППМ}$ :

$$МК_{ППМ} = 338 - 9 = 329^\circ.$$

**ЗАДАЧИ**

111. Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 274^\circ$ ,  $ЗМПУ = 278^\circ$ . Через 11 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 8^\circ$ . Расчетное время полета по участку маршрута составило 24 мин. Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 60^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

112.  $ЗМПУ = 232^\circ$ . Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 234^\circ$ . Через 9 мин полета на удалении от РНТ 68 км экипаж отсчитал  $КУР = 354^\circ$ . Протяженность участка маршрута равна 174 км. Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 30^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

113.  $ЗМПУ = 85^\circ$ . Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 88^\circ$ . Через 10 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 10^\circ$ . Длина участка маршрута составляет 118 км, а определенная путевая скорость – 330 км/ч. Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 70^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

114.  $ЗМПУ = 335^\circ$ . Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 328^\circ$ . Через 9 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 6^\circ$ . Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 30^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП. Расчетное время полета по данному участку маршрута 19 мин.

115. Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 18^\circ$ ,  $ЗМПУ = 25^\circ$ . Через 10 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 12^\circ$ . Пройденное расстояние составило 84 км, а длина участка – 205 км. Определить  $МК_{\text{вых}}$  и  $КУР_{\text{вых}}$ , если  $У_{\text{вых}} = 50^\circ$ , а также  $МК_{\text{сл}}$  и  $КУР_{\text{сл}}$  по ЛЗП.

116.  $ЗМПУ = 22^\circ$ . Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 26^\circ$ . Через 9 мин полета на удалении от РНТ 56 км экипаж отсчитал  $КУР = 352^\circ$ . Протяженность участка маршрута составляет 146 км. Определить  $МК_{\text{ППМ}}$ .

117.  $ЗМПУ = 224^\circ$ . Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 222^\circ$ . Через 10 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 6^\circ$ . До пролета ППМ осталось 6 мин полета. Определить  $МК_{\text{ППМ}}$ .

118.  $ЗМПУ = 82^\circ$ . Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 92^\circ$ . Через 15 мин полета экипаж отсчитал  $КУР = 354^\circ$ . До пролета ППМ осталось 9 мин полета. Определить  $МК_{\text{ППМ}}$ .

119. Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 55^\circ$ . ЗМПУ =  $60^\circ$ . Через 12 мин полета на удалении от РНТ 88 км экипаж отсчитал КУР =  $12^\circ$ . Пройдено было 137 км. Определить  $МК_{ППМ}$ .

120. ЗМПУ =  $194^\circ$ . Самолет выполняет полет на РНТ с  $МК = 192^\circ$ . Через 10 мин полета экипаж отсчитал КУР =  $356^\circ$ . До пролета ППМ осталось 4 мин полета. Определить  $МК_{ППМ}$ .

#### 4.3. Определение места воздушного судна

Место самолета с применением угломерных радиотехнических средств может быть получено в результате прокладки на карте двух истинных пеленгов воздушного судна:

- от двух радиостанций;
- двукратным пеленгованием одной боковой радиостанции.

Для расчета пеленга используется зависимость:

$$\text{ИПС} = \text{ИК} + \text{КУР} \pm 180^\circ + \sigma_{\text{сх}},$$

где  $\sigma_{\text{сх}}$  – угол схождения меридианов.

Поправка на угол схождения меридианов рассчитывается по формуле:

$$\sigma_{\text{сх}} = (\lambda_p - \lambda_c) \sin \varphi_{\text{ср}},$$

где  $\varphi_{\text{ср}}$  – среднее значение широты по участку маршрута,  $\varphi_{\text{ср}} = (\varphi_p + \varphi_c)/2$ ;

$\varphi_c, \lambda_c$  – широта и долгота места самолета;

$\varphi_p, \lambda_p$  – широта и долгота места установки радиостанции.

При полетах в умеренных широтах на дальностях до РНТ, не превышающих 100...150 км, поправку на угол схождения меридианов можно не учитывать, так как ее величина не превышает значения суммарной погрешности в определении пеленга.

Для определения МС по двум радиостанциям с наибольшей точностью необходимо выбирать РНТ так, чтобы одна из них находилась на линии пути или ее продолжении, а вторая была боковой. Угол пересечения между линиями пеленгов желательно, чтобы был близок к  $90^\circ$ , или, в крайнем случае, не выхо-

дил за пределы  $30^\circ \leq \omega \leq 150^\circ$ . В противном случае погрешность определения МС будет увеличиваться в разы.

Пеленгование в первую очередь осуществляется той РНТ, пеленг которой изменяется медленнее, то есть находящейся вблизи ЛЗП (рис. 33).

Полученные пеленги прокладываются на карте. Точка их пересечения будет наиболее вероятным местоположением ВС в момент второго пеленгования. Интервал между отсчетом курсовых углов или пеленгов не должен превышать 1 мин.

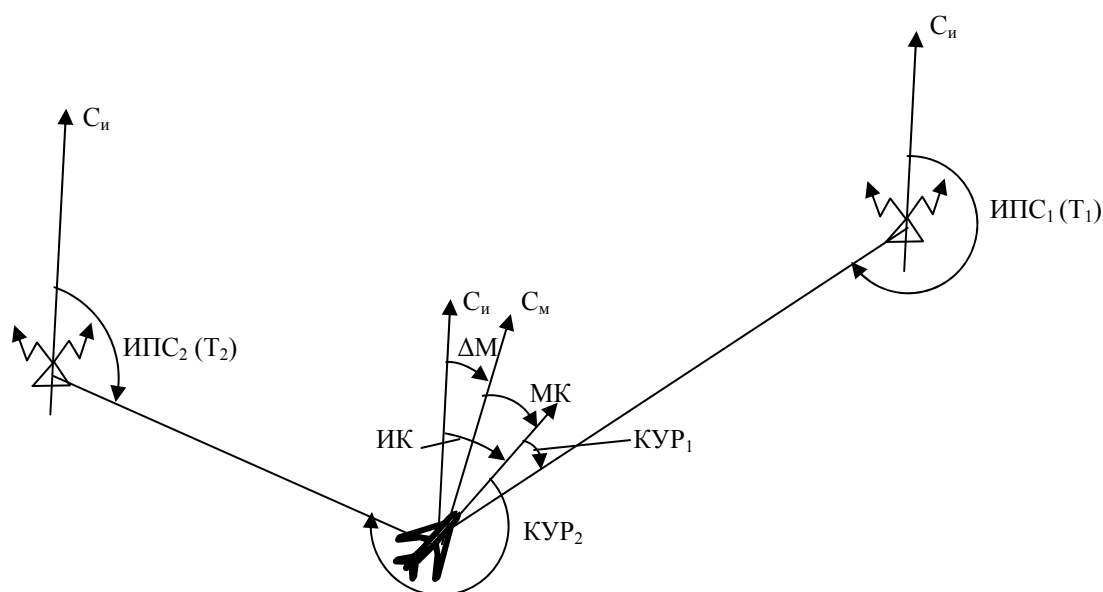


Рис. 33. Определение МС одновременным пеленгованием двух радиостанций

Если невозможно одновременно выполнить отсчет курсовых углов или пеленгов, то есть  $T_2 - T_1 > 1$  мин, то возникающая при этом ошибка определения места устраняется путем переноса линии первого пеленга параллельно самой себе на величину пройденного расстояния в направлении полета (рис. 34):

$$S = W (T_2 - T_1).$$

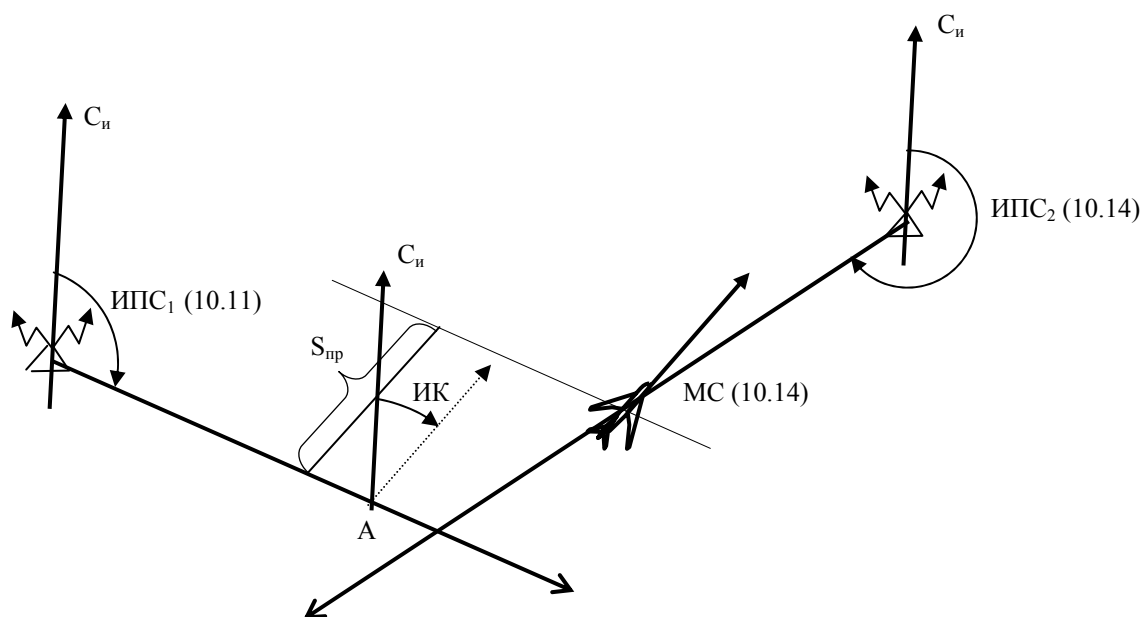


Рис. 34. Определение МС пеленгованием двух радиостанций при наличии временного интервала между пеленгованиями

МС может быть определено по одной боковой радиостанции путем ее двукратного пеленгования. При этом радиостанция должна находиться от ЛЗП на расстоянии 100...150 км, но не более 300 км. Между моментами пеленгования пеленг должен измениться не менее, чем на 25...30°. После выполнения пеленгования рассчитываются истинные пеленги ВС, которые прокладываются на карте. Из любой точки на первом пеленге прокладывается линия истинного курса, на которой отмечается расстояние, пройденное ВС за время между моментами пеленгования. От конечной точки прокладывают прямую, параллельную линии первого ИПС. Точка ее пересечения с линией второго ИПС даст МС в момент второго пеленгования (рис. 35).

Чтобы определить МС в момент первого пеленгования, из полученного МС необходимо провести линию вдоль линии курса до пересечения с линией первого пеленга. Точка пересечения даст МС на момент первого пеленгования. Если известны ФИПУ и  $W_{\phi}$ , то МС будет определено с большей точностью.

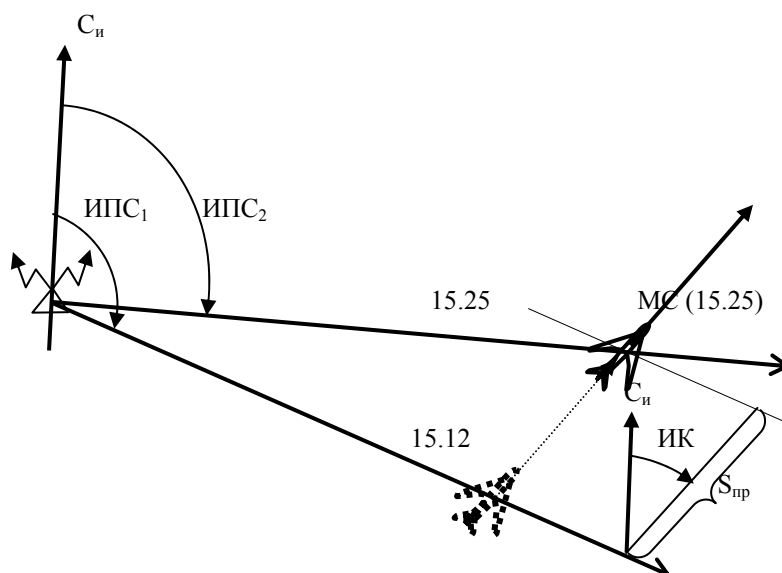


Рис. 35. Определение МС путем двукратного пеленгования боковой радиостанции

## **6. ПРИМЕНЕНИЕ БРЛС**

Бортовые радиолокационные станции являются автономными угломерно-дальномерными средствами и обеспечивают:

- получение на экране индикатора условного изображения пролетаемой местности;
- измерение наклонной дальности и курсового угла радиолокационного ориентира;
- обнаружение воздушных объектов (самолетов, грозовых очагов, облаков);
- предотвращение столкновений с наземными препятствиями и встречными самолетами в полете, а также попаданий в зоны опасных метеорологических явлений.

Условное изображение на экране индикатора уступает визуальной ориентировке по наблюдаемости малых объектов и разрешающей способности, но превосходит ее по дальности действия и точности измерений, применимости в сложных метеоусловиях и ночью.

БРЛС находят широкое применение для решения навигационных задач на ВС, не оборудованных пилотажно-навигационным комплексом, а также при выполнении полетов в районах с недостаточным радиотехническим обеспечением.

Они позволяют решать следующие задачи:

- вести общую ориентировку путем наблюдения за радиолокационным изображением местности и сравнения его с картой;
- осуществлять полет на РЛЮ;
- выводить самолет на линию заданного пути;
- определять навигационные элементы полета (угол сноса, путевую скорость);
- осуществлять контроль пути по направлению, дальности и месту;
- корректировать данные автоматического счисления координат ВС;

- выполнять маневрирование с целью обхода опасных для полетов метеорологических явлений;

- предотвращать столкновение с наземными препятствиями и встречными самолетами.

Дальность действия БРЛС зависит от технических характеристик станции, высоты полета и отражающих свойств радиолокационного ориентира. Современные БРЛС позволяют обнаруживать крупные промышленные центры на расстоянии до 250 ... 350 км, средние города – до 150 ... 200 км, береговую черту – до 100...200 км, крупные реки – до 100...150 км, грозовую облачность – до 150 ... 200 км.

При определении МС и выполнении навигационных измерений и расчетов основными координатами, определяемыми радиолокатором, являются (рис. 36):

- **курсовой угол ориентира** – угол, заключенный между продольной осью самолета и направлением от самолета на ориентир;

- **истинный пеленг ориентира** - угол, заключенный между северным направлением истинного меридиана, проходящего через место самолета, и направлением от самолета на ориентир

$$\text{ИПО} = \text{ИК} + \text{КУО} = \text{МК} + (\pm \Delta_{\text{М}}) + \text{КУО}.$$

Чаще применяется обратное направление, то есть **истинный пеленг самолета** – угол, заключенный между северным направлением истинного меридиана, проходящего через ориентир, и направлением от ориентира на самолет

$$\text{ИПС} = \text{ИК} + \text{КУО} \pm 180^\circ = \text{МК} + (\pm \Delta_{\text{М}}) + \text{КУО} \pm 180^\circ.$$

Если при этом расстояние от ориентира до ВС превышает 150...200 км и полет выполняется в высоких широтах, необходимо учитывать угол схождения меридианов;

- **наклонная дальность** – кратчайшее расстояние от самолета до радиолокационного ориентира;

- **горизонтальная дальность** – расстояние по земной поверхности от МС до радиолокационного ориентира

$$\Gamma Д = \sqrt{НД^2 - Н^2}.$$

Однако, если  $НД > 5Н$ , то практически можно считать, что  $НД = \Gamma Д$ .

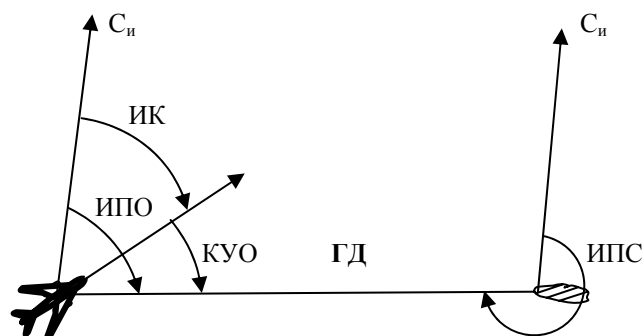


Рис. 36. Основные координаты, определяемые с помощью БРЛС

Однако наиболее важное значение с точки зрения обеспечения безопасности полета имеет задача обнаружения опасных метеорологических явлений и безопасный их обход. Грозовые очаги обнаруживаются на дальностях 150...250 км в режиме работы станции “Метео”. Чтобы выявить зоны наибольшей турбулентности, применяется режим “Контур”, в котором система контурной индикации подавляет в приемнике отраженные сигналы определенного уровня. При подавлении сильных сигналов на их месте на фоне ярких засветок от грозовых очагов появляются темные пятна.

При обнаружении грозовых очагов определяется расстояние от ВС до ближайшего к линии курса очага, его курсовой угол и боковое расстояние от очага относительно курсовой линии (рис. 37). Безопасное боковое расстояние от границы грозы должно быть не менее 15 км. Рассчитывается угол отворота:

$$\text{УО} = \alpha_{\text{без}} \pm \text{КУГ},$$

где  $\alpha_{\text{без}}$  — угол, соответствующий безопасному боковому расстоянию от новой линии курса до ближайшей границы грозового очага.

Знак “+” берется в данной формуле в том случае, если ВС отворачивает в сторону грозового очага, а “—”, если — в противоположную сторону.

Так как курсовой угол грозы отсчитывается по направлению часовой стрелки от 0 до 360°, то удобнее пользоваться углом грозы  $\alpha_{\text{гр}}$ , который определяется по зависимости:

$$\alpha_{\text{гр}} = \text{КУГ} - 360^\circ.$$

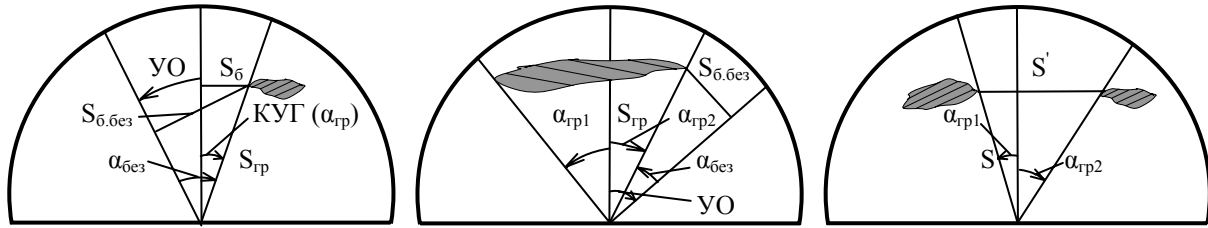


Рис. 37. Обход грозового очага без изменения высоты полета

Безопасный угол грозы  $\alpha_{безд}$  может быть определен по формуле

$$\alpha_{безд} = \arcsin (S_{б.безд}/S)$$

или с помощью НЛ по алгоритму (рис. 38).

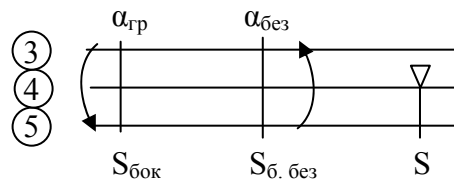


Рис. 38. Алгоритм расчета элементов обхода грозового очага

Этот угол может быть определен по составленной таблице (табл. 8).

Таблица 8

Безопасный угол грозы ( $S_{б.безд} = 15$  км)

|                        |    |    |    |    |    |     |     |     |     |     |     |
|------------------------|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $S_{гр}$ , км          | 50 | 60 | 70 | 80 | 90 | 100 | 110 | 120 | 130 | 140 | 150 |
| $\alpha_{безд}$ , град | 18 | 15 | 13 | 11 | 10 | 9   | 8   | 7   | 7   | 6   | 6   |

После расчета угла отворота определяется безопасный курс обхода:

$$МК_{обх} = МК_{сл} + УО.$$

При обнаружении фронтальной облачности с отдельными грозовыми очагами пересечение ее допускается только там, где расстояние между отдельными очагами составляет не менее 50 км. Данное расстояние определяется с помощью НЛ по расстоянию до грозовых очагов и углу между ними:

$$S' = S \sin(\alpha_{гр1} + \alpha_{гр2}) = S \sin \Delta \psi,$$

где  $S$  – расстояние до ближайшего грозового очага.

При встрече с мощными фронтальными грозами большой протяженности, которые невозможно обойти на заданном эшелоне, может быть выполнен обход над очагом гроз с превышением не менее  $\Delta H_{\text{без}} = 500$  м (рис. 39).

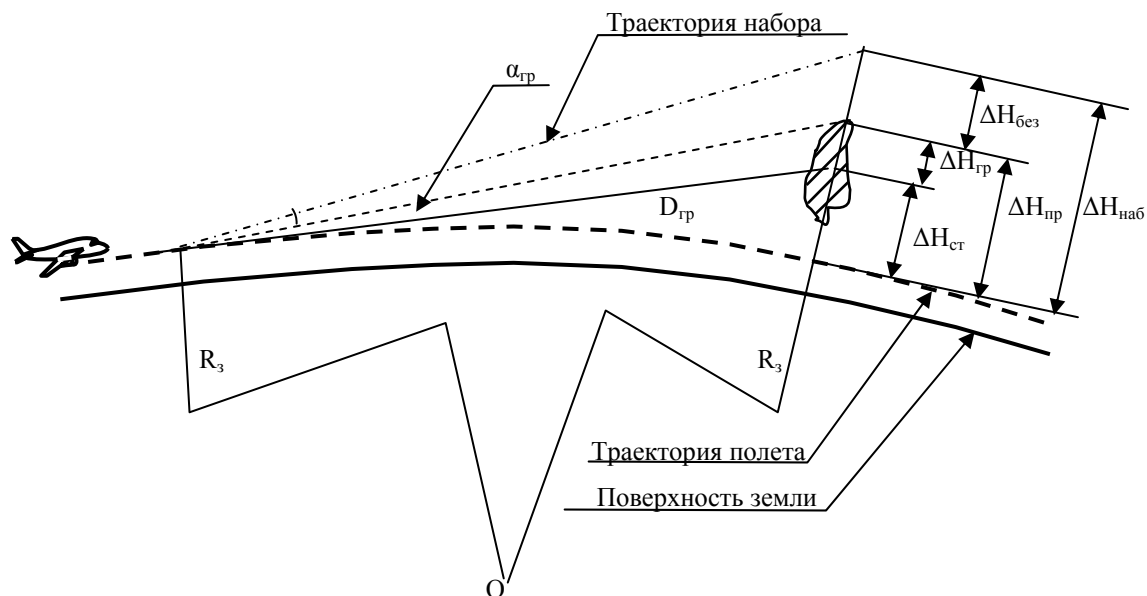


Рис. 39. Обход грозового очага с изменением высоты полета

Такой обход возможен только при наличии на борту ВС РЛС, имеющей стабилизированную антенну с узким лучом в вертикальной плоскости.

Для обхода грозовых очагов сверху необходимо определить превышение верхней границы очагов над эшелонами полета:

$$\Delta H_{\text{пр}} = \Delta H_{\text{ст}} + \Delta H_{\text{гр}},$$

где  $\Delta H_{\text{ст}}$  – превышение плоскости стабилизации антенны над высотой полета;

$\Delta H_{\text{гр}}$  – превышение верхней границы грозового очага над плоскостью стабилизации, м.

Для прохода над грозовым очагом на безопасной высоте ВС должно набирать высоту:

$$\Delta H_{\text{наб}} = \Delta H_{\text{пр}} + \Delta H_{\text{без}}.$$

Выражение для расчета величины набора высоты имеет следующий вид:

$$\Delta H_{\text{наб}} = 17,5 (\alpha'_{\text{гр}})^{\circ} D_{\text{гр}} + 0,06 D_{\text{гр}}^2 + 500,$$

где  $D_{\text{гр}}$  – расстояние до грозового очага, км;

$\alpha'_{\text{гр}}$  – кажущийся угол грозы,  $\alpha'_{\text{гр}} = \alpha_A - 0,5\Theta_b$ ;

$\alpha_A$  – угол подъема антенны до исчезновения с экрана индикатора отметки грозы;

$\Theta_b$  – ширина диаграммы направленности антенны в вертикальной плоскости  $\Theta_b \approx 3^\circ$ .

После расчета величины набора высоты определяются время полета до грозового очага с учетом безопасного расстояния и потребная вертикальная скорость:

$$t_{\text{пол}} = \frac{D_{\text{гр}} - D_{\text{без}}}{V_{\text{и}}}; \quad V_{\text{в.тр}} = \frac{\Delta H_{\text{наб}}}{t_{\text{пол}}}.$$

Если полученные в результате расчета высота набора не превышает практического потолка ВС, а располагаемая вертикальная скорость больше потребной вертикальной, то можно начинать маневр обхода грозового очага сверху.

**Пример 31.** Воздушное судно следует с МК =  $236^\circ$ . На расстоянии 120 км по индикатору БРЛС обнаружен грозовой очаг, границы которого характеризуются курсовыми углами КУГ<sub>1</sub> =  $4^\circ$  и КУГ<sub>2</sub> =  $35^\circ$ . Определить курс следования ВС при условии обеспечения безопасного бокового расстояния.

**Решение.** 1. Рассчитываем боковое расстояние грозового очага относительно линии курса, используя алгоритм (рис. 38):

$$S_{\text{бок}} = 8,4 \text{ км.}$$

2. Находим безопасный угол грозы по тому же алгоритму:

$$\alpha_{\text{без}} = 7^\circ.$$

3. Угол отворота составляет:

$$\text{УО} = \alpha_{\text{гр}} - \alpha_{\text{без}} = 4 - 7 = -3^\circ.$$

4. Рассчитываем курс следования:

$$\text{МК}_{\text{обх}} = 236 - 3 = 233^\circ.$$

**Пример 32.** Воздушное судно выполняет полет по участку маршрута, выдерживая МК =  $162^\circ$ . На расстоянии 100 км по индикатору БРЛС обнаружен грозовой очаг, ближайшая граница которого относительно курсовой линии характеризуется курсовым углом КУГ<sub>1</sub> =  $346^\circ$ , а на удалении 120 км находится

второй грозовой очаг с КУГ<sub>2</sub> = 22°. Определить курс следования ВС при условии обеспечения безопасного бокового расстояния.

**Решение.** 1. Находим угол между очагами:

$$\Delta\psi = 14 + 22 = 36^\circ.$$

2. Рассчитываем расстояние между очагами:

$$S' = 100 \cdot \sin 36^\circ = 57 \text{ км.}$$

3. Найдем боковое расстояние ближайшего очага от линии курса:

$$S_6 = 24 \text{ км.}$$

В данном случае нет необходимости в изменении курса ВС.

**Пример 33.** Воздушное судно выполняет полет по участку маршрута, выдерживая МК = 28°. На расстоянии 80 км по индикатору БРЛС обнаружен грозовой очаг, который характеризуется курсовыми углами КУГ<sub>1</sub> = 352° и КУГ<sub>2</sub> = 332°, а на удалении 90 км находится второй грозовой очаг с КУГ<sub>3</sub> = 25° и КУГ<sub>4</sub> = 54°. Определить курс следования ВС при условии обеспечения безопасного бокового расстояния.

**Решение.** 1. Находим угол между очагами:

$$\Delta\psi = 8 + 25 = 33^\circ.$$

2. Рассчитываем расстояние между очагами:

$$S' = 80 \cdot \sin 33^\circ = 44 \text{ км.}$$

Прохождение между очагами невозможно, так как  $S' < 50$  км. Поэтому рассчитываем угол отворота, чтобы выполнить безопасный обход.

3. Определяем  $\alpha_{гр}$  для внешних границ очагов:

$$\alpha_{гр1} = 332 - 360 = -28^\circ;$$

$$\alpha_{гр2} = 54^\circ.$$

4. Находим безопасный угол грозы для первого очага согласно табл. 8

$$\alpha_{без} = 11^\circ.$$

5. Рассчитываем угол отворота:

$$\text{УО} = 28 + 11 = 39^\circ.$$

6. Рассчитываем безопасный курс следования:

$$\text{МК}_{обх} = 28 - 39 + 360 = 349^\circ.$$

## ЗАДАЧИ

121. Определить ИПС в 08.15, если  $МК = 44^\circ$ ,  $КУО = 28^\circ$ ,  $S_{РЛО} = 80$  км,  $\Delta_M = +11^\circ$ ,  $\lambda_{РЛО} = 85^\circ$ ,  $\lambda_{мс} = 84^\circ$ ,  $\varphi_{ср} = 65^\circ$ .

122. Определить ИПС в 21.14, если  $МК = 184^\circ$ ,  $КУО = 332^\circ$ ,  $S_{РЛО} = 130$  км,  $\Delta_M = +6^\circ$ ,  $\lambda_p = 153^\circ$ ,  $\lambda_{мс} = 151^\circ$ ,  $\varphi_{ср} = 58^\circ$ .

123. Определить ИПС в 20.36, если  $МК = 348^\circ$ ,  $КУО = 325^\circ$ ,  $\Delta_M = +8^\circ$ ,  $S_{РЛО} = 60$  км,  $\lambda_{РЛО} = 77^\circ$ ,  $\lambda_{мс} = 76^\circ$ ,  $\varphi_{ср} = 72^\circ$ .

124. Определить ИПС в 06.43, если  $МК = 16^\circ$ ,  $\Delta_M = -5^\circ$ ,  $КУО = 45^\circ$ ,  $S_{РЛО} = 150$  км,  $\lambda_{РЛО} = 34^\circ$ ,  $\lambda_{мс} = 36^\circ$ ,  $\varphi_{ср} = 60^\circ$ .

125. Определить ИПС в 11.55, если  $МК = 32^\circ$ ,  $КУО = 300^\circ$ ,  $S_{РЛО} = 100$  км,  $\Delta_M = -7^\circ$ ,  $\lambda_{РЛО} = 84^\circ$ ,  $\lambda_{мс} = 83^\circ$ ,  $\varphi_{ср} = 52^\circ$ .

126. Определить ИПС в 19.28, если  $МК = 242^\circ$ ,  $КУР = 334^\circ$ ,  $S_{РЛО} = 60$  км,  $\Delta_M = +9^\circ$ ,  $\lambda_{РЛО} = 54^\circ$ ,  $\lambda_{мс} = 53^\circ$ ,  $\varphi = 78^\circ$ .

127. ВС следует с  $МК = 308^\circ$ . На удалении 105 км обнаружен грозовой очаг с  $КУГ_1 = 6^\circ$  и  $КУГ_2 = 345^\circ$ . Определить МК для обхода грозового очага с соблюдением условий безопасности полета.

128. ВС следует с  $МК = 86^\circ$ . На удалении 80 км обнаружен грозовой очаг с  $КУГ_1 = 348^\circ$  и  $КУГ_2 = 15^\circ$ . Определить МК для обхода грозового очага с соблюдением условий безопасности полета.

129. ВС следует с  $МК = 122^\circ$ . На удалении 110 км обнаружен грозовой очаг с  $КУГ_1 = 356^\circ$  и  $КУГ_2 = 315^\circ$ . Второй очаг находится на удалении 130 км:  $КУГ_3 = 6^\circ$  и  $КУГ_4 = 28^\circ$ . Определить МК для обхода грозовых очагов с соблюдением условий безопасности полета.

130. ВС следует с  $МК = 16^\circ$ . На удалении 90 км обнаружен грозовой очаг с  $КУГ_1 = 334^\circ$  и  $КУГ_2 = 345^\circ$ . Второй очаг находится на удалении 120 км:  $КУГ_3 = 356^\circ$  и  $КУГ_4 = 28^\circ$ . Определить МК для обхода грозовых очагов с соблюдением условий безопасности полета.

131. ВС следует с  $МК = 160^\circ$ . На удалении 100 км обнаружен грозовой очаг с  $КУГ_1 = 314^\circ$  и  $КУГ_2 = 346^\circ$ . Второй очаг находится на удалении 110 км:  $КУГ_3 = 18^\circ$  и  $КУГ_4 = 42^\circ$ . Определить МК для обхода грозовых очагов с соблюдением условий безопасности полета.

132. ВС следует с  $МК = 334^\circ$ . На удалении 120 км обнаружен грозовой очаг с  $КУГ_1 = 318^\circ$  и  $КУГ_2 = 342^\circ$ . Второй очаг находится на удалении 110 км:  $КУГ_3 = 356^\circ$  и  $КУГ_4 = 36^\circ$ . Определить МК для обхода грозовых очагов с соблюдением условий безопасности полета.

## 6. КОМПЛЕКСНЫЕ ЗАДАЧИ

**Пример 34.** ВС осуществляет полет на эшелоне 9100 м со скоростью 580 км/ч при температуре наружного воздуха  $t_H = - 52^\circ \text{C}$ , выдерживая МК =  $124^\circ$ . Суммарная поправка указателя скорости  $\Delta V = + 12$  км/ч. ЗМПУ участка маршрута  $117^\circ$ . За 8 мин ВС переместилось на 115 км. При этом отсчет КУР составил  $356^\circ$ . Общая протяженность участка маршрута составляет 254 км. Магнитное склонение в данном районе равно  $+ 12^\circ$ . Определить параметры ветра (метеорологическое направление и скорость).

**Решение.** 1. Находим величину поправки на сжимаемость воздуха и рассчитываем значение приборной исправленной скорости:

$$\Delta V_{\text{сж}} = - 33 \text{ км/ч};$$

$$V_{\text{пр. испр}} = V_{\text{пр}} + (\pm \Delta V) + (- \Delta V_{\text{сж}}) = 580 + 12 - 33 = 559 \text{ км/ч}.$$

2. Используя НЛ (рис. 11), получаем значение истинной воздушной скорости:

$$V_{\text{и}} = 890 \text{ км/ч}.$$

3. Рассчитываем фактическую путевую скорость по алгоритму, обратному указанному на рис. 28:

$$W = 860 \text{ км/ч}.$$

4. Величина продольной составляющей ветра:

$$\Delta W = W - V_{\text{и}} = 860 - 890 = - 30 \text{ км/ч}.$$

5. Расчетный угол сноса равен:

$$\text{УС}_p = \text{ЗМПУ} - \text{МК} = 117 - 124 = - 7^\circ.$$

6. Определяем магнитный пеленг радиостанции:

$$\text{МПР} = \text{МК} + \text{КУР} = 124 + 356 - 360 = 120^\circ.$$

7. Находим величину дополнительной поправки:

$$\text{ДП} = \text{ЗМПУ} - \text{МПР} = 117 - 120 = - 3^\circ.$$

8. Оставшееся расстояние будет равно:

$$S_{\text{ост}} = S_{\text{общ}} - S_{\text{пр}} = 254 - 115 = 139 \text{ км}.$$

9. Рассчитываем боковое уклонение с помощью НЛ согласно алгоритму (рис. 29):

$$\text{БУ} \approx -4^\circ.$$

10. Фактический угол сноса:

$$\text{УС}_{\text{факт}} = \text{УС}_p + \text{БУ} = (-7) + (-4) = -11^\circ.$$

11. Условный угол ветра определяем с помощью НЛ (рис. 18):

$$\varepsilon' = -80^\circ.$$

12. Скорость ветра определяется также с помощью НЛ (рис. 19):

$$U = 163 \text{ км/ч.}$$

13. Направление ветра находим, применяя зависимость для встречного ветра:

$$\delta = \text{МК} + \text{УС}_{\text{факт}} - \varepsilon' + \Delta\text{М} = 124 + (-11) - (-80) + (+12) = 205^\circ.$$

**Пример 35.** В 10.24 ВС прошло ППМ с МК = 168°, ЗМПУ = 172°. Через 12 мин полета показания КУР = 12°, а пройденное расстояние от ППМ составило 92 км. Расчетное время прибытия в ППМ 10.52. Определить параметры ветра (скорость и метеорологическое направление), если  $V_{\text{и}} = 440 \text{ км/ч}$ , а  $\Delta\text{М} = +6^\circ$ .

**Решение.** 1. Рассчитываем значение путевой скорости, используя НЛ:

$$W = 460 \text{ км/ч.}$$

2. Величина продольной составляющей ветра:

$$\Delta W = 460 - 440 = 20 \text{ км/ч.}$$

3. Находим МПР:

$$\text{МПР} = 168 + 12 = 180^\circ.$$

4. Определяем дополнительную поправку:

$$\text{ДП} = 172 - 180 = -8^\circ.$$

5. Находим оставшееся время полета для расчета бокового уклонения:

$$t_{\text{ост}} = 10.52 - 10.24 - 0.12 = 0.16.$$

6. Определяем величину бокового уклонения:

$$\text{БУ} = -8 \cdot 16/12 = -11^\circ.$$

7. Расчетное значение угла сноса равно:

$$УС_p = 172 - 168 = 4^\circ.$$

8. Находим фактический угол сноса:

$$УС_\phi = 4 + (-11) = -7^\circ.$$

9. По алгоритму на НЛ получаем условный угол ветра:

$$\varepsilon' = -70^\circ.$$

10. Значение скорости ветра определяется с помощью НЛ:

$$U = 57 \text{ км/ч.}$$

11. Направление ветра равно:

$$\delta = 168 + (-7) + 180 + (-70) + 6 = 277^\circ.$$

**Пример 36.** ВС прошло ППМ в 08.25.  $V_{и} = 440$  км/ч. Контрольный ориентир пройден в 08.45.  $S_{пр} = 156$  км. Время прибытия в КПМ  $T_{приб} = 08.58$ .  $S_{ост} = 110$  км. Определить потребную истинную воздушную скорость для выхода на КПМ в заданное время.

**Решение.** 1. Определяем время полета от ППМ до контрольного ориентира:

$$t_{пр} = 08.45 - 08.25 = 0.20.$$

2. Находим фактическую путевую скорость ВС:

$$W_\phi = 468 \text{ км/ч.}$$

3. Определяем оставшееся время полета до КПМ:

$$t_{ост} = 08.58 - 08.45 = 0.13.$$

4. Потребная путевая скорость будет равна:

$$W_{потр} = 508 \text{ км/ч.}$$

5. Рассчитываем разницу между потребной и фактической путевыми скоростями:

$$\Delta W = 508 - 468 = 40 \text{ км/ч.}$$

6. Находим величину потребной истинной воздушной скорости полета:

$$V_{и} = 440 + 40 = 480 \text{ км/ч.}$$

**Пример 37.** Воздушное судно выполняет полет на высоте  $H_{\text{эш}} = 4800$  м. Показания указателя скорости составляют  $V_{\text{пр}} = 410$  км/ч. Поправки к указателю скорости  $\Delta V_{\text{и}} = -8$  км/ч,  $\Delta V_{\text{а}} = 12$  км/ч. Температура воздуха на эшелоне полета  $t_{\text{н}} = -18$  °С. Через 12 мин полета отППМ удаление от него составило 82 км. Общая протяженность участка маршрута – 218 км, а расчетное время полета до КППМ – 33 мин. Определить потребную приборную скорость полета, чтобы ВС прибыло в КППМ в указанное время.

**Решение.** 1. По графику (рис. 15) определяем поправку на сжимаемость воздуха:

$$\Delta V_{\text{сж}} = -4 \text{ км/ч.}$$

2. Рассчитываем приборную исправленную скорость:

$$V_{\text{пр. испр}} = 410 + 12 - 8 - 4 = 410 \text{ км/ч.}$$

3. По НЛ – 10М для  $H = 4800$  м и  $t_{\text{пр}} = -18$  °С находим значение истинной воздушной скорости:

$$V_{\text{и}} = 520 \text{ км/ч.}$$

4. Рассчитываем фактическую путевую скорость с применением НЛ:

$$W_{\text{ф}} = 410 \text{ км/ч.}$$

5. Оставшееся расстояние до КППМ равно:

$$S_{\text{ост}} = 218 - 82 = 136 \text{ км.}$$

6. Оставшееся время полета до прибытия в КППМ:

$$t_{\text{ост}} = 0.33 - 0.12 = 0.21.$$

7. Находим потребное значение путевой скорости:

$$W_{\text{потр}} = 390 \text{ км/ч.}$$

8. Рассчитываем разницу между потребной и фактической путевыми скоростями:

$$\Delta W = 390 - 410 = -20 \text{ км/ч.}$$

9. Находим величину потребной истинной воздушной скорости полета:

$$V_{\text{и}} = 520 - 20 = 500 \text{ км/ч.}$$

10. Приборная исправленная скорость для данной истинной будет равна:

$$V_{\text{пр. испр}} = 395 \text{ км/ч.}$$

11. Определяем потребную приборную скорость полета:

$$V_{\text{пр. потр}} = 395 - (-4) - (-8) - 12 = 395 \text{ км/ч.}$$

## ЗАДАЧИ

133. ВС выполняет полет на эшелоне 8100 м с приборной скоростью 520 км/ч при температуре наружного воздуха  $t_H = -48^\circ \text{C}$ , выдерживая МК =  $236^\circ$ . Суммарная поправка указателя скорости  $\Delta V = -22$  км/ч. ЗМПУ участка маршрута  $243^\circ$ . За 12 мин ВС переместилось на 155 км. При этом отсчет КУР составил  $186^\circ$ . Магнитное склонение в данном районе равно  $+8^\circ$ . Определить параметры ветра (метеорологическое направление и скорость).

134. ВС выполняет полет с МК =  $338^\circ$ , ЗМПУ =  $342^\circ$ . В 18.47 оно прошло ППМ. Через 15 мин полета боковое отклонение от ЛЗП составило 6 км, а пройденное расстояние от ППМ 105 км. Определить параметры ветра (скорость и метеорологическое направление), если  $V_{\text{и}} = 470$  км/ч, а  $\Delta M = +15^\circ$ .

135. ВС выполняет полет на эшелоне 10600 м с приборной скоростью 540 км/ч при температуре наружного воздуха  $t_H = -58^\circ \text{C}$ , выдерживая МК =  $336^\circ$ . Суммарная поправка указателя скорости  $\Delta V = +14$  км/ч. ЗМПУ участка маршрута  $333^\circ$ . За 7 мин ВС переместилось на 102 км, а общая протяженность участка маршрута составляет 284 км. При этом отсчет КУР составил  $352^\circ$ . Магнитное склонение равно  $+12^\circ$ . Определить параметры ветра (метеорологическое направление и скорость).

136. ВС прошло ППМ в 10.48.  $V_{\text{и}} = 840$  км/ч. Контрольный ориентир пройден в 10.56.  $S_{\text{пр}} = 112$  км. Время прибытия в КПМ  $T_{\text{приб}} = 11.10$ .  $S_{\text{ост}} = 187$  км. Определить потребную истинную воздушную скорость для выхода на КПМ в заданное время.

## ОТВЕТЫ

1.  $МК = 41^\circ$ . 2.  $МК = 20^\circ$ ;  $ИК = 12^\circ$ . 3.  $МК = 166^\circ$ ;  $ИК = 176^\circ$ ;  $\Delta_M = + 10^\circ$ .
4.  $КК = 332^\circ$ ;  $ИК = 334^\circ$ ;  $\Delta = + 2^\circ$ . 5.  $ИК = 84^\circ$ . 6.  $КК = 12^\circ$ ;  $ИК = 3^\circ$ .
7.  $КК = 280^\circ$ . 8.  $КК = 140^\circ$ ;  $ИК = 123^\circ$ ;  $\Delta = - 17^\circ$ . 9.  $МК = 47^\circ$ ;  $ИК = 37^\circ$ .
10.  $МК = 166^\circ$ . 11.  $КК = 285^\circ$ ;  $МК = 281^\circ$ . 12.  $КК = 324^\circ$ ;  $МК = 326^\circ$ ;  $\Delta = + 7^\circ$ .
13.  $КК = 15^\circ$ ;  $МК = 19^\circ$ ;  $\Delta_M = + 7^\circ$ . 14.  $КК = 89^\circ$ ;  $МК = 84^\circ$ .
15.  $КК = 93^\circ$ ;  $ИК = 103^\circ$ ;  $\Delta = + 10^\circ$ . 16.  $\Phi И П У = 75^\circ$ . 17.  $УС_\Phi = 0^\circ$ .
18.  $\Phi М П У = 10^\circ$ ;  $БУ = - 4^\circ$ . 19.  $\Phi М П У = 251^\circ$ ;  $УС_\Phi = + 3^\circ$ . 20.  $МК_{ППИМ} = 354^\circ$ .
21.  $БУ = - 2^\circ$ . 22.  $УС_\Phi = + 6^\circ$ . 23.  $УС_\Phi = + 4^\circ$ . 24.  $УС_\Phi = + 7^\circ$ . 25.  $БУ = - 3^\circ$ .
26.  $H_{ист} = 1348$  м. 27.  $H_{ист} = 1212$  м. 28.  $H_{абс} = 968$  м. 29.  $H_{ист} = 7904$  м.
30.  $H_{пр} = 7230$  м. 31.  $H_{ист} = 10400$  м. 32.  $H_{без. аэр} = 338$  м. 33.  $МБВ = 620$  м.
34.  $H_{кр} = 300$  м. 35.  $H_{кр} = 400$  м. 36.  $H_{кр} = 600$  м. 37.  $H_{кр} = 600$  м.
38.  $H_{без. аэр} = 380$  м. 39.  $H_{без. прив} = 792$  м. 40.  $H_{без. прив} = 558$  м.
41.  $H_{без. прив} = 2958$  м. 42.  $H_{без. подх} = 1031$  м. 43.  $H_{без. подх} = 1220$  м.
44.  $H_{без. 760} = 905$  м. 45.  $H_{без. 760} = 1494$  м. 46.  $H_{без. 760} = 3920$  м.
47.  $H_{без. 760} = 1003$  м.  $H_{без. эш} = 1500$  м. 48.  $H_{без. 760} = 1333$  м;  $H_{без. эш} = 1800$  м.
49.  $H_{без. эш} = 2700$  м. 50.  $H_{без. эш} = 4200$  м. 51.  $T_{наб} = 10.51.04$ ;  $S_{наб} = 130$  км.
52.  $T_{наб} = 21.51.22$ ;  $S_{наб} = 47$  км. 53.  $T_{наб} = 07.40.26$ ;  $S_{наб} = 133$  км.
54.  $T_{наб} = 12.50.53$ ;  $S_{наб} = 151$  км. 55.  $T_{наб} = 15.04.46$ ;  $S_{наб} = 123$  км.
56.  $T_{нач. сн} = 16.34.03$ ;  $S_{сн} = 68$  км. 57.  $T_{нач. сн} = 18.13.44$ ;  $S_{сн} = 60$  км.
58.  $T_{нач. сн} = 19.56.50$ ;  $S_{сн} = 89$  км. 59.  $T_{нач. сн} = 16.56.19$ ;  $S_{сн} = 115$  км.
60.  $T_{нач. сн} = 18.14.09$ ;  $S_{сн} = 63$  км. 61.  $T_{нач. сн} = 16.10.58$ ;  $S_{сн} = 137$  км.
62.  $T_{нач. сн} = 11.43.52$ ;  $S_{сн} = 126$  км. 63.  $T_{нач. сн} = 11.06.50$ ;  $S_{сн} = 146$  км.
64.  $T_{нач. сн} = 18.42.11$ ;  $S_{сн} = 160$  км. 65.  $T_{нач. сн} = 18.13.26$ ;  $S_{сн} = 120$  км.
66.  $T_{нач. сн} = 18.51.52$ ;  $S_{сн} = 125$  км;  $V_B = 17,5$  м/с.
67.  $T_{нач. сн} = 21.12.05$ ;  $S_{сн} = 137$  км;  $V_B = 18,3$  м/с.
68.  $T_{нач. сн} = 11.21.39$ ;  $S_{сн} = 134$  км;  $V_B = 17,3$  м/с;
69.  $T_{нач. сн} = 10.53.58$ ;  $S_{сн} = 106$  км;  $V_B = 19,2$  м/с.
70.  $T_{нач. сн} = 15.18.46$ ;  $S_{сн} = 128$  км;  $V_B = 17$  м/с.
71.  $T_{нач. сн} = 08.25.31$ ;  $S_{сн} = 104$  км;  $V_B = 13,5$  м/с.

**72.**  $T_{\text{нач. сн}} = 18.45.18$ ;  $S_{\text{сн}} = 109$  км;  $V_{\text{в}} = 15,7$  м/с. **73.**  $V_{\text{и}} = 706$  км/ч.

**74.**  $V_{\text{и}} = 219$  км/ч. **75.**  $V_{\text{и}} = 855$  км/ч. **76.**  $V_{\text{и}} = 418$  км/ч. **77.**  $V_{\text{и}} = 945$  км/ч.

**78.**  $V_{\text{и}} = 170$  км/ч. **79.**  $V_{\text{пр}} = 600$  км/ч. **80.**  $V_{\text{пр}} = 275$  км/ч. **81.**  $V_{\text{пр}} = 555$  км/ч.

**82.**  $V_{\text{пр}} = 325$  км/ч. **83.**  $V_{\text{пр}} = 170$  км/ч. **84.**  $V_{\text{и}} = 568$  км/ч. **85.**  $V_{\text{и}} = 780$  км/ч.

**86.**  $V_{\text{и}} = 450$  км/ч. **87.**  $V_{\text{и}} = 760$  км/ч. **88.**  $V_{\text{и}} = 875$  км/ч.

**89.**

| № п/п                      | 1   | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|----------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\alpha$ , град            | - 7 | 3   | - 9 | - 4 | 4   | - 5 | 3   | - 5 | 3   | - 6 |
| $W$ , км/ч                 | 160 | 410 | 420 | 520 | 590 | 570 | 770 | 870 | 750 | 900 |
| $t$ , мин                  | 14  | 11  | 14  | 7   | 7   | 13  | 24  | 10  | 28  | 43  |
| $\gamma_{\text{т}}$ , град | 32  | 45  | 85  | 122 | 172 | 240 | 267 | 308 | 346 | 10  |

**90.**

| № п/п           | 1   | 2   | 3  | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  |
|-----------------|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| $\delta$ , град | 185 | 149 | 5  | 22  | 327 | 242 | 190 | 331 | 69  | 79  |
| $U$ , км/ч      | 113 | 48  | 24 | 104 | 220 | 95  | 125 | 117 | 129 | 182 |

**91.**

| № п/п                 | 1  | 2  | 3     | 4    | 5   | 6   |
|-----------------------|----|----|-------|------|-----|-----|
| $U_{\text{э}}$ , км/ч | 88 | 54 | - 100 | - 40 | 117 | - 9 |

**92.**  $МК_{\text{вых}} = 88^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 220^\circ$ ;  $МК_{\text{сл}} = 116^\circ$ ;  $КУР_{\text{сл}} = 192^\circ$ .

**93.**  $МК_{\text{вых}} = 12^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 200^\circ$ ;  $МК_{\text{сл}} = 24^\circ$ ;  $КУР_{\text{сл}} = 188^\circ$ .

**94.**  $МК_{\text{вых}} = 269^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 140^\circ$ ;  $МК_{\text{сл}} = 227^\circ$ ;  $КУР_{\text{сл}} = 178^\circ$ .

**95.**  $МК_{\text{вых}} = 136^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 130^\circ$ ;  $МК_{\text{сл}} = 98^\circ$ ;  $КУР_{\text{сл}} = 168^\circ$ .

**96.**  $МК_{\text{вых}} = 98^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 220^\circ$ ;  $МК_{\text{сл}} = 136^\circ$ ;  $КУР_{\text{сл}} = 182^\circ$ . **97.**  $МК_{\text{ППМ}} = 308^\circ$ .

**98.**  $МК_{\text{ППМ}} = 206^\circ$ . **99.**  $МК_{\text{ППМ}} = 342^\circ$ . **100.**  $МК_{\text{ППМ}} = 348^\circ$ . **101.**  $МК_{\text{ППМ}} = 44^\circ$ .

**102.**  $БУ = + 6^\circ$ ;  $МК_{\text{ППМ}} = 160^\circ$ . **103.**  $БУ = + 5^\circ$ ;  $МК_{\text{ППМ}} = 185^\circ$ .

**104.**  $БУ = - 2^\circ$ ;  $МК_{\text{ППМ}} = 302^\circ$ . **105.**  $МК_{\text{вых}} = 15^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 220^\circ$ .

**106.**  $МК_{\text{вых}} = 102^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 120^\circ$ . **107.**  $КУР_{\text{вых}} = 146^\circ$ . **108.**  $КУР_{\text{вых}} = 142^\circ$ .

**109.**  $КУР_{\text{вых}} = 214^\circ$ . **110.**  $КУР_{\text{вых}} = 208^\circ$ .

**111.**  $МК_{\text{вых}} = 338^\circ$ ;  $КУР_{\text{вых}} = 300^\circ$ ;  $МК_{\text{сл}} = 283^\circ$ ;  $КУР_{\text{сл}} = 355^\circ$ .

112.  $МК_{\text{ВЫХ}} = 202^\circ$ ;  $КУР_{\text{ВЫХ}} = 30^\circ$ ;  $МК_{\text{СЛ}} = 228^\circ$ ;  $КУР_{\text{СЛ}} = 4^\circ$ .
113.  $МК_{\text{ВЫХ}} = 155^\circ$ ;  $КУР_{\text{ВЫХ}} = 290^\circ$ ;  $МК_{\text{СЛ}} = 94^\circ$ ;  $КУР_{\text{СЛ}} = 351^\circ$ .
114.  $МК_{\text{ВЫХ}} = 305^\circ$ ;  $КУР_{\text{ВЫХ}} = 30^\circ$ ;  $МК_{\text{СЛ}} = 327^\circ$ ;  $КУР_{\text{СЛ}} = 8^\circ$ .
115.  $МК_{\text{ВЫХ}} = 75^\circ$ ;  $КУР_{\text{ВЫХ}} = 310^\circ$ ;  $МК_{\text{СЛ}} = 24^\circ$ ;  $КУР_{\text{СЛ}} = 1^\circ$ .
116.  $МК_{\text{ППМ}} = 115^\circ$ . 117.  $МК_{\text{ППМ}} = 228^\circ$ . 118.  $МК_{\text{ППМ}} = 98^\circ$ . 119.  $МК_{\text{ППМ}} = 66^\circ$ .
120.  $МК_{\text{ППМ}} = 184^\circ$ . 121. ИПС =  $264^\circ$ . 122. ИПС =  $344^\circ$ . 123. ИПС =  $142^\circ$ .
124. ИПС =  $234^\circ$ . 125. ИПС =  $146^\circ$ . 126. ИПС =  $46^\circ$ . 127.  $МК_{\text{ОБХ}} = 322^\circ$ .
128.  $МК_{\text{ОБХ}} = 63^\circ$ . 129.  $МК_{\text{ОБХ}} = 157^\circ$ . 130.  $МК_{\text{ОБХ}} = 41^\circ$ . 131.  $МК_{\text{ОБХ}} = 160^\circ$ .
132.  $МК_{\text{ОБХ}} = 18^\circ$ . 133.  $\delta = 121^\circ$ ;  $U = 96 \text{ км/ч}$ . 134.  $\delta = 311^\circ$ ;  $U = 76 \text{ км/ч}$ .
135.  $\delta = 291^\circ$ ;  $U = 108 \text{ км/ч}$ . 136.  $V_{\text{И}} = 800 \text{ км/ч}$ .

## ЛИТЕРАТУРА

1. Воздушная навигация: Справочник / А.М. Белкин, Н.Ф. Миронов, Ю.И. Рублев, Ю.Н. Сарайский. М.: Транспорт, 1988.
2. Воздушная навигация и аэронавигационное обеспечение полетов. Под ред. Н.Ф. Миронова. М.: Транспорт, 1992.
3. Лейзерах А.А. Сборник задач по самолетовождению. М.: Транспорт, 1973.
4. Методика выполнения навигационных расчетов в полете. Кировоград: КВЛУ ГА, 1991.
5. Хиврич И.Г., Белкин А.М. Автоматизированное вождение воздушных судов. М.: Транспорт, 1985.
6. Хиврич И.Г., Миронов Н.Ф., Белкин А.М. Воздушная навигация. М.: Транспорт, 1984.
7. Черный М.А., Кораблин В.И. Воздушная навигация. М.: Транспорт, 1991.