

В. Ф. ШМЕЛЕВ

ПЛАНЕРОВОЖДЕНИЕ

МОСКВА ОРДЕНА «ЗНАК ПОЧЕТА» ИЗДАТЕЛЬСТВО ДОСААФ СССР 1977

ВВЕДЕНИЕ

Планеризм — один из видов авиационного спорта. Молодежь овладевает искусством парящих полетов на планерах в авиационно-спортивных клубах ДОСААФ и летает по многокилометровым маршрутам.

Маршрутные полеты требуют от спортсменов отличной техники пилотирования планера в различных условиях парящего полета, твердых знаний метеорологии, природы образования восходящих и нисходящих воздушных потоков, а также хорошей штурманской подготовки.

Успешное выполнение полета на планере по маршруту с использованием восходящих воздушных потоков во многом зависит от того, насколько хорошо планеристы знают штурманское дело и умеют правильно использовать свои знания в полете. На соревнованиях бывают случаи, когда планерист, пролетев сложный маршрут, неправильно оценивает скорость ветра или высоту, преждевременно принимает решение выполнять полет и в результате вынужден произвести посадку, не долетев до аэродрома.

В настоящее время разрядные нормативы «Курса учебно-лётной подготовки спортсменов-планеристов» и «Единой всесоюзной спортивной классификации» настолько высоки, что выполнить их можно, только в совершенстве зная навигационное оборудование планера, способы ведения визуальной ориентировки и владея расчетами навигационных элементов полета.

Планер не имеет радионавигационного оборудования, поэтому его место в полете определяют визуально, путем сличения карты с пролетаемой местностью. Знать свое точное местонахождение планерист обязан постоянно. Нарушение этого правила ведет к потере ориентировки и, следовательно, к посадке вне аэродрома. При выполнении скоростных полетов по маршруту время, затраченное на восстановление ориентировки, естественно, ухудшает результат полета.

Планерист с первых полетов по кругу и в зону должен учиться правильно ориентироваться в воздухе, определять направление ветра и в соответствии с его скоростью вносить поправки в курс следования, а к началу самостоятельных полетов по маршрутам уметь определять местонахождение планера на любом участке маршрута.

Навигационные приборы планера позволяют измерять в полете воздушную скорость, приборную высоту, компасный курс, скорость снижения или подъема и положение планера в пространстве. Остальные данные» необходимые для выполнения маршрутного полета (угол сноса, курс следования, высоту полета и другие), планерист должен рассчитать сам в ограниченное время, определяемое спецификой полета на планере. Для выработки этого умения расчета планеристу нужно систематически тренироваться в решении навигационных задач в уме и с помощью счетных устройств на земле перед полетами.

В этой книге излагаются способы и приемы планерождения при выполнении парящих полетов по маршрутам. Даются краткие сведения из авиационной картографии. Приводятся основные теоретические вопросы штурманской подготовки и положения штурманской службы в соответствии с Курсом учебно-лётной подготовки спортсменов-планеристов в авиационных организациях ДОСААФ.

Книга рассчитана на спортсменов-планеристов, знающих теорию парящего полета, метеорологию и имеющих практику парящих полетов в районе аэродрома.

Глава I

ПОНЯТИЕ ОБ АВИАЦИОННОЙ КАРТОГРАФИИ

Наука, изучающая способы изображения поверхности Земли на плоскости (карте), называется картографией. Авиационная картография изучает вопросы применения карт для вождения летательных аппаратов, а также вопросы навигационных измерений на поверхности Земли и на картах.

Для уяснения принципов построения карт и применения их необходимо иметь представление о форме и размерах Земли, географических координатах, точках, линиях и углах на ее поверхности.

ФОРМА И РАЗМЕРЫ ЗЕМЛИ

Земля не имеет простой геометрической формы. За действительную форму Земли принято геометрическое тело, ограниченное поверхностью сообщающихся между собой океанов. Это геометрическое тело называется геоидом.

Геоид выразить математически очень сложно, поэтому в картографии за форму Земли, которая наиболее близко подходит к геоиду, принят эллипсоид вращения — фигура, образуемая эллипсом при вращении его вокруг малой оси.

В Советском Союзе Постановлением Совета Министров СССР с 1946 г. для геодезических, картографических и топографических работ на территории СССР и социалистических государств приняты размеры эллипсоида Ф. Н. Красовского:

большая полуось (радиус экватора) — $a = 6378,245$ км;

малая полуось (половина земной оси) — $b = 6356,863$ км;

$$\text{сжатие} — c = \frac{a - b}{a} = \frac{1}{298,3}.$$

Чтобы упростить решение многих навигационных задач. Землю принимают за правильный шар, равновеликий геоиду, со средним радиусом 6371 км. Возникающие при этом погрешности в определении расстояний (0,5%) и направлений (0,5°) не имеют практического значения для решения задач вождения летательных аппаратов.

ТОЧКИ И ЛИНИИ НА ПОВЕРХНОСТИ ЗЕМНОГО ШАРА. ГЕОГРАФИЧЕСКИЕ КООРДИНАТЫ

Точки, в которых ось суточного вращения Земли пересекается с ее поверхностью, называются географическими полюсами — Северным P_c и Южным $P_{ю}$ (рис. 1).

Пересечение поверхности Земли плоскостью, проходящей через центр Земли, образует большой круг, другие секущие плоскости, не проходящие через центр Земли, образуют малые круги.

Окружность большого круга, перпендикулярного к оси вращения Земли, называется экватором. Окружность малого круга, параллельного экватору, называется параллелью.

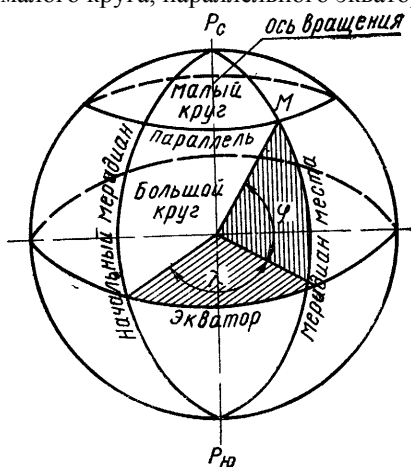


Рис. 1. Географические координаты точки M на поверхности Земли

Меридианом (географическим, или истинным) называется окружность большого круга, проходящего через ось вращения Земли. Меридиан, проходящий через Гринвичскую обсерваторию, расположенную вблизи Лондона, называется начальным меридианом.

Положение точки M на поверхности Земли определяется географическими координатами — широтой и долготой (см. рис. 1).

Широтой называется угол между плоскостью экватора и направлением на данную точку из центра Земли. Широта измеряется дугой меридиана в пределах от 0 до 90° к северу или югу от экватора до данной точки. Северная широта считается положительной, южная — отрицательной. Широту обозначают буквой φ .

Нередко при решении навигационных задач, например для глазомерного определения расстояния на карте, необходимо знать длину дуги меридиана. Длину дуги меридиана в один градус вычисляют по формуле:

$$L_{\text{мер}1^\circ} = \frac{2\pi R}{360^\circ} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 6371}{360} = 111,2 \text{ км}$$

где R — радиус земного шара, км.

Разделив длину дуги меридиана в 1° на $60'$, получим длину меридиана в $1'$ (морская миля), равную 1,852 км. Долготой называется двугранный угол между плоскостью начального меридиана и плоскостью меридиана, проходящего через данную точку M . Долготу обозначают буквой λ и измеряют дугой экватора от начального меридиана до меридиана данной точки к востоку и западу от 0 до 180° . Долгота, измеренная на восток от начального меридиана, называется восточной. Долгота, измеренная на запад, называется западной.

Долготу можно выразить во времени- часах, минутах и секундах. За 24 ч Земля делает полный оборот на 360° . Следовательно, имея в виду постоянную скорость вращения Земли, за 1 ч Земля повернется на 15° , за 1 мин — на $15'$ и за 1 с — на $15''$. Поворот Земли на 1° происходит за 4 мин, на $1'$ — за 4 с. Например, долгота $60^\circ 30'$ выражается во времени как 4 ч 2 мин.

КАРТЫ И КАРТОГРАФИЧЕСКИЕ ПРОЕКЦИИ

Карта представляет собой сплошное изображение поверхности Земли или отдельных ее частей на плоскости без разрывов и складок. Процесс изображения поверхности Земли на карте состоит как бы из двух этапов. Вначале Землю уменьшают до размеров глобуса, а затем поверхность глобуса переносят на плоскость карты.

Развернуть поверхность шара на плоскости без растяжений и сжатий невозможно. Поэтому изображение на карте всегда имеет какие-то искажения (длин, углов, площадей). Для того чтобы иметь меньше искажений на карте, применяют различные математические способы воссоздания поверхности Земли на плоскости, т. е. различные картографические проекции.

По характеру искажений картографические проекции разделяются на четыре группы:

равноугольные, не имеющие искажений углов;

равновеликие, не имеющие искажений площадей;

произвольные, которые имеют искажения углов и площадей и применяются для упрощения решения некоторых задач;

равнопромежуточные, где нет искажений длин по меридиану или по параллели.

В полетах на планерах наибольшее применение находят карты, выполненные в равноугольной проекции, на которых наиболее просто измеряются направления и решаются многие навигационные задачи.

По виду сетки меридианов и параллелей проекции полетных карт можно подразделить на следующие группы: цилиндрические, азимутальные, конические, поликонические, специальные.

В планерождении используют карты в цилиндрической и поликонической проекциях.

Цилиндрическая проекция представляет собой (рис. 2, а) изображение поверхности Земли на боковой поверхности цилиндра по определенным законом с последующей разверткой боковой поверхности цилиндра на плоскости. Цилиндрическая проекция называется нормальной, когда оси цилиндра и Земли совпадают;

поперечной, когда угол между осью цилиндра и осью Земли составляет 90° ; и косой, когда угол между осью цилиндра и осью Земли заключен между 0 и 90° .

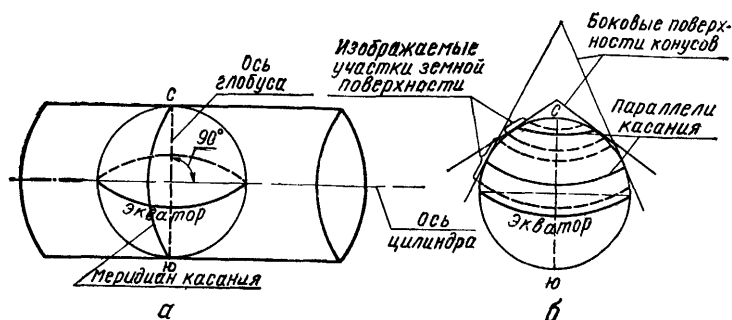


Рис 2 Цилиндрическая а и поликоническая б проекции

В поликонической проекции участок земной поверхности, ограниченный параллелями, воспроизводится на боковой поверхности отдельного конуса (см. рис. 2,б). Для вождения летательных аппаратов применяют карты в видоизмененной поликонической проекции, которая называется Международной проекцией. Международная проекция строится по особым правилам с таким расчетом, чтобы искажения по всей карте были минимальными. Эти правила были приняты на Международной конференции картографов в 1909 г. с поправками русского геодезиста Щеткина. В этой проекции издаются карты масштаба 1 : 1 000 000 (10 км в 1 см), 1 : 2 000 000 (20 км в 1 см) и 1 : 4 000 000 (40 км в 1 см).

МАСШТАБ, РАЗГРАФКА И НОМЕНКЛАТУРА КАРТ

Масштабом карты называется отношение длины линии на карте к длине этой же линии на поверхности Земли. Масштаб бывает численным и линейным. Численный масштаб обозначается на карте отношением единицы длины на карте к действительной длине на поверхности Земли. Например, 1 : 1 000 000. Это означает, что 1 см на карте соответствует 1000000 см (10 км) на местности. Линейный масштаб представляет собой прямую линию, разделенную на равные части (1 см, 2 см) с указанием, какому расстоянию на местности соответствует длина одной части. Например, в 1 см 10 км.

По масштабам карты разделяются на крупномасштабные — масштабы от 1 : 200 000 (в 1 см — 2 км) и крупнее, среднемасштабные — масштабы от 1 : 200 000 до 1 : 1 000 000 и мелкомасштабные — масштабы менее 1 : 1 000 000. Карты крупных и средних масштабов состоят из отдельных листов. Листы, необходимые для полета, выбирают из сборных таблиц, в которых каждый лист карты имеет определенную нумерацию. На отдельных листах выполнены также бортовые аэронавигационные карты масштабов 1:2000000 и 1 : 4 000 000.

Система деления карты на отдельные листы называется разграфкой карты, а система обозначения от-отдельных листов карты — номенклатурой.

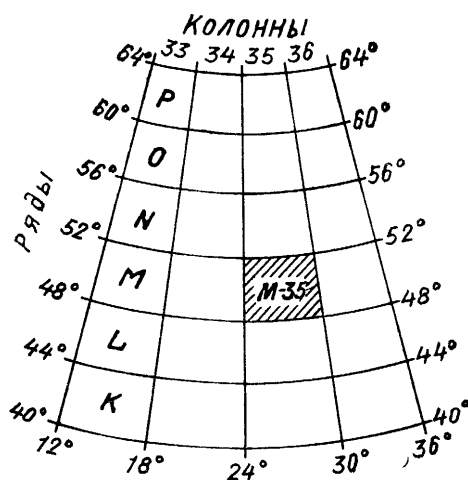
Основой деления крупно- и среднемасштабных карт на листы является географическая сетка, поэтому верхняя сторона рамки карты является северной, нижняя — южной, левая — западной и правая — восточной. Чтобы легче найти нужный лист карты определенного масштаба и района, каждому листу присваивают свое цифровое и буквенное обозначение, т. е. номенклатуру.

В международной номенклатуре за основу взят лист карты масштаба 1 : 1 000 000. В этой системе весь земной шар, от Северного до Южного полюса, по широте через каждые 4° разбит на ряды. Каждый ряд обозначают буквой латинского алфавита: Л, В, С, D и т. д., начиная от экватора к Северному полюсу. В таком же порядке размечено и Южное полушарие. Всего между полюсами получается 44 ряда и 2 листа карты, центрами этих карт являются полюса. Эти листы обозначаются буквой Z.

Кроме того, земной шар через каждые 6° по долготе разбит на 60 колонн. Каждая колонна имеет свой порядковый номер. Счет номеров колонн идет с запада на восток, начиная от меридиана 180°, проходящего через Чукотский полуостров.

Таким образом, каждый лист карты имеет свою номенклатуру, которую обозначают буквой латинского алфавита и цифрой, например М-35. Ряды и колонны карты масштаба 1 : 1 000 000 в пределах СССР показаны на рис. 3. Кроме номера, на каждом листе ставят название расположенного на нем наибольшего города, а также номенклатуру смежных, непосредственно прилегающих к нему листов.

Рис. 3. Номенклатура карты масштаба 1 : 1 000 000



ПОЛЕТНЫЕ КАРТЫ

Полетные карты предназначены для выбора и прокладки маршрута, измерения направлений и расстояний по маршруту полета, ведения ориентировки в полете, контроля и исправления направления пути планера и графических построений при решении навигационных задач в полете.

В зависимости от длины маршрута планеристы в полете пользуются картами масштабов 1 : 500 000 и 1 : 1 000 000. Практически карты других масштабов планеристы не используют.

Карта масштаба 1 : 1 000 000 (в 1 см — 10 км)

Эта карта исполнена в видоизмененной поликонической (международной) проекции. На карте меридианы изображены прямыми линиями, сходящимися к полюсу, параллели — кривыми линиями, близкими к окружности. Данная проекция имеет малые искажения углов и расстояний, поэтому направления и расстояния на карте измеряют без учета искажений.

Каждый лист карты занимает 4° по широте и 6° по долготы. Сетка меридианов и параллелей нанесена через 1° . На рамке, окаймляющей лист карты, между каждым меридианом и параллелью даны пятиминутные отметки (рис. 4).

На карте изображены наиболее крупные населенные пункты и главные дороги. С некоторым обобщением воспроизведены лесные массивы и болота, полно и подробно — водные пространства. Рельеф местности показан в горизонталях.

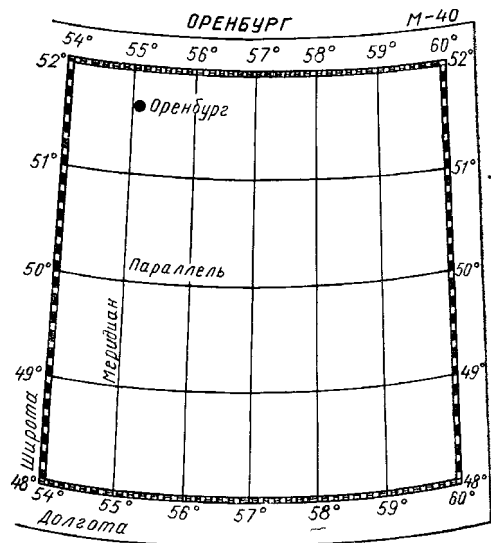


Рис 4 Сетка меридианов и параллелей на карте масштаба 1 : 1 000 000

Чтобы определить характер рельефа местности по карте, необходимо помнить следующее. Короткие штрихи на горизонталях (начерченные перпендикулярно к ним) указывают направление ската. Они помещаются на изгибах горизонталей у вершин, седловин или на дне котловин. Цифровые подписи на горизонталях обозначают их высоту над уровнем моря и верх этих цифр обращен в сторону повышения ската. Точка с цифровой отметкой на карте указывает высоту точки на местности. Этой точкой является вершина горы, холма или высшая точка водораздела. Для большей наглядности обрисовка горного рельефа на карте дополняется отмывкой, т. е. оттенением серой краской скатов неровностей.

Карта масштаба 1 : 500 000 (в 1 см — 5 км)

Карта построена в равноугольной поперечно-цилиндрической проекции Гаусса. В этой проекции поверхность Земли проектируется на поверхность цилиндра, касающегося Земли по одному из меридианов. Ось цилиндра располагается под углом 90° к оси вращения Земли. На каждый отдельный цилиндр проектируется небольшая зона шириной 6° — по 3° к востоку и западу от среднего меридиана. На карте средний меридиан изображается без искажений, прямой линией. Остальные меридианы и параллели наносятся сложными кривыми.

Проекция Гаусса равноугольна и не имеет искажений углов. Искажение длин на среднем меридиане отсутствует, а на границах зоны достигает максимальной величины (0,137%).

Карта благодаря равноугольной проекции сохраняет подобие фигур, поэтому она наиболее предпочтительна для ведения визуальной ориентировки.

Изображение рельефа, топографические условные знаки и расцветка карт 1 : 500 000 и 1 : 1 000 000 аналогичны, за исключением того, что на карте 1 : 500 000 изображение горного рельефа дополняется послышной коричневой окраской высотных слоев. С увеличением высоты слои наносятся более темной краской через

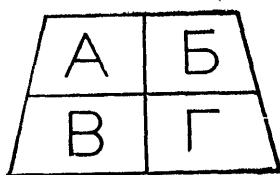


Рис 5 Разграфка и номен-
клатура листов карты мас-
штаба 1 : 500 000

300, 500 или 1000 м. Такой способ воспроизведения рельефа называется гипсометрическим.

Разграфка и номенклатура карты масштаба 1 : 500 000 производится путем деления листа карты масштаба 1 : 1 000 000 на четыре части по среднему меридиану и средней параллели. Полученные таким путем листы обозначают буквами алфавита: А, Б, В, Г (рис. 5). Например, листы карты масштаба 1 : 500000, покрывающие ленинградский лист (0-36) миллионной карты, нумеруют так: 0-36-А, 0-36-Б, 0-36-В, 0-36-Г. Размеры листа карты: 2° — по широте и 3° — по долготе.

ИЗМЕРЕНИЯ НА ПОЛЕТНЫХ КАРТАХ

При подготовке к полету и в полете на карте измеряют направление и длину отрезков маршрута и определяют: магнитное склонение, абсолютную высоту рельефа и некоторые другие величины.

Расстояния на карте измеряют с помощью специальной масштабной линейки или обычной сантиметровой линейкой. На рис. 6 показана масштабная линейка, используемая в авиации. Шкалы масштабной линейки оцифрованы в км в соответствии с указанным для этой шкалы масштабом. Поэтому при пользовании масштабной линейкой расстояния отсчитывают непосредственно на шкале линейки. При пользовании сантиметровой линейкой на карте измеряют расстояние в см и мм, затем это расстояние умножают на линейный масштаб, т. е. число км в 1 см.

Направления на картах измеряют и откладывают с помощью навигационного транспортира (рис. 7). Он имеет двойную шкалу угловых делений внешнюю — от 0 до 180° и внутреннюю — от 180 до 360°. Это позволяет измерять углы в пределах от 0 до 360°.

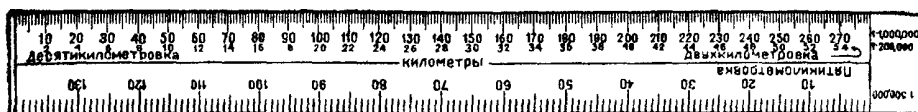


Рис. 6. Масштабная линейка

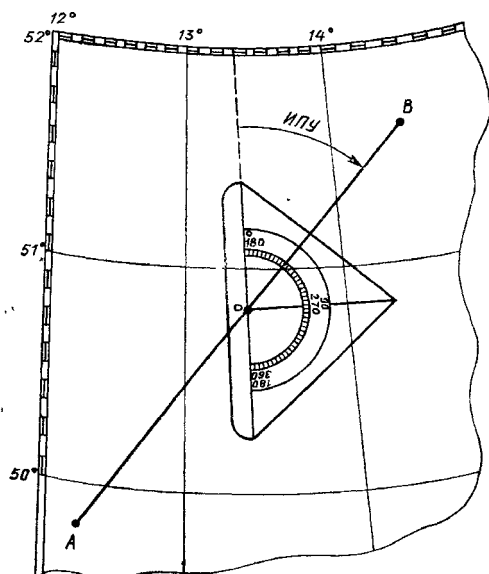


Рис. 7. Измерение заданного путевого угла на карте

Чтобы измерить истинный путевой угол (ИПУ), образуемый северным направлением истинного меридиана и

линией заданного пути, нужно центр транспортира наложить на точку, в которой измеряется направление, располагая диаметр транспортира по меридиану, проходящему через точку. Дуга транспортира должна быть обращена в сторону измеряемого направления. ИПУ отсчитывают по оцифровке транспортира (см. рис. 7).

При полете по маршруту могут применяться две линии, характеризующие направление из одной точки в другую, — локсодромия и ортодромия.

Локсодромией называется линия на поверхности Земли или на карте, пересекающая истинные меридианы под одним и тем же углом (рис. 8, а, б). На картах масштабов 1 : 1 000 000 и 1 : 500 000 локсодромия изображается кривой, так как меридианы на этих картах располагаются под некоторым углом друг к другу.

Локсодромия — линия пути планера, если полет происходит с постоянным истинным путевым углом. Для измерения истинного локсодромического путевого угла необходимо, соединив две заданные точки прямой линией, измерить угол β_n между этой линией и средним меридианом. Если расстояние между пунктами не превышает 200—300 км, локсодромия незначительно отклоняется от прямой на карте и поэтому ее прокладывают прямой линией, а путевой угол измеряют в середине этой линии.

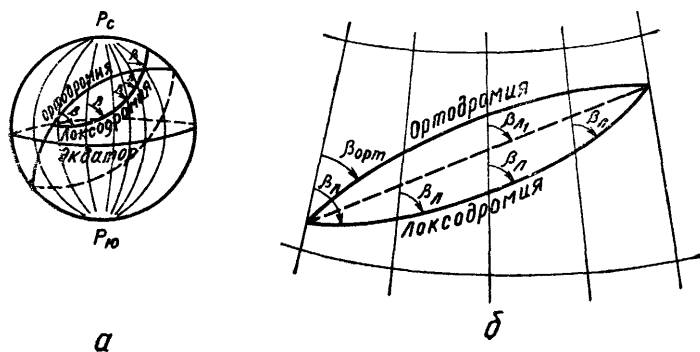


Рис. 8. Ортодромия и локсодромия на поверхности Земли (а) и на карте (б)

Ортодромией называется линия кратчайшего расстояния между двумя точками на поверхности земного шара. Эта линия представляет собой дугу большого круга, получаемую сечением земного шара плоскостью, проходящей через заданные точки и центр Земли (см рис. 8,а). Ортодромия пересекает меридианы под различными углами. На картах ортодромию воспроизводят кривой линией. Если расстояние между заданными точками не превышает 1000 км, то отклонение ортодромии от прямой на карте невелико и им можно пренебречь, принимая прямую линию на карте за ортодромию. При рекордных полетах на дальность расстояние, пройденное планером, устанавливают по длине ортодромии, от точки вылета до точки посадки. Так как карты имеют искажения, то точное значение дальности полета рассчитывают по формуле:

$$\cos S' = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cdot \cos(\lambda_2 - \lambda_1),$$

где S' — длина ортодромии в минутах дуги большого круга;

$$S_{км} = S' \cdot 1,853(км);$$

$\varphi_1, \varphi_2, \lambda_1, \lambda_2$ — географические координаты точек вылета и посадки.

Географические координаты пунктов определяют с помощью параллелей и меридианов, нанесенных на карту и имеющих оцифровку на ней или на ее рамке. Чтобы более точно определить широту и долготу, необходимо на меридианах, параллелях и рамке карты учесть 10- или 20-минутные деления; единицы минут находят с помощью интерполяции.

Абсолютную высоту рельефа определяют по отметкам горизонталей и высот, а магнитное склонение — по изогонам, изображенным пунктирными линиями фиолетового цвета.

Глава II

НАВИГАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПОЛЕТА

Навигационными элементами полета называются величины, определяющие положение планера в пространстве, скорость и направление его перемещения. Положение планера в пространстве характеризуется местонахождением и высотой полета.

Проекция траектории полета планера на земную поверхность называется линией пути планера, проекция на

земную поверхность точки, в которой в данный момент находится планер, — местом планера (МП), расстояние по вертикали от планера до поверхности Земли — истинной высотой полета.

К навигационным элементам, определяющим перемещение планера, относятся: курс, воздушная скорость, путевая скорость, путевой угол и угол сноса.

КУРС, СКОРОСТЬ И ВЫСОТА ПОЛЕТА ПЛАНЕРА

Курсом планера (К) называется угол между северным направлением меридиана и продольной осью планера. Курс отсчитывают в градусах от северного направления меридиана по часовой стрелке до продольной оси планера от 0 до 360° (рис. 9). Курс планера — важнейший навигационный элемент, без знания которого невозможен целенаправленный полет. Для измерения курса на планере устанавливают магнитный компас, принцип работы которого и правила

пользования рассмотрены в гл. III.

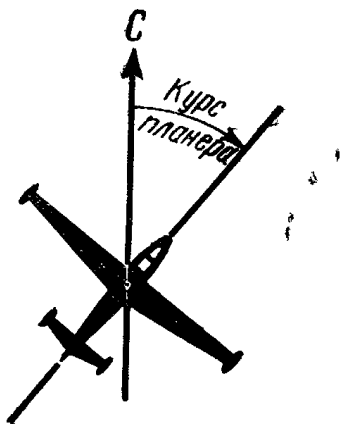


Рис 9 Курс планера

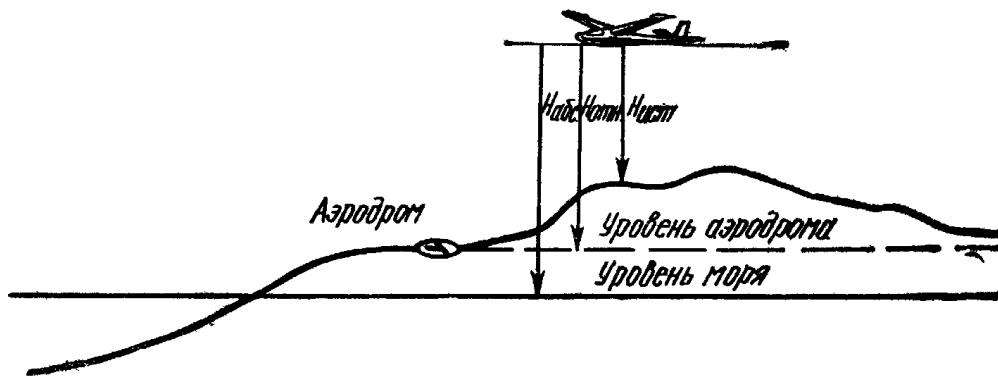


Рис. 10. Классификация высот полета в зависимости от уровня отсчета высоты

Воздушной скоростью (V) называется скорость движения планера относительно воздушной массы. Величина воздушной скорости зависит от веса планера, угла атаки крыла и плотности воздуха. Направление вектора воздушной скорости совпадает с продольной осью планера. Воздушная скорость планера измеряется в км/ч.

Различают следующие режимы воздушной скорости планера, относящиеся к планированию:

максимально допустимая скорость — скорость планирования, превышение которой не разрешается по условиям прочности, устойчивости и управляемости планера;

скорость наибольшей дальности снижения (наивыгоднейшая) — скорость полета на установившемся снижении, при которой достигается минимальный угол наклона траектории;

скорость наибольшей продолжительности снижения (экономическая) — скорость полета на установившемся

снижении, при которой достигается минимальная вертикальная скорость;

минимально допустимая (эволютивная) скорость полета планера — наименьшая скорость полета, ограниченная каким-либо условием (устойчивостью, управляемостью и др.).

В полете воздушная скорость измеряется указателем воздушной скорости (УС).

Высотой полета (H) называется расстояние по вертикали от планера до условного уровня, принятого за начало отсчета высоты.

В решении навигационных задач высота полета является необходимым элементом. От высоты полета зависит дальность планирования и безопасность полета. Чтобы правильно рассчитать парящий полет и успешно его завершить, избежать столкновения с различными препятствиями на земной поверхности, необходимо в каждый момент времени знать высоту полета.

В зависимости от уровня, относительно которого производится измерение высоты, различают следующие высоты полета (рис. 10):

истинную ($H_{ист}$), отсчитываемую от той точки земной поверхности, над которой пролетает планер;

относительную ($H_{отн}$), отсчитываемую от некоторого условного уровня (чаще всего аэродрома вылета);

абсолютную ($H_{абс}$), отсчитываемую от уровня моря.

Для измерения высоты полета на планере устанавливают барометрические высотомеры, которые позволяют определять высоту полета относительно уровня давления атмосферы, величина которого установлена на высотомере, т. е. относительную высоту.

ВЛИЯНИЕ ВЕТРА НА ПОЛЕТ ПЛАНЕРА В ПЛАНИРУЮЩЕМ ПОЛЕТЕ ПРИ ОТСУТСТВИИ ВЕРТИКАЛЬНЫХ ВОЗДУШНЫХ ПОТОКОВ

Ветром называется горизонтальное перемещение воздуха относительно земной поверхности. Скорость перемещения воздушных масс называется скоростью ветра (U). Скорость ветра выражается в м/с или км/ч. Направление движения воздушных масс называется направлением ветра (δ). Направление ветра измеряют в градусах от северного направления меридиана по часовой стрелке до направления на точку горизонта, куда дует ветер, от 0 до 360°.

Ветер, направление которого определяют на точку горизонта, куда он дует, называется навигационным. Направление метеорологического ветра отличается от направления навигационного ветра на 180°. Для решения навигационных задач всегда берут навигационный ветер.

Направление метеорологического ветра отсчитывают от истинного меридиана, поэтому при переводе метеорологического ветра в навигационный учитывают магнитное склонение:

$$\delta_{нав} = \delta_{мет} \pm 180^\circ - (\pm \Delta_M)$$

где $\delta_{нав}$ — направление навигационного ветра;

$\delta_{мет}$ — направление метеорологического ветра;

Δ_M — магнитное склонение в районе измерения ; ветра.

Отрезок прямой, выражающий в каком-либо масштабе скорость и указывающий ее направление, называется вектором скорости. Вектор скорости ветра называется вектором ветра, а величина и направление воздушной скорости выражаются вектором воздушной скорости.

При планирующем полете в движущемся воздухе скорость перемещения планера относительно земли будет складываться из скорости перемещения его относительно воздушной среды и скорости перемещения вместе с воздушной средой, т. е. скорости ветра. Геометрическая сумма вектора воздушной скорости и вектора ветра (рис. 11) дает равнодействующую, показывающую направление и скорость полета планера относительно Земли, т. е. путевую скорость (W).

$$ПУ = K + UC; UB = \delta - ПУ.$$

На основании этих зависимостей можно рассчитать по известным курсу и углу сноса путевой угол или по известному направлению ветра и путевому углу — угол ветра.

Величины угла сноса и путевой скорости зависят от величины воздушной скорости планера, скорости ветра и угла ветра. Рассмотрим эти зависимости. Из навигационного треугольника по теореме синусов (см. рис. 11) имеем:

$$\frac{U}{\sin UC} = \frac{V}{\sin UB}, \sin UC = \frac{U}{V} \sin UB.$$

Таким образом, величину угла сноса определяют из отношения скорости ветра к воздушной скорости планера и величине угла ветра. Из данной формулы следует, что, чем больше воздушная скорость планера, тем меньше угол сноса.

Максимальную величину угол сноса принимает при угле ветра, равном 90° (так как $\sin 90^\circ = 1$), поэтому;

$$\sin UC_{\max} = \frac{U}{V}, \text{ или } UC_{\max} \approx \frac{U}{V} 60.$$

Пользуясь этим выражением, можно вычислить значение максимального угла сноса при данной скорости ветра и воздушной скорости.

Величина путевой скорости зависит от величины воздушной скорости планера, скорости ветра и угла ветра. Покажем эту зависимость. Опустив из точки А навигационного треугольника скоростей (см. рис. 11) вспомогательный перпендикуляр АЕ на сторону ОВ, получим два прямоугольных треугольника ОАЕ и АВЕ.

Из этих треугольников имеем:

$$W = V \cos UC + U \cos UB.$$

Отсюда следует, что максимальная величина путевой скорости будет при угле ветра, равном нулю, а минимальная — при угле ветра, равном 180° . При угле ветра, близком к 90° , путевая скорость равна воздушной скорости.

Изменение скорости планирования вызывает соответствующие изменения путевой скорости и угла сноса.

НАВИГАЦИОННЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ ПАРЯЩЕГО ПОЛЕТА ПО МАРШРУТУ

Парящий полет по маршруту состоит из ряда последовательных этапов, каждый из которых включает в себя набор высоты в восходящем потоке и полет (переход) в режиме планирования к следующему восходящему потоку.

На рис. 12 дана схема профиля парящего полета в штить (а) и линия пути планера при выполнении полета по заданному маршруту с попутно-боковым ветром (б) со следующими обозначениями:

H — высота окончания перехода;

$\Delta H_{\text{пер}}$ — запас высоты, набираемой планеристом для перелета к следующему восходящему потоку (в дальнейшем будем называть ее высотой перехода),

$u_{\text{наб}}$ — средняя скороподъемность планера в восходящем потоке при наборе высоты;

V_y — вертикальная скорость снижения планера;

$U_{\text{восх}}$ — вертикальная скорость восходящего потока;

$U_{\text{нисх}}$ — вертикальная скорость нисходящего потока;

$V_{\text{пер}}$ — воздушная скорость перехода (приравнивается к горизонтальной составляющей воздушной скорости планирования при переходе);

$V_{y \text{ пер}}$ — суммарная вертикальная скорость снижения планера при переходе ($V_{y \text{ пер}} = V_y + U_{\text{нисх}}$);

$t_{\text{наб}}$ — время набора высоты $\Delta H_{\text{пер}}$;

$t_{\text{пер}}$ — время перехода от одного восходящего потока к другому;

$L_{\text{пер}}$ — длина перехода.

При выполнении парящего полета движение планера по заданному маршруту неравномерно (это связано с необходимостью периодической затраты времени на поиск воздушного потока и набор высоты путем выполнения спиралей в восходящем воздушном потоке). Поэтому для навигационных расчетов берутся средние значения воздушной скорости полета ($V_{\text{ср}}$). Среднюю скорость полета определяют отношением пройденного расстояния к затраченному времени полета.

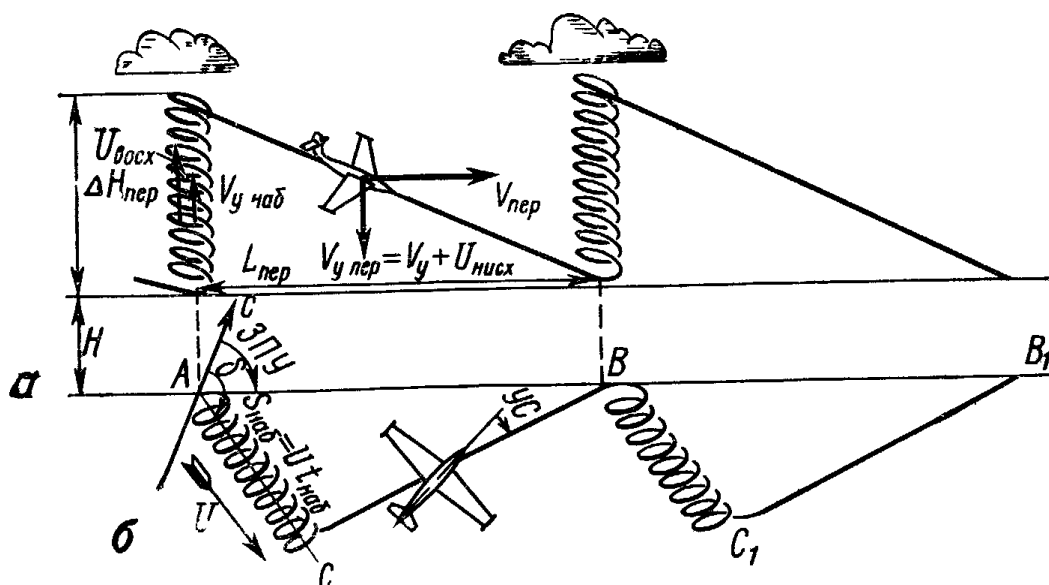


Рис 12 Схема парящего полета по маршруту
 а — профиль полета в штиль, б — линия пути планера при полете с попутно-боковым ветром

Из рис. 12,а следует:

$$V_{cp} = \frac{L_{пер}}{t_{наб} + t_{пер}}$$

Выразив $L_{пер}$ через $V_{пер}$ и $t_{пер}$ получим:

$$V_{cp} = \frac{V_{пер} + t_{пер}}{t_{пер} + t_{наб}} \quad (1)$$

Из формулы (1) можно получить зависимость V_{cp} от скорости восходящих и нисходящих потоков. Выразим в формуле (1) $t_{пер}$ и $t_{наб}$ через $\Delta H_{пер}$, получим:

$$t_{пер} = \frac{\Delta H_{пер}}{V_y + U_{нисх}}; t_{наб} = \frac{\Delta H_{пер}}{V_y_{наб}}$$

Подставив в правую часть уравнения (1) значения $t_{пер}$ и $t_{наб}$, получим:

$$V_{cp} = \frac{V_{пер} \cdot \frac{\Delta H_{пер}}{V_y + U_{нисх}}}{\frac{\Delta H_{пер}}{V_{упп}} + \frac{\Delta H_{пер}}{V_y + U_{нисх}}}$$

Умножив числитель и знаменатель на дробь

$$\frac{(V_y + U_{нисх}) \cdot V_y_{наб}}{\Delta H_{пер}},$$

определим окончательный вид формулы средней воздушной скорости:

$$V_{cp} = \frac{V_{пер} \cdot V_y_{наб}}{V_y + U_{нисх} + V_y_{наб}} \quad (2)$$

Из формулы (2) видно, что средняя воздушная скорость увеличивается при использовании более интенсивных восходящих потоков и уменьшается с увеличением вертикальной скорости нисходящих потоков. Средняя воздушная скорость находится в прямой зависимости от скорости перехода.

Скоростью перехода называется скорость, выдерживаемая планеристом по прибору, которая обеспечивает

в возможно короткое время выполнение этапа маршрутного полета от начала перехода до последующего набора высоты, т. е. дает максимальное значение средней воздушной скорости. Величина скорости перехода зависит от летных характеристик планера и вертикальной скорости восходящих и нисходящих потоков на маршруте полета. С увеличением средней скороподъемности планера в восходящих потоках соответственно повышают скорости переходов. При попадании в нисходящий поток скорость перехода необходимо также увеличивать, чтобы сократить время нахождения в нисходящем потоке и тем самым увеличить дальность планирования.

В полете скорость перехода определяют по счетным устройствам или таблицам.

В планеризме скорость перехода, обеспечивающая полет по маршруту в кратчайшее время, называется оптимальной скоростью перехода. Обоснование оптимальной скорости перехода дано в книге С. Вельгуса, Э. Макули и С. Скшидлевского «Перелеты на планерах» (М., Изд-во ДОСААФ, 1963).

Если полет выполняют при наличии ветра, то планер за время набора высоты будет перемещаться относительно земной поверхности под действием ветра, следовательно, его путь будет равен $V \cdot t_{наб}$, а путевой угол будет равен δ (см. рис. 12,6).

Чтобы после набора высоты выйти на линию заданного пути (при благоприятных парящих условиях), нужно взять курс следования с учетом угла сноса.

Найдем форму линии пути и определим навигационные элементы парящего полета по маршруту. Рассматривая рис. 12,6, заметим, что в процессе набора высоты $\Delta H_{пер}$ планер относительно земной поверхности переместится (из точки А в точку С) в направлении ветра на расстояние $S_{наб} = Ut_{наб}$.

После окончания набора высоты и выполнения перехода необходимо вывести планер в точку В, находящуюся на линии заданного пути. Чтобы найти положение точки В (рис. 13), отложим от линии заданного пути путь ветра за время перехода ($Ut_{пер}$) и через точку е проведем линию, параллельную линии заданного пути. Далее радиусом-вектором $V_{пер}t_{пер}$ сделаем засечку на линии aa' и получим точку f. Прямая Cf показывает направление вектора воздушной скорости при переходе для выхода в точку В.

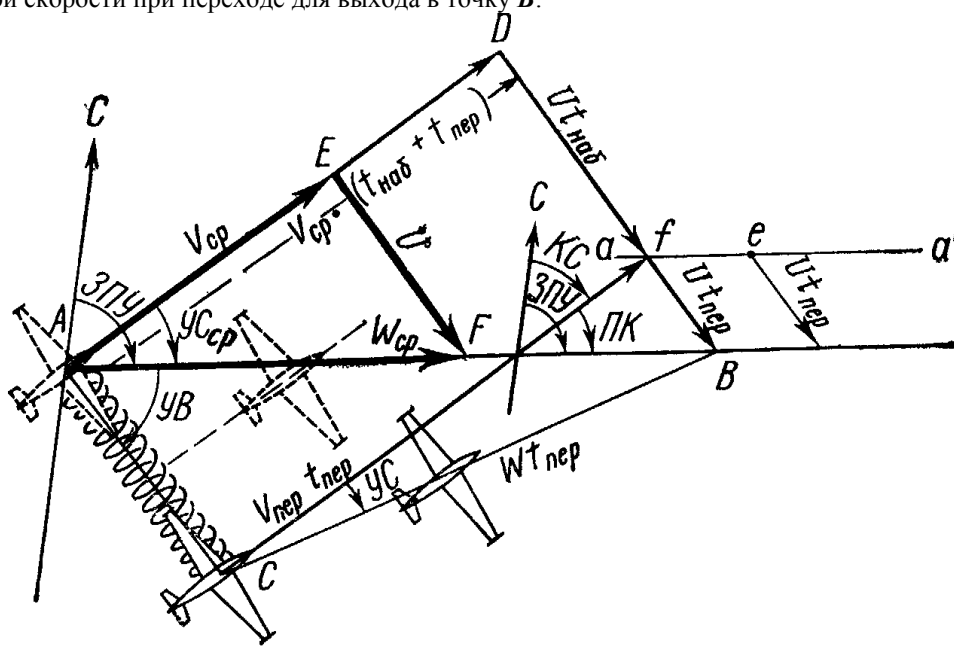


Рис 13 Навигационный треугольник скоростей парящего полета по маршруту

Как видно из рис. 13, для вывода планера на линию заданного пути после набора высоты надо взять курс, равный заданному путевому углу с учетом поправки: $KC = ЗПУ - ПК$.

Поправка в курс (ПК) зависит от многих навигационных элементов ($U, \delta, УВ, V_{пер}, t_{пер}$). Чтобы найти зависимость поправки в курс от других навигационных элементов полета планера, вообразим планер, который совершает полет из точки А в точку В с постоянным курсом и скоростью. Воображаемый планер (на рис. 13 показан пунктиром) перелетает из точки А в точку В за то же время ($t_{наб} + t_{пер}$), что и действительный планер. Обозначив скорость воображаемого планера V_{cp} , можем написать:

$$V_{нептнер} = V_{cp}(t_{наб} + t_{неп}).$$

Теперь стороны треугольника ABD (рис. 13) можно выразить следующими зависимостями:

$$AD = V_{нептнер} = V_{cp}(t_{наб} + t_{неп});$$

$$DB = Ut_{наб} + Ut_{неп} = U(t_{наб} + t_{неп});$$

$$AB = W_{cp}(t_{наб} + t_{неп}).$$

Разделив стороны треугольника ABD на общий множитель $(t_{наб} + t_{неп})$, получим новый треугольник AEF , являющийся навигационным треугольником скоростей парящего полета по маршруту. Треугольник AEF аналогичен рассмотренному в начале главы (см. рис. 11) навигационному треугольнику планирующего полета. В полученном навигационном треугольнике $УС_{cp}$ (в дальнейшем $УС_{cp}$ будем называть просто углом сноса — $УС$) соответствует поправке в курс, которую нужно учитывать при переходе из точки окончания набора высоты C в точку на линии заданного пути B .

Из навигационного треугольника скоростей парящего полета определим зависимость между навигационными элементами, необходимыми для решения задач планерождения

Эти зависимости выражаются следующими соотношениями:

$$K = 3ПУ - УС; УВ = \delta - ПУ; \sin УС = \frac{U}{V_{cp}} \sin УВ;$$

$$W_{cp} = V_{cp} \cos УС + U \cos УВ.$$

Для решения задач навигационного треугольника применяют различные счетные устройства, рассчитанные для данного типа планера.

Особенность зависимости между навигационными элементами парящего полета по маршруту состоит в том, что V_{cp} связана со скоростью перехода, для определения которой предназначены специальные вычислительные устройства, рассмотренные в гл. III.

ЗАВИСИМОСТЬ МЕЖДУ НАВИГАЦИОННЫМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В ПАРЯЩЕМ ПОЛЕТЕ ПО МАРШРУТУ

На рис. 14, 15 и 16 показана зависимость угла сноса и средней путевой скорости от изменения скорости ветра, угла ветра и средней воздушной скорости. Исходя из данных графических построений, можно сделать следующие выводы:

1. С ростом скорости ветра при постоянных угле ветра (менее $\pm 90^\circ$) и средней воздушной скорости угол сноса увеличивается, а средняя путевая скорость возрастает, достигая максимального значения в момент, когда вектор U станет перпендикулярным вектору V_{cp} ($УВ + УС = 90^\circ$), после чего она уменьшается до определенного значения при $УС = 90^\circ$. При дальнейшем возрастании скорости ветра, возвращение на маршрут при данных вертикальных потоках (и связанных с ними возможных значениях V_{cp} становится невозможным (см рис. 14).

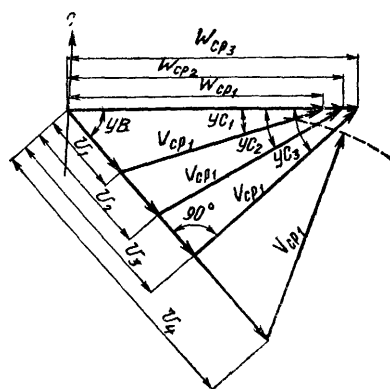


Рис. 14. Зависимость угла сноса и средней путевой скорости от изменения скорости ветра

При угле ветра $\pm 90^\circ$ и более увеличение скорости ветра вызывает увеличение угла сноса и уменьшение средней путевой скорости.

В этих условиях при равенстве скорости ветра и средней воздушной скорости полет на планере по маршруту невозможен.

2. Изменение угла ветра при постоянных значениях скорости ветра и средней воздушной скорости вызывает изменение угла сноса. При изменении угла ветра от 0 до $\pm 90^\circ$ угол сноса изменяется от 0 до максимального значения, а затем уменьшается до 0° . Угол сноса равен нулю при углах ветра 0 и 180° (попутный и встречный ветер). Средняя путевая скорость с увеличением угла ветра от 0 до $\pm 180^\circ$ уменьшается (см. рис. 15).

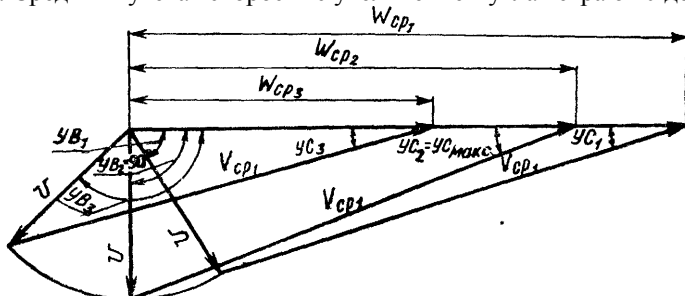


Рис 15. Зависимость угла сноса и средней путевой скорости от изменения угла ветра

3. С увеличением средней воздушной скорости при постоянном значении вектора ветра угол сноса уменьшается, а средняя путевая скорость увеличивается (см. рис. 16). Так как с увеличением скороподъемности планера в потоках растут средняя воздушная и путевая скорости, то угол сноса уменьшается с увеличением скороподъемности планера в потоке, и наоборот.

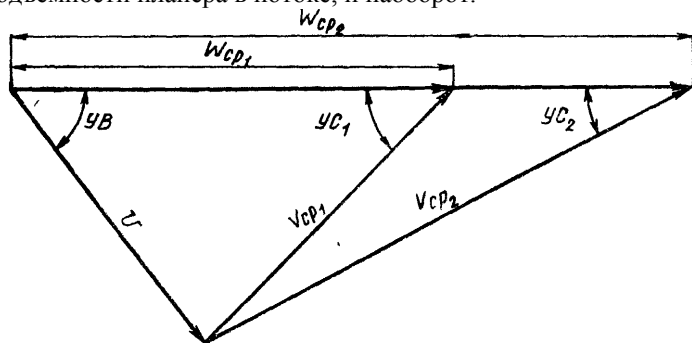


Рис. 16 Зависимость угла сноса и средней путевой скорости от изменения средней воздушной скорости

Зависимость между навигационными элементами парящего полета планерист должен всегда твердо помнить. При выполнении маршрутных полетов нередко складываются обстоятельства, когда спортсмен вынужден менять курс следования (отсутствие восходящих потоков на линии заданного пути, обход опасных явлений погоды, тактический маневр и т. п.). В данной обстановке планерист должен в короткое время оценить, как изменяются навигационные элементы в новых условиях полета, и только на основании правильной оценки может принять грамотное решение о дальнейшем продолжении полета.

Пример. В связи с отсутствием восходящих потоков на заданном маршруте, требуется принять решение, с какой стороны от линии заданного пути после перехода в район с восходящими потоками выгоднее продолжать парящий полет в цель, если $ЗПУ = 100^\circ$, $\delta = 150^\circ$, а возможные варианты продолжения полета в одном случае с $ПУ_1 = 120^\circ$, в другом — с $ПУ_2 = 80^\circ$ (рис. 17).

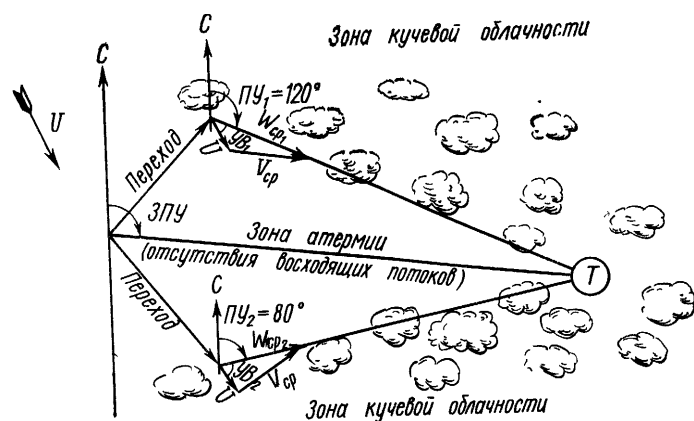


Рис. 17. Выбор рационального варианта продолжения маршрутного полета

Решение. Определив в обоих случаях величины углов ветра:

$$\text{УВ}_1 = 150^\circ - 120^\circ = 30^\circ,$$

$$\text{УВ}_2 = 150^\circ - 80^\circ = 70^\circ$$

и зная зависимость изменения $W_{\text{ср}}$ от угла ветра, планерист примет решение продолжать полет с левой стороны от ЛЗП с МПУ = 120° , так как в этом случае $W_{\text{ср}1}$ будет больше $W_{\text{ср}2}$.

Рассматривая зависимость элементов навигационного треугольника скоростей, мы исходили из постоянных значений средней воздушной скорости и угла ветра. Практически в полете данные величины после каждого перехода изменяются, и определить их точное значение планеристу очень трудно, а чаще всего невозможно. Вследствие этого значения средней путевой скорости и угла сноса также будут определены с ошибками. Поэтому в полете необходимо непрерывно вести визуальную ориентировку, чтобы своевременно обнаружить отклонения от заданного маршрута и принять необходимые меры для исправления курса и режима полета.

Глава III

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАВИГАЦИОННЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ПОЛЕТА

При подготовке к полету и в полете навигационные элементы полета определяют с помощью карты, счетных приборов, графиков и таблиц. Фактическую величину курса, воздушной скорости, высоты, скорости снижения и подъема измеряют с помощью приборов, установленных на приборной доске в кабине планера. Величины указанных навигационных элементов, показываемые приборами, обладают некоторыми погрешностями. Разница между истинной величиной и величиной, показываемой прибором, называется погрешностью, или ошибкой прибора. Чтобы правильно учитывать погрешности, необходимо знать принцип работы приборов, их устройство и конструктивные особенности.

ИЗМЕРЕНИЕ КУРСА ПЛАНЕРА

Для определения и выдерживания курса в кабине планера устанавливают магнитный компас. Принцип действия магнитного компаса основан на использовании магнитного поля Земли, действие которого воспринимается чувствительным элементом компаса. Чтобы правильно пользоваться магнитным компасом, необходимо иметь представление о характере магнитного поля Земли и его изменении во времени и в пространстве.

Магнитное поле Земли

Многочисленными наблюдениями и исследованиями установлено, что земной шар обладает магнитным полем, аналогичным полю гигантского магнита, помещенного внутри земного шара. Магнитное поле Земли в любой ее точке характеризуется вектором магнитной напряженности T (рис. 18).

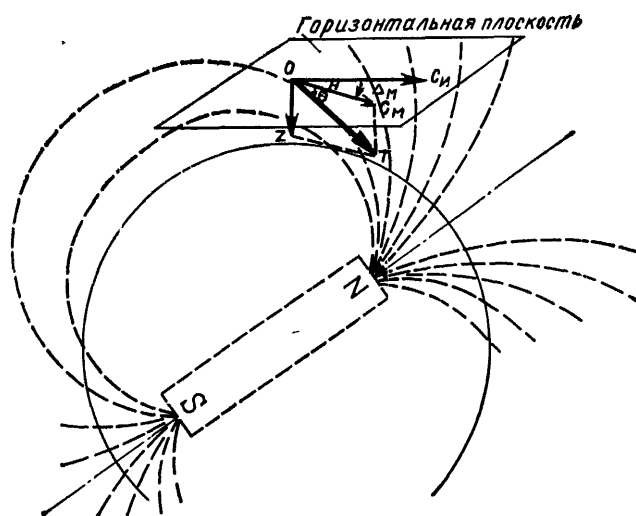


Рис. 18. Силы земного магнетизма

Вектор T направлен по касательной к магнитным силовым линиям и в каждой точке земной поверхности располагается под некоторым углом к горизонту и к истинному меридиану, а его величина возрастает по мере приближения к Северному и Южному магнитным полюсам.

Состояние магнитного поля Земли характеризуется напряженностью, склонением и наклонением.

Из курса физики известно, что напряженность магнитного поля имеет определенную величину и направление, т. е. является вектором. Этот вектор называется полной силой земного магнетизма T . Полная сила земного магнетизма (см. рис. 18) направлена под некоторым углом к горизонту. Ее можно разложить на составляющие: горизонтальную H и вертикальную Z .

Угол θ , составленный полной силой земного магнетизма T и ее горизонтальной составляющей H (см. рис. 18), называется магнитным наклонением.

Магнитное наклонение увеличивается по мере приближения к полюсам, на которых оно равно 90° , т. е. в месте расположения магнитного полюса Земли магнитная стрелка с горизонтальной осью вращения располагается вертикально.

В средних широтах СССР магнитное наклонение равно около 70° . Для устранения наклона стрелки центр ее тяжести смещают ниже точки опоры.

Направление горизонтальной составляющей H , по которому устанавливается магнитная стрелка, называется магнитным меридианом данного места.

Так как магнитный и географический (истинный) меридианы не совпадают по направлению, то между ними образуется угол. Угол между магнитным и истинным меридианами называется магнитным склонением и обозначается Δ_M .

Магнитное склонение может быть восточным и западным. Если северный конец магнитной стрелки отклоняется на восток от истинного меридиана, то склонение восточное. Восточное склонение обозначают знаком «+». Если северный конец магнитной стрелки отклоняется на запад от истинного меридиана, то склонение западное. Западное склонение обозначают знаком «—» (рис. 19).

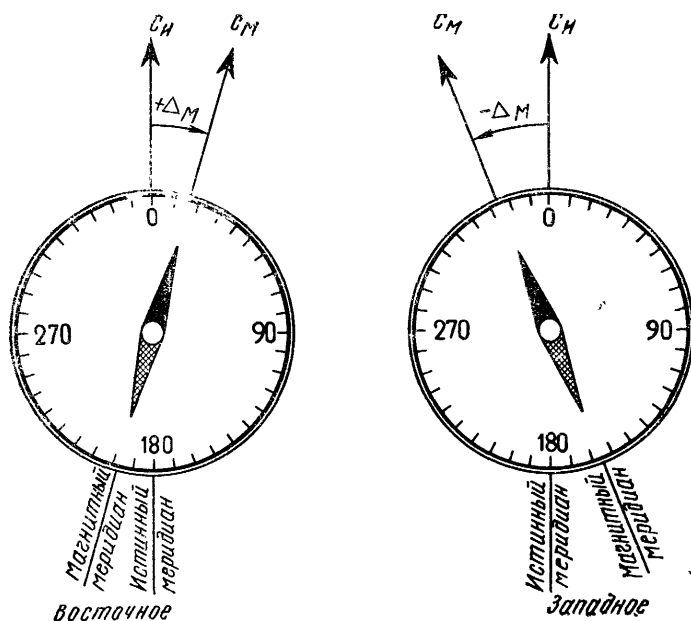


Рис. 19. Магнитное склонение

Направление полета измеряют по карте (от истинного меридиана). В то же время для выдерживания направления полета приходится пользоваться магнитной стрелкой, направленной вдоль магнитного меридиана. Поэтому, если не учесть магнитного склонения, заданное направление полета будет выдержано с ошибкой на величину магнитного склонения.

Магнитное склонение в данной точке определяют на полетной карте. На карте нанесены изогоны — линии равных магнитных склонений. Изогоны наносят на полетных картах через каждый градус магнитного склонения.

С течением времени магнитное поле Земли изменяется. Эти изменения обуславливаются причинами космического, геологического и атмосферного происхождения и носят название магнитных вариаций.

Изменения магнитного склонения бывают вековые, годовые и суточные. Суточные изменения магнитного склонения в средних широтах имеют сравнительно небольшую величину (до $\pm 5'$). В широтах свыше 67° они резко увеличиваются вследствие магнитных возмущений, происходящих на больших широтах. Годовые изменения имеют весьма незначительную величину. Под действием вековых изменений магнитное склонение ежегодно изменяется на несколько минут.

Таким образом, определяя по карте магнитное склонение, следует учитывать год издания карты и пользоваться картами более позднего издания.

Кроме изогон, на полетных картах обозначают магнитные аномалии — районы, где наблюдается резкое изменение элементов земного магнетизма. Магнитное склонение у поверхности Земли в этих районах может достигать $\pm 180^\circ$. Магнитные аномалии связаны с залежами магнитных руд в недрах Земли. С увеличением высоты полета действие магнитной аномалии на магнитный компас ослабевает, прекращаясь полностью на высоте 5—8 км.

Магнитный компас планера «Бланик»

На планере «Бланик» установлен компас типа ЛУН-1222 (до 21-й серии) или ЛУН-12221 (с 22-й серии) (рис. 20 и 21).

Основная часть прибора — картушка (см. рис. 21), состоящая из поплавка 1, к которому прикреплены два цилиндрических магнита 2 и шкала 4. Магниты закреплены таким образом, что они параллельны между собой и симметричны по отношению к шпильке 20, проходящей через центр поплавка.

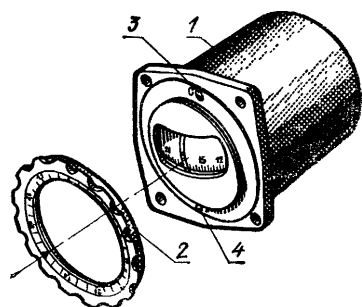


Рис. 20. Внешний вид компаса ЛУН-1222:

1 — корпус компаса; 2 — курсовая шкала; 3, 4 — винты устранения девиации

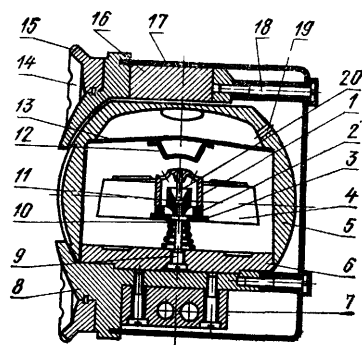


Рис. 21. Разрез компаса ЛУН-1222:

1 — поплавок; 2 — магниты; 3 — круглая пластина; 4 — шкала; 5 — котелок; 6 — дно котелка; 7, 16 — девиационный прибор; 8 — фланец; 9 — стойка; 10 — колонка; 11 — топка; 12 — ограничитель; 13 — перегородка; 14 — пружина; 15 — курсовая шкала; 17 — корпус; 18 — винт; 19 — пробка заправочного отверстия; 20 — шпилька

Шпилька 20 опирается на топку 11 и является центром вращения картушки. От соскакивания картушки с колонки 10 предохраняет ограничитель 12. Картушка амортизируется эластичной колонкой 10, которая может перемещаться на стойке 9.

Шкала 4 прикреплена к поплавку 1 и отградуирована через 5° . Оцифровка сделана через 30° . На курсовой шкале главные курсы $0, 90, 180$ и 270° обозначены буквами *N, E, S, W*, что означает «север», «восток», «юг», «запад».

Картушка находится в прозрачном котелке, заполненном лигроином. На внешней и внутренней поверхностях передней стенки котелка нанесена курсовая черта, которая служит индексом при отсчете курса по компасу.

Магниты картушки компаса так же, как и свободно подвешенная стрелка, стремятся стать своими продольными осями вдоль магнитного меридиана. Причем северный конец магнитов направляется в сторону северного магнитного полюса. Картушка компаса, будучи отклонена какими-либо внешними силами от направления магнитного меридиана, после прекращения действия этих сил будет стремиться под воздействием горизонтальной составляющей магнитного поля Земли снова возвратиться к прежнему направлению.

Девиация магнитного компаса

На магнитный компас, установленный на планере, кроме магнитного поля Земли, действует магнитное поле, создаваемое ферромагнитными деталями планера. В результате действия магнитных полей планера стрелка компаса отклоняется от магнитного меридиана. Направление, по которому устанавливается магнитная стрелка компаса на планере, называется компасным меридианом. Угол, на который магнитная стрелка отклоняется от магнитного меридиана под действием магнитного поля планера, т. е. угол между магнитным и компасным меридианами, называется девиацией A_k (рис. 22).

Если северный конец стрелки компаса отклоняется к востоку, девиация положительная и обозначается знаком «+»; если северный конец стрелки компаса отклоняется к западу от магнитного меридиана, девиация отрицательная и обозначается знаком «—».

Ферромагнитные детали планера по их магнитным свойствам условно разделяют на две группы: твердое железо и мягкое железо. К твердому железу относятся те детали, которые, будучи однажды намагничены, сохраняют свою намагниченность длительное время, т. е. такие детали аналогичны постоянным магнитам. Очевидно, магнитное поле, создаваемое твердым железом, постоянно, вектор напряженности этого поля не изменяет своего положения относительно планера. К мягкому железу относятся такие детали планера, которые быстро намагничиваются в слабых магнитных полях, в таких, например, как магнитное поле Земли, и быстро перемагничиваются, если изменить магнитное поле или положение детали относительно магнитного поля.

Магнитное поле, создаваемое мягким железом планера, будет переменным, т. е. при изменении положения планера в пространстве (при изменении, курса, крена) вектор напряженности, этого поля изменяется как по величине, так и по направлению относительно планера.

Сила постоянного магнитного поля планера создает так называемую полукруговую девиацию. При изменении курса планера от 0 до 360° полукруговая девиация дважды достигает максимальной величины (с разными знаками) и дважды принимает нулевое значение на курсах, отличающихся друг от друга на 180°.

Сила переменного магнитного поля создает четвертную девиацию. При изменении курса на 360° четвертная девиация четыре раза меняется по величине от нуля до максимума и по знаку.

Полукруговая девиация, если ее не устранять, может достигать величины 10° и более. Устраняют полукруговую девиацию небольшими магнетиками, вмонтированными в девиационном приборе компаса, создавая магнетиками силы, равные по величине силам твердого железа, но противоположные по направлению.

На компасах, установленных на планере «Бланик», полукруговую девиацию устраняют вращением диамагнитной отверткой винтов 3 и 4 на компасе ЛУН-1222 (см. рис. 20) или вращением винтов 4 и 5 на компасе ЛУН-1222.1 (рис.23).

После устранения полукруговой девиации определяют так называемую остаточную девиацию. Ее наносят на график, который устанавливают в кабине планера, и учитывают в полете.

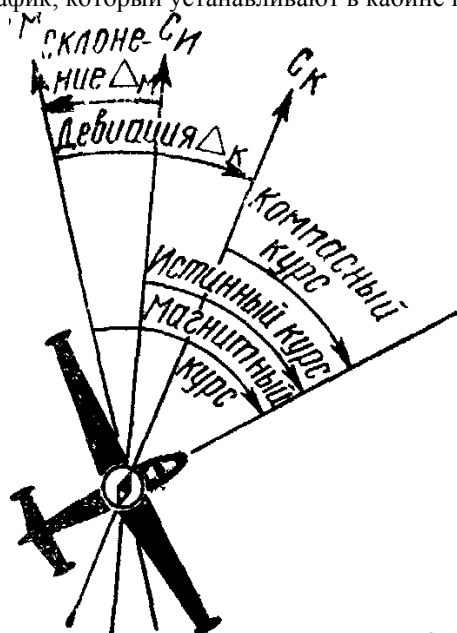


Рис. 22. Истинный, магнитный и компасный курс планера

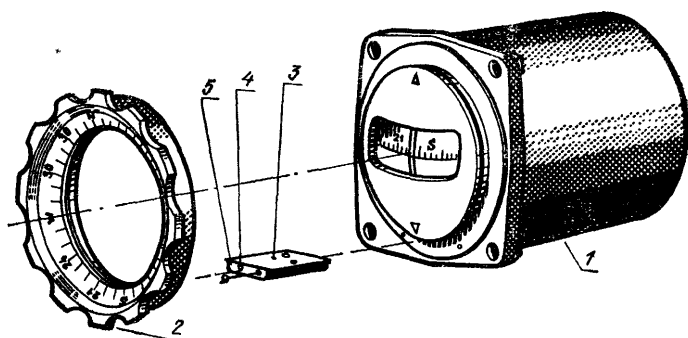


Рис. 23. Внешний вид компаса ЛУН-1222.1:
1 — корпус компаса; 2 — курсовая шкала; 3 — девиационный прибор; 4, 5, — винты устранения девиации

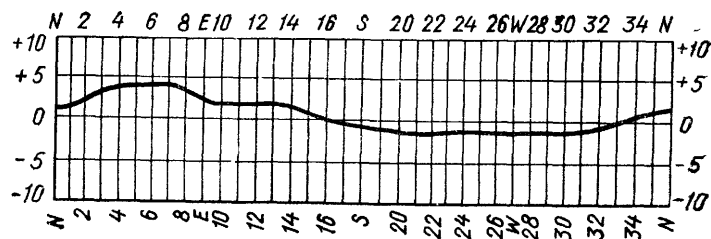


Рис. 24. График девиации

Проведение девиационных работ требует точной установки планера на заданные магнитные курсы. Для этого применяют специальный прибор — девиационный пеленгатор. Порядок подготовки к девиационным работам и их выполнение определяются специальной инструкцией.

Порядок выполнения девиационных работ на компасах ЛУН-1222 и ЛУН-1222.1 заключается в следующем:

1. Планер устанавливают на магнитный курс 0° . Вращением диамагнитной отверткой винта 3 (см. рис. 20) или винта 5 (см. рис. 23), обозначенного буквой С, доводят девиацию до 0° .
2. Планер устанавливают на магнитный курс 90° . Вращением винта 4 (см. рис. 20 и 23), обозначенного буквой В, доводят девиацию до 0° .
3. Планер устанавливают на магнитный курс 180° . Вращением винта С девиацию уменьшают до половины ее значения.
4. Планер устанавливают на магнитный курс 270° . Вращением винта В девиацию уменьшают до половины ее значения.
5. Планер устанавливают поочередно на магнитные курсы $0, 45, 90, 135, 180, 225, 270$ и 315° . На каждом указанном курсе определяют и записывают остаточную девиацию. По данным остаточной девиации составляют график девиации (рис. 24), который устанавливают в кабине планера.

При решении задач планерождения необходимо твердо знать, от какого меридиана измеряется курс и правила перевода курсов. Поэтому дадим определения курсам планера (см. рис.22).

Истинным курсом (ИК) называется курс, отсчитанный от истинного (географического) меридиана; магнитным курсом (МК) — отсчитанный от магнитного меридиана; компасным курсом (КК) — отсчитанный от компасного меридиана.

Между собой курсы находятся в следующей зависимости:

$$\begin{aligned}
 ИК &= МК + (\pm \Delta_M); \quad МК = ИК - (\pm \Delta_M); \quad МК = КК + (\pm \Delta_K); \quad КК = МК - (\pm \Delta_K); \\
 ИК &= КК + (\pm \Delta_K) + (\pm \Delta_M); \quad КК = ИК - (\pm \Delta_M) - (\pm \Delta_K).
 \end{aligned}$$

Перевод курсов, т. е. учет магнитного склонения и девиации, производится по следующему правилу:

при расчете истинной величины (идешь от прибора) $ИК = КК + (\pm \Delta_K) + (\pm \Delta_M)$ знак поправки не меняется (алгебраическое сложение);

при расчете приборной величины (идешь к прибору) $КК = ИК - (\pm \Delta_M) - (\pm \Delta_K)$ знак поправки изменяется на обратный (алгебраическое вычитание).

Пример 1. Определить истинный курс, если $МК = 70^\circ$, $\Delta_M = +5^\circ$.

Решение: $ИК = 70^\circ + (+5^\circ) = 75^\circ$.

Пример 2. Определить магнитный курс, если $ИК = 90^\circ$, $\Delta_M = -6^\circ$.

Решение: $МК = 90^\circ - (-6^\circ) = 96^\circ$.

Пример 3. Определить магнитный курс, если $КК = 137^\circ$, $\Delta_K = -4^\circ$

Решение: $МК = 137^\circ + (-4^\circ) = 133^\circ$.

Пример 4. Определить компасный курс, если $МК = 257^\circ$, $\Delta_K = +5^\circ$.

Решение: $КК = 257^\circ - (+5^\circ) = 252^\circ$.

Пример 5. Определить истинный курс, если $КК = 140^\circ$, $\Delta_M = +10^\circ$, $\Delta_K = -3^\circ$.

Решение: $ИК = 140^\circ + (+10^\circ) + (-3^\circ) = 147^\circ$.

Пример 6 Определить компасный курс, если $ИК = 250^\circ$, $\Delta_M = -5^\circ$, $\Delta_K = +4^\circ$.

Решение: $КК = 250^\circ - (-5^\circ) - (+4^\circ) = 251^\circ$.

Ошибки компаса в полете

В полете на магнитный компас действуют дополнительные силы, которые при определенных условиях

вызывают колебания картушки и ошибки в показаниях компаса.

При прямолинейном пологом планировании без колебаний и ускорений, когда планер и картушка компаса находятся в одной плоскости (близкой к горизонтальной), компас дает правильные показания компасного курса.

При кренах планера без ускорений вокруг поперечной или продольной оси картушка компаса остается в горизонтальном положении, а постоянное магнитное поле планера поворачивается вместе с планером на угол крена (α или β , рис. 25)

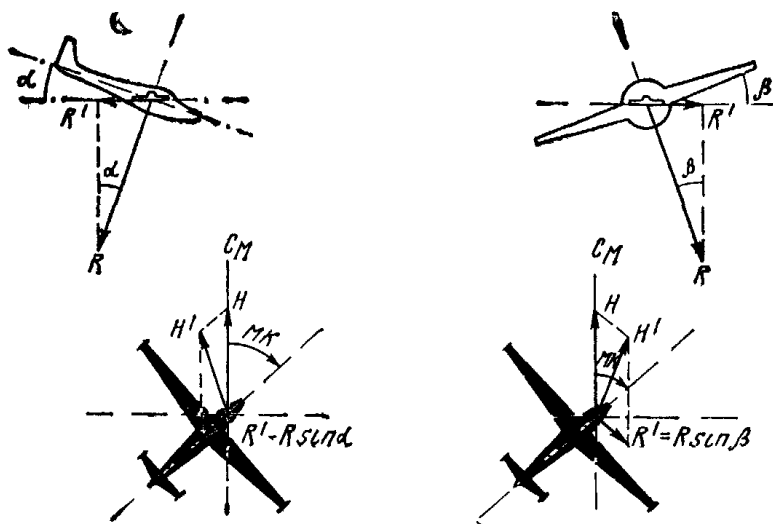


Рис. 25 Действие сил, вызывающих креновую девиацию

Вертикальная составляющая силы планерного магнетизма R дает проекцию на плоскость картушки R' и вызывает ошибку в показаниях компаса, называемую креновой девиацией.

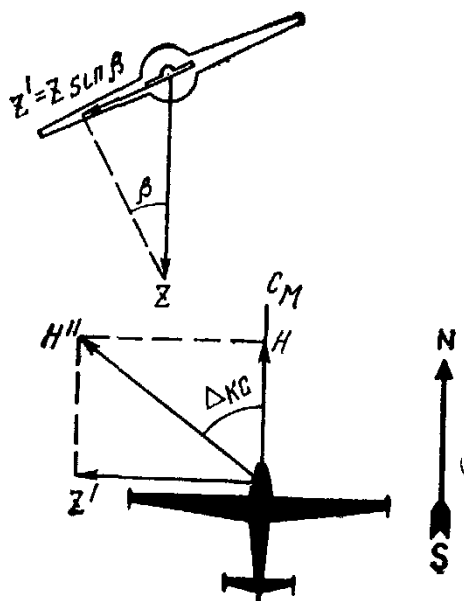
Если возникает креновая девиация, то магнитная система компаса устанавливается в направлении равнодействующей силы H' , полученной в результате сложения горизонтальной составляющей силы земного магнетизма H и рассмотренной выше силы R' (см. рис.25).

При продольных кренах сила R' направлена вдоль планера (см. рис. 25), и поэтому наибольшая величина креновой девиации будет на курсах 90 и 270° . Поперечные крены в прямолинейном полете имеют переменный знак (в болтанку) и кратковременные поэтому креновая девиация от поперечных кренов быстро меняется по величине и знаку и вызывает колебания картушки.

Так как планеру не свойственны полеты с большими продольными кренами, то практически учитывать креновую девиацию нецелесообразно. Величину креновой девиации можно пронаблюдать в полете, если при полете с курсом 90 или 270° изменить угол продольного крена, выдерживая направление полета по удаленному ориентиру. Изменение показаний компаса в этом случае покажет наличие креновой девиации.

При выполнении координированного разворота или спирали картушка вместе с планером наклоняется относительно плоскости горизонта на некоторый угол β . В этом случае вертикальная составляющая силы земного магнетизма Z дает проекцию на плоскость картушки, равную $Z' = Z \sin \beta$ (рис. 26), и вызывает ошибку в показаниях компаса, которая называется северной поворотной ошибкой, обозначенной на рис. 26 $\Delta_{кс}$.

Рис. 26. Действие сил, вызывающих северную поворотную ошибку



Северная поворотная ошибка имеет сложную зависимость от курса и угла крена планера. При развороте она изменяется по величине и знаку. Поэтому угол разворота планера необходимо контролировать по времени разворота и земным ориентирам. Через 15—20 с прямолинейного полета после разворота необходимо проконтролировать правильность взятого курса по компасу и, если он не равен заданному, выполнить доворот планера.

С разворотом планера связано увлечение картушки компаса жидкостью. При развороте планера, вследствие трения жидкости о стенки котелка компаса, она начинает вращаться и увлекает за собой картушку. Поэтому после энергичного и длительного разворота или спирали картушка отклоняется от направления меридиана, и компас показывает курс с ошибкой. Через 15—20° после окончания разворота (в прямолинейном полете) влияние увлечения полностью прекращается, и компас показывает правильный курс.

Так как центр тяжести картушки смещен относительно точки ее опоры (для устранения наклона картушки под действием силы Z), то кратковременные ускорения планера (болтанка) вызывают колебания в показаниях компаса, величина которых зависит от условий полета (турбулентности атмосферы). Поэтому при полете в неспокойной атмосфере (болтанке) показания компаса неустойчивы. В этом случае курс планера следует выдерживать, ориентируясь по находящимся впереди на значительном удалении от планера ориентирам или облакам, а правильность выдерживания курса определять по среднему значению показаний компаса.

ИЗМЕРЕНИЕ ВЫСОТЫ ПОЛЕТА

Для определения высоты полета в кабине планера устанавливают барометрический высотомер. Принцип его работы основан на закономерности изменения атмосферного давления с переменной высоты.

Чувствительным элементом высотомера, реагирующим на изменение статического (атмосферного) давления воздуха, является батарея из двух анероидных коробок, из которых выкачан воздух. На анероидную коробку действуют две силы: сила атмосферного давления, стремящаяся сжать коробку, и сила упругости мембраны коробки, препятствующая этому сжатию (рис. 27).

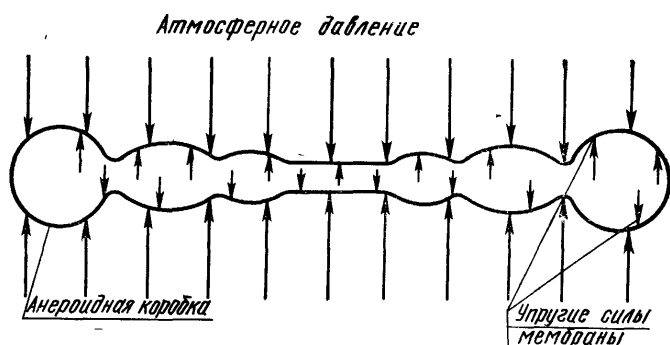


Рис. 27. Силы, действующие на анероидную коробку

На поверхности Земли, где атмосферное давление имеет наибольшую величину, анероидная коробочка сжата — имеет максимальный прогиб. Величина прогиба зависит от атмосферного давления. При поднятии коробочки над поверхностью Земли с уменьшением атмосферного давления под действием упругих сил мембран коробочка будет расширяться и ее прогиб будет уменьшаться.

С помощью передающего механизма поступательное движение центра анероидной коробочки преобразуется во вращательное и передается на стрелку, указывающую на шкале прибора отсчет высоты полета.

На рис. 28 показана простейшая принципиальная схема барометрического высотомера, состоящая из четырех основных узлов: чувствительного элемента, передающего механизма, шкалы и корпуса прибора. Из схемы видно, что при поступательном движении жесткого центра коробочки 1 тяга 2 поворачивает стрелку 3.

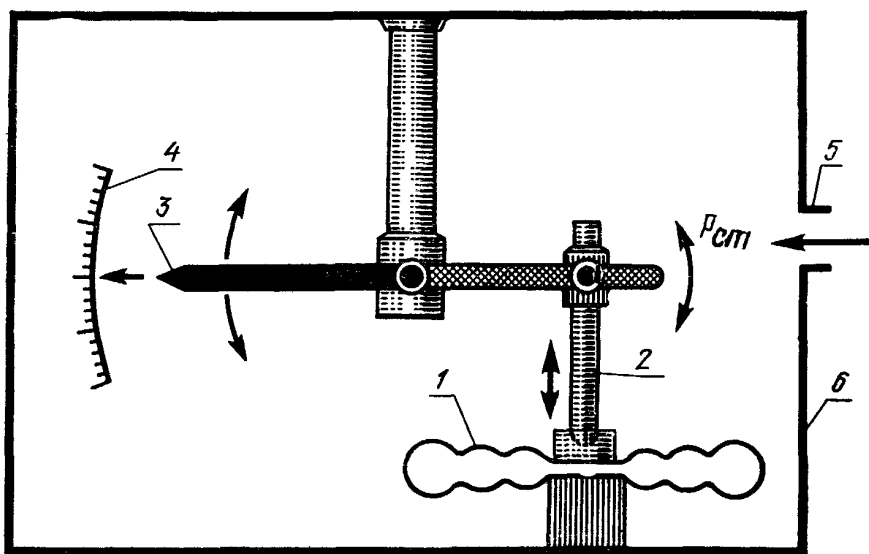


Рис. 28. Принципиальная схема барометрического высотомера:

1 — анероидная коробочка; 2 — тяга; 3 — стрелка; 4 — шкала; 5 — штуцер; 6 — корпус

Высотомер ЛУН-1121.01*

* Высотомер ЛУН-1121.01 по принципу работы и конструкции не отличается от других высотомеров, устанавливаемых на планерах.

Устройство высотомера. Шкала высот рассчитана на измерение высоты до 10000 м. Цена деления шкалы высот для большой стрелки — 10м, для малой — 100м (рис.29).

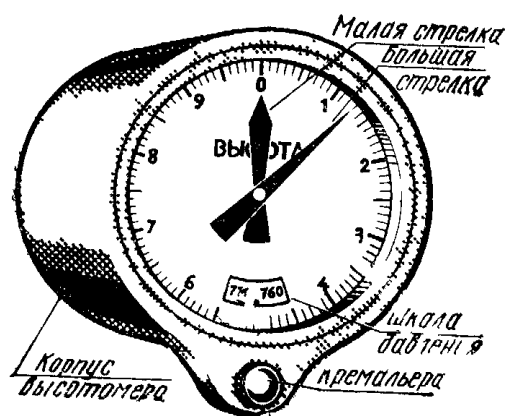


Рис. 29. Двухстрелочный высотомер

На шкале имеются две подвижные стрелки — большая и малая; первая делает оборот за 1000 м высоты, вторая — один оборот за 10000 м. В нижней части шкалы сделан вырез для отсчета давления атмосферы, устанавливаемого на высотомере. В нижней части корпуса находится кремальера, с помощью которой устанавливается давление атмосферы.

В качестве чувствительного элемента служит двойная анероидная коробка 1 (рис. 30).

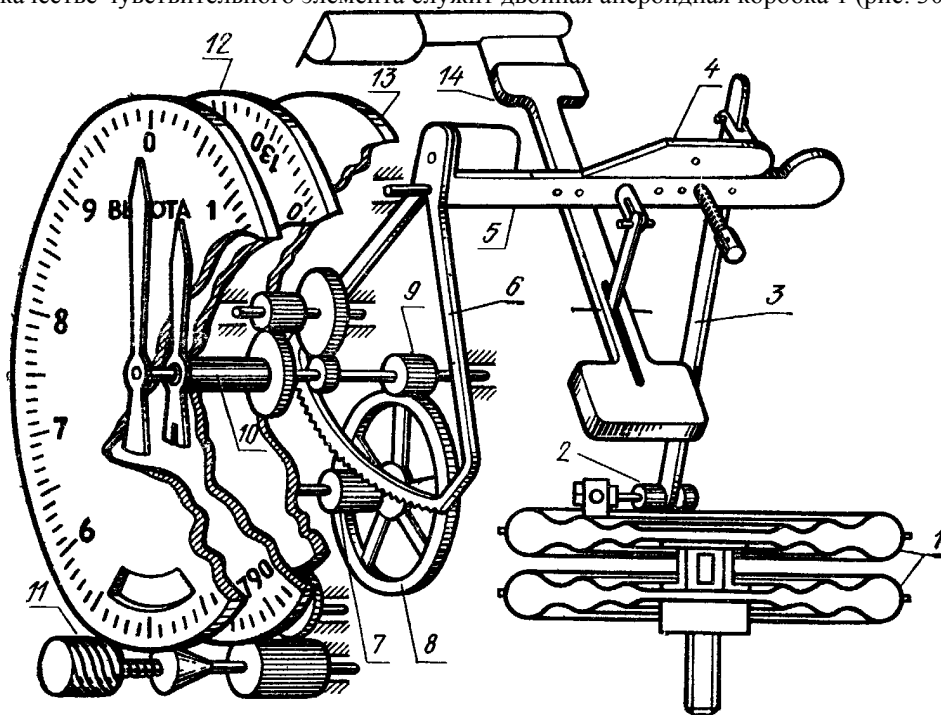


Рис 30 Кинематическая схема двухстрелочного высотомера:
 1 — анероидные коробки; 2 — валик с биметаллической пластинкой, 3 — тяга, 4 — биметаллическая пластинка, 5 — валик, 6 — сектор, 7 — трибка, 8 — большая шестерня, 9 — малая шестерня, 10 — ось, 11 — кремальера, 12 — шкала барометрического давления, 13 — основание, 14 — пружинный противовес

Передачный механизм прибора состоит из шарнирной передачи, сектора с трибкой, пары цилиндрических шестерен и набора из четырех цилиндрических шестерен. При уменьшении внешнего давления (с подъемом на высоту) анероидная коробка 1 расширяется и посредством тяги 3 поворачивает валик 5 с сектором 6. Сектор 6 вращает трибку 7 с большой шестерней 8, сцепленной с малой шестерней 9. На оси малой шестерни 9 укреплена большая стрелка. Малая стрелка укреплена на полой оси 10, связанной с осью большой стрелки через шестерни с передаточным числом 1 : 10. Механизм снабжен температурными компенсаторами.

Для устранения ошибок, связанных с влиянием наклонов и вибраций прибора, служит пружинный противовес 14, уравнивающий анероидную коробку 1. Для перевода стрелок предназначена кремальера 11, с помощью которой одновременно поворачивается основание 13 и шкала барометрического давления 12. На шкале барометрического давления нанесены деления в диапазоне от 670 до 790 мм рт.ст.; цена деления равна 1 мм рт.ст.

Корпус высотомера делается герметичным, т. е. непроницаемым для воздуха. В задней части корпуса имеется штуцер, который при помощи трубопровода соединяется со статической камерой приемника воздушных давлений. Этим обеспечивается давление в корпусе, соответствующее атмосферному давлению на высоте полета.

Отсчет показаний высотомера. Десятки и сотни метров отсчитываются по большой стрелке (более тонкой), а тысячи — по малой. Одно большое деление при отсчете по большой стрелке равно 100 м, а малое деление — 10 м. При отсчете показаний малой стрелки учитывают только целые тысячи метров (одно большое деление соответствует тысяче метров). На рис. 31,а,б показания высотомера равны 90 и 2600 м.

Барометрическое давление отсчитывают против индекса на шкале.

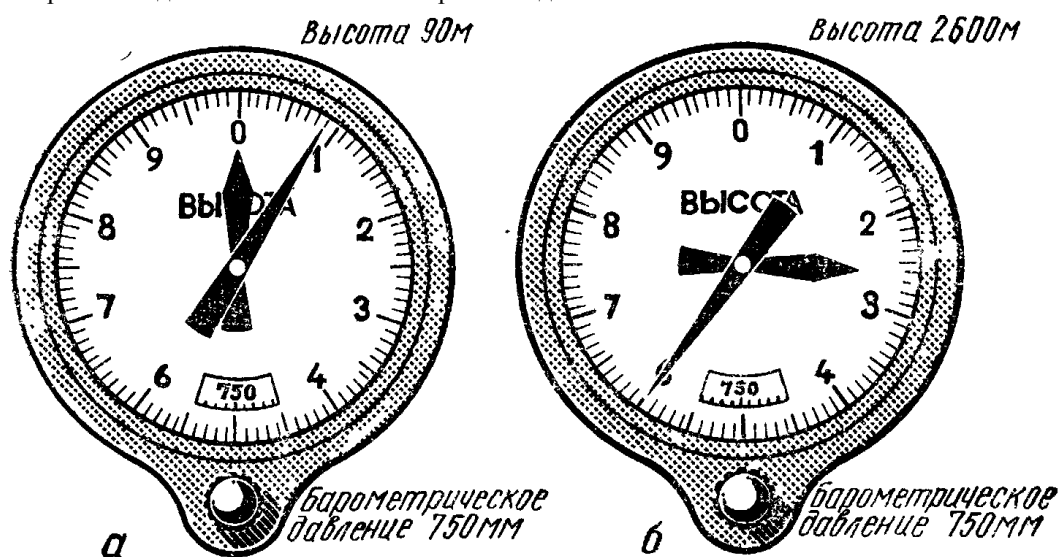


Рис. 31. Отсчет показаний высотомера:

а — по большой стрелке; **б** — по малой и большой стрелкам

На рис. 31 барометрическое давление равно 750 мм рт.ст.

Перед взлетом обе стрелки высотомера устанавливаются на «0» шкалы поворотом кремальеры в соответствующую сторону до совпадения стрелок с «0» шкалы. Установив стрелки высотомера на нуль шкалы, необходимо сверить показания барометрического давления на высотомере с фактическим атмосферным давлением на аэродроме взлета. Если показания барометрического давления на высотомере расходятся с фактическим атмосферным давлением более чем на 1,5 мм рт.ст., то высотомер необходимо заменить.

Устанавливать давление на шкале высотомера путем отворачивания стопорной гайки кремальеры не разрешается.

Ошибки барометрического высотомера

Барометрическому высотомеру свойственны инструментальные и методические ошибки.

Инструментальные ошибки ($\Delta H_{ин}$) вызваны недостатками конструкции прибора и неточностью его изготовления. Инструментальные ошибки для соответствующих показаний высотомера определяют и заносят в график поправок показаний высотомера.

Для определения величины инструментальных ошибок прибор периодически (через три месяца) проверяют на специальных установках. Величину инструментальных ошибок записывают, заносят в специальные графики и укрепляют их в кабине планера.

Пользование графиком поправок высотомера в полете. Если высотомер показывает высоту полета без учета инструментальной ошибки, то такую высоту принято называть приборной высотой полета — $H_{пр}$. Для того чтобы исправить высоту на инструментальную ошибку прибора $\Delta H_{ин}$, необходимо к показанию высотомера алгебраически прибавить инструментальную поправку, взятую из графика (рис.32).

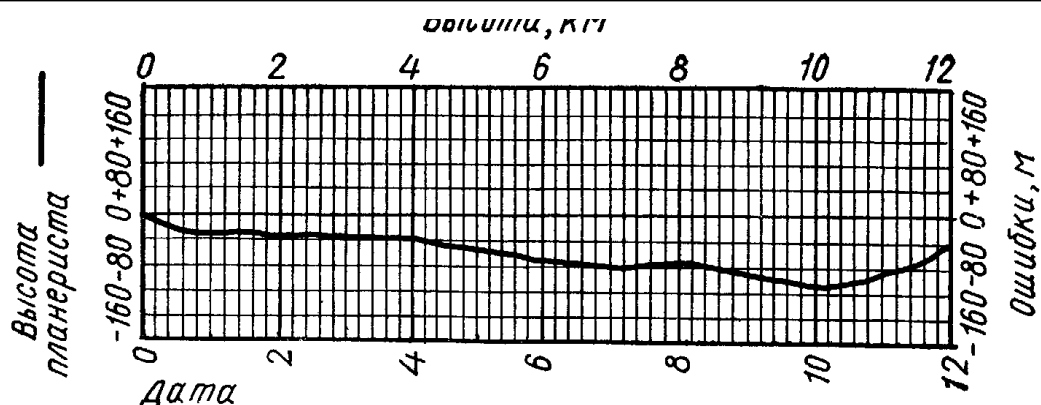


Рис 32 График инструментальных ошибок высотомера

Например, высотомер показывает 1500 м, инструментальную ошибку находим в графике против высоты 1500 м, которая отсчитывается по внешней вертикальной колонке (вверх с «+», вниз с «—»). Ошибка прибора для этой высоты равна —30 м. Следовательно, исправленная высота на инструментальную поправку равна $1500 \text{ м} + (-30 \text{ м}) = 1470 \text{ м}$.

Методические ошибки возникают от несовпадения данных (атмосферного давления и температуры воздуха), принятых при расчете шкалы прибора, с фактическим состоянием атмосферы.

У барометрических высотомеров насчитывается три методические ошибки: от изменения атмосферного давления; температурная; от изменения рельефа местности.

Ошибка от изменения атмосферного давления возникает вследствие не учета фактического давления у Земли в районе пролетаемой местности. Атмосферное давление у поверхности Земли не всегда одинаково и меняется в среднем в пределах 730—790 мм рт.ст. В один и тот же момент времени в различных точках земного шара наблюдается различное атмосферное давление. Это обстоятельство имеет серьезное значение при полетах на большие расстояния.

Предположим, что перед планеристом стоит задача совершить перелет из точки *A* в точку *B*. В момент вылета давление у земли ρ_0 в точке *A* было 760 мм рт.ст., а в точке *B*, находящейся от *A* на расстоянии нескольких сот километров, — 740 мм рт. ст. (рис.33).

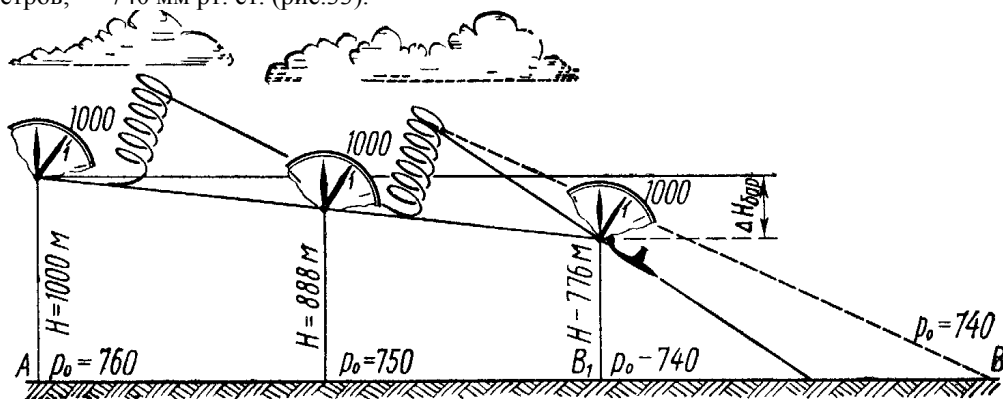


Рис 33 Ошибки, вызываемые изменением атмосферного давления

Перед вылетом спортсмен установил стрелки высотомера на нуль, затем взлетел и стартовал на высоте 1000 м.

При выполнении парящего маршрутного полета планерист, используя восходящие потоки, ниже 1000 м по прибору не снижался и на последнем участке маршрута в точке *B* рассчитал, что с высоты 1000 м долетит до аэродрома посадки. Вследствие того, что давление атмосферы в точке *B* было меньше давления на аэродроме вылета, фактическая высота оказалась меньше расчетной на величину барометрической поправки ($\Delta H_{бар}$) и планерист, не встретив более восходящего потока, вынужден садиться, не долетев до аэродрома посадки.

Таким образом, при полете от области высокого атмосферного давления на поверхности земли к области низкого давления высотомер показывает высоту более действительной на величину барометрической поправки.

При полете от области низкого давления к области высокого прибор показывает высоту менее действительной на величину барометрической поправки.

Во избежание ошибок планерист должен знать атмосферное давление у Земли в районе места посадки и устанавливать его на высотомере. Это давление определяют по синоптическим картам или запрашивают в полете по радио.

Температурная методическая ошибка (ΔH_t) возникает вследствие отклонения фактической температуры воздуха от стандартной в слое измеряемой высоты.

Метод барометрического измерения высоты основан на законе падения давления воздуха с увеличением высоты. С увеличением высоты атмосферное давление уменьшается по определенному закону, связанному с законом изменения температуры воздуха. Температура воздуха непрерывно понижается с подъемом на высоту до нижней границы стратосферы. Величина, на которую понижается температура на каждый километр высоты, называется вертикальным температурным градиентом (t_{zp}).

Зная температуру у Земли, можно приближенно определить температуру на высоте (до 11 км) по формуле:

$$t_H \approx t_0 - t_{zp}H,$$

где t_H — температура на высоте;

t_0 — температура у Земли;

H — высота, км или м;

t_{zp} — температурный градиент, градусы на 1 км или десятые градуса на 100 м.

Шкала барометрического высотомера рассчитана для условий международной стандартной атмосферы, при которой давление у Земли на уровне моря принято равным 760 мм рт. ст., температура воздуха + 15°C и температурный градиент 6,5° на 1 км.

Если температура у Земли и температурный градиент отличаются от стандартных условий, то высотомер будет иметь температурную методическую ошибку.

Температурную методическую ошибку учитывают с помощью навигационной линейки НЛ-10 (см. приложение 2, п. 6).

Температурную поправку ΔH_t можно определить по приближенной формуле:

$$\Delta H_t = \frac{t_0 - 15^\circ}{300} \cdot H_{np},$$

где t_0 — фактическая температура у Земли;

H_{np} — высота по прибору.

Поправку ΔH_t прибавляют к показаниям высотомера со знаком, полученным при решении формулы.

В практике считают, что каждые 3° отклонения фактической температуры воздуха от стандартной вызывают ошибку, равную 1% измеряемой высоты.

Ошибка от изменения рельефа местности. При полете над земной поверхностью барометрический высотомер не учитывает рельефа местности. Поэтому для избежания ошибок в расчетах полета и посадки на незнакомую площадку необходимо учитывать поправку на изменение рельефа местности (ΔH_p). Поправку на изменение рельефа местности определяют по полетной карте:

$$\Delta H_p = H_p - H_{aэр},$$

где ΔH_p — превышение рельефа;

H_p — высота посадочной площадки над уровнем моря;

$H_{aэр}$ — высота аэродрома взлета над уровнем моря.

При определении истинной высоты поправку на изменение ΔH_p вычитают из показаний высотомера:

$$H_{ист} = H_{np} - \Delta H_p.$$

Определение истинной высоты ($H_{ист}$)

В маршрутном полете истинную высоту необходимо знать при парении на минимально допустимых высотах и при построении маневра для захода на посадку вне аэродрома.

При определении истинной высоты полета учитывают инструментальную поправку ($\Delta H_{ин}$), температурную методическую ошибку (ΔH_t), поправку на давление ($\Delta H_{бар}$) и рельеф местности (ΔH_p).

Если известно барометрическое давление у Земли в районе пролетаемой местности (аэродрома посадки), то истинную высоту полета находят так:

на высотомере устанавливают давление у Земли;

учитывают инструментальную поправку, взятую из графика, путем алгебраического сложения $\Delta H_{ин}$ с высотой по прибору;

данную исправленную высоту пересчитывают на навигационной линейке НЛ-10 (см. приложение 2, определение $H_{исп}$).

Полученная относительная высота ($H_{отн}$) будет равна истинной высоте полета.

Если давление и температура у Земли в районе пролетаемой местности (посадочной площадки) неизвестны, то в этом случае на высотомере устанавливают давление на аэродроме взлета, учитывают инструментальную поправку, определяют на навигационной линейке $H_{отн}$ и из $H_{отн}$ вычитают поправку на изменение рельефа местности ΔH_p .

Среднеквадратическая ошибка определения высоты вследствие неучета давления к фактической температуре воздуха у Земли на пролетаемой местности или посадочной площадке показана в табл. 1.

Таблица 1

Расстояние, км	150	200	250	300	400	500	600	700	800	900
Высота, м	Среднеквадратическая ошибка, м									
1000	Ме нее 20	Ме нее 20	Ме нее 20	20	30	30	30	40	40	50
2000	>>	>>	20	30	30	30	30	40	50	50
3000	>>	20	20	30	30	40	40	40	50	60
4000	20	30	30	30	40	40	40	50	50	60

Пример 1. Дано: $H_{np} = 2000$ м, температура у Земли $t_0 = + 25^\circ$, температурный градиент $t_{zp} = 0,8^\circ$ на 100 м, $\Delta H_{ин} = - 40$ м, $\Delta H_p = 0$. Вычислить $H_{исп}$.

Решение. 1. Определяем $H_{испр}$, учитывая инструментальную поправку по формуле

$$H_{испр} = H_{np} + (\pm H_{ин}) = 2000 + (- 40) = 1960 \text{ м}$$

2. Вычисляем температуру воздуха на высоте (t_H):

$$t_H = t_0 - t_{zp} H_{np} = 25 - 0,8 \cdot 2000 = 9^\circ$$

3. На НЛ-10 рассчитываем $H_{отн}$ (она будет равна $H_{исп}$, так как $\Delta H_p = 0$):

$$H_{отн} = 2020 \text{ м}$$

Пример 2. Дано: $H_{np} = 1500$ м, $t_0 = 18^\circ$, $t_{zp} = 0,7^\circ$ на 100 м, $\Delta H_{ин} = - 30$ м, $\Delta H_p = + 20$ м. Вычислить $H_{исп}$

Решение. 1. Определяем $H_{испр}$:

$$H_{испр} = 1500 + (- 30) = 1470 \text{ м}$$

2. Вычисляем t_H : $t_H = 18 - 0,7 \cdot 1500 = 8^\circ$.

3. Рассчитываем на НЛ-10 $H_{отн}$: $H_{отн} = 1490 \text{ м}$.

4. Узнаем $H_{исп}$: $H_{исп} = H_{отн} - (\pm \Delta H_p) = 1490 - 20 = 1470 \text{ м}$.

Осмотр высотомера перед полетом

Перед полетом высотомер осматривают для определения годности и безотказности его эксплуатации в полете. В результате осмотра высотомера планерист должен убедиться в надежности крепления прибора к приборной доске, во внешней исправности высотомера, целостности стекла, наличии стрелок и безотказности работы механизма кремальеры. Для этого нужно поворотом кремальеры установить стрелки высотомера на нуль шкалы прибора, а если они стоят на нуле, то, вращая в любую сторону кремальеру, проследить за вращением стрелок и шкалы барометрического давления.

Шкала барометрического давления должна показывать давление, равное атмосферному давлению аэродрома; при этом стрелки высотомера должны находиться в нулевом положении шкалы.

УКАЗАТЕЛЬ ВОЗДУШНОЙ СКОРОСТИ

Указателем воздушной скорости измеряется воздушная скорость полета. Он является одним из важнейших навигационно-пилотажных приборов и должен быть постоянно в исправном состоянии. От правильности его показаний зависит не только успех выполнения различных задач полета, но и безопасность полета.

Принцип действия

На планерах устанавливают приборы, измеряющие воздушную скорость полета аэродинамическим способом. Работа указателя скорости основана на методе измерения давления, создаваемого встречным потоком воздуха при полете планера. Это давление складывается из двух величин, статического давления $p_{ст}$, зависящего от плотности окружающего планер воздуха, и динамического давления $p_{дин}$, которое зависит от скорости полета планера и плотности воздуха ($p_{дин}$ называется также скоростным напором). Сумма этих давлений образует полное давление $p_{полн}$, которое равно:

$$p_{полн} = p_{ст} + p_{дин}.$$

Указанные давления воспринимаются с помощью приемника воздушного давления (ПВД), который представляет собой трубку с двумя камерами — камеры полного и камеры статического давлений (рис. 34).

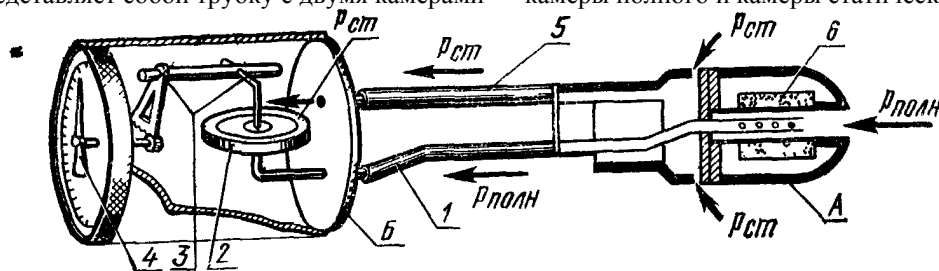


Рис 34 Схема устройства ПВД и указателя воздушной скорости

А — корпус приемника воздушного давления, *Б* — корпус указателя скорости, *1* — трубопровод полного давления, *2* — манометрическая коробка, *3* — передаточный механизм, *4* — стрелка прибора, *5* — трубопровод статического давления, *6* — электрообогреватель ПВД

Камера полного давления открыта навстречу воздушному потоку, она воспринимает в полете полное давление. Камера статического давления через боковые отверстия воспринимает статическое давление на данной высоте полета.

Принципиальная схема устройства ПВД и указателя воздушной скорости показана на рис 34. В качестве чувствительного элемента в указателе скорости используется манометрическая коробка 2, внутренняя полость которой соединена с камерой полного давления ПВД и воспринимает полное давление ($p_{полн}$).

Манометрическая коробка помещена в герметичный корпус прибора *Б*, внутренняя полость которого посредством штуцера и трубопровода 5 соединена с камерой статического давления ПВД. При полете планера возникающая разность давлений ($p_{полн} - p_{ст}$) в манометрической коробке и корпусе прибора вызывает расширение манометрической коробки. Смещение центра верхней поверхности манометрической коробки через систему тяг передаточного механизма 3 передается на стрелку 4. Стрелка по шкале воздушной скорости показывает приборную воздушную скорость $V_{пр}$ в км/ч.

Устройство указателя воздушной скорости ЛУН-1101

ЛУН-1101 предназначен для измерения воздушной скорости в диапазоне от 30 до 400 км/ч. На рис 35 дана передняя часть прибора со шкалой.

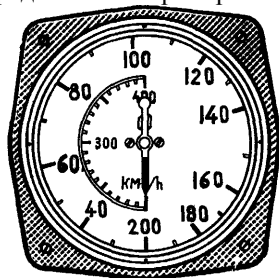


Рис. 35. Шкала указателя скорости ЛУН-1101

Чувствительным элементом прибора является манометрическая коробка 1 (рис. 36), прикрепленная своей

верхней частью к колонке основания 2.

Передающий механизм от манометрической коробки к стрелке состоит из шарнирной передачи и сектора с трибкой. Под действием динамического давления нижняя часть манометрической коробки прогибается и через тягу 3 и кривошип 6 передает движение на ось 11, которая вращается вместе с закрепленным на ней сектором 5, и через трибку 4 вращает стрелку 9 в диапазоне от 30 до 200 км/ч.

При воздушной скорости более 200 км/ч движение стрелки прибора соответственно шкале диапазона от 200 до 400 км/ч обеспечивается тормозной системой, состоящей из тяг 7, 8 и зажима 10, закрепленного на оси 11.

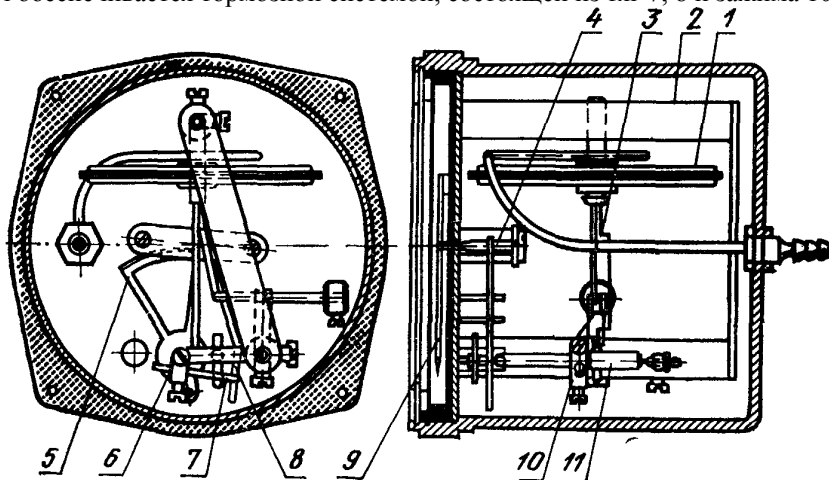


Рис. 36. Разрез указателя скорости ЛУН-1101:

1 — манометрическая коробка; 2 — колонка основания; 3 — тяга передаточного механизма; 4 — трибка; 5 — сектор; 6 — кривошип; 7, 8 — тяги тормозного механизма; 9 — стрелка; 10 — зажим тормозного механизма; 11 — ось передаточного механизма

Каркас механизма изготовлен из легких сплавов и состоит из основания, двух колонок и раскоса. Весь механизм помещен в корпус из бакелита, на задней стенке которого имеются два штуцера. Штуцер, обозначенный буквой *S*, служит для присоединения к нему трубопровода, идущего от статической камеры приемника воздушного давления. К штуцеру, обозначенному буквой *P*, присоединен трубопровод от динамической камеры ПВД.

Для обеспечения герметичности корпуса между шкалой и стеклом вставлено кольцо с резиновым уплотнением.

Ошибки указателя воздушной скорости

Указатель воздушной скорости, подобно другим приборам, имеет погрешности. Ошибки разделяются на две основные группы: инструментальные и методические.

Инструментальные ошибки связаны главным образом с качеством изготовления механизма прибора и качеством материалов, из которых сделаны детали прибора.

Методические ошибки состоят в том, что указателем скорости измеряется не скорость, а скоростной напор. Скоростной напор зависит не только от скорости воздушного потока, но и от плотности воздуха, поэтому показания скорости верны лишь при той плотности, для которой рассчитана шкала (плотность воздуха при давлении 760 мм рт.ст. и температуре + 15°C).

На высоте полета вследствие уменьшения атмосферного давления и понижения температуры плотность воздуха бывает обычно меньше, чем у Земли. Воздушная скорость планера на высоте будет больше воздушной скорости у Земли при одном и том же показании указателя воздушной скорости.

Кроме того, от неправильной установки приемника воздушного давления возникают так называемые аэродинамические ошибки.

Определение истинной воздушной скорости ($V_{ист}$)

Для определения $V_{ист}$ необходимо к показанию прибора $V_{пр}$ алгебраически прибавить инструментальную и аэродинамическую поправки, взятые из графика. Получим исправленную воздушную скорость $V_{испр}$, затем на навигационной линейке НЛ-10 (см. пример, приложение 2) по $V_{испр}$ рассчитывают $V_{ист}$.

Так как высота в маршрутном полете непрерывно изменяется, то будет меняться и истинная воздушная скорость при выдерживании постоянной скорости по прибору. Поэтому при необходимости проведения расчетов задаются средней высотой полета и по ней рассчитывают $V_{ист.сп}$.

Учебно-тренировочные маршрутные полеты на планерах обычно выполняются на средних высотах 900—1500 м. В пределах этих высот величины методических ошибок незначительны и их можно не учитывать. При выполнении дальних переходов с высот более 3000 м, производя прокладку пути, необходимо вычислять и брать в расчет значение $V_{ист.сп}$.

Приближенное значение $V_{ист}$ можно рассчитать в уме. Для этого следует запомнить, что в летнее время прирост скорости на каждые 200 м высоты составляет 1% до высоты 6000 м.

Пример. Дано $H_{np} = 1200$ м, $V_{np} = 100$ км/ч, $\Delta V_{ин} = +2$ км/ч, летом. Определить $V_{ист}$.

Решение. 1. $V_{испр} = V_{np} + (\pm \Delta V_{ин}) = 100 + 2 = 102$ км / ч .

2. Помня указанную выше зависимость, для высоты 1200 м методическая ошибка (ΔV_M , %) будет равна 6%, получим:

$$V_{ист} = V_{испр} + 6 \cdot 0,01 V_{испр} ,$$
$$V_{ист} = 102 + 6 \cdot 0,01 \cdot 102 = 108 \text{ км / ч } .$$

ВАРИОМЕТР

Для измерения вертикальной скорости планера (скорости подъема или снижения) применяют прибор, называемый вариометром. Шкала этого прибора (рис. 37) градуируется в м/с.

Принцип действия

Действие вариометра основано на принципе запаздывания в уравнивании атмосферного давления в корпусе прибора, сообщающегося с атмосферой через капиллярную трубку, и давления внутри манометрической коробки прибора, сообщающейся с камерой статического давления ПВД.

В основе устройства вариометра (см. рис. 37) используется манометрическая коробка 1, внутренняя полость которой сообщается с атмосферой. Коробка имеет очень тонкие мембраны, способные заметно прогибаться при незначительных изменениях давлений. Движение верхнего жесткого центра манометрической коробки передается с помощью тяги 2 зубчатому сектору 3, сцепленному с трибкой 4. Стрелка 5 укреплена на одной оси с трибкой 4 и указывает по шкале 6 скорость подъема или снижения планера. Если планер летит горизонтально, то атмосферное (статическое) давление внутри манометрической коробки 1 и давление внутри корпуса прибора (при условии хорошей герметичности прибора) будут одинаковы и, следовательно, разность между этими давлениями будет равна нулю. В этот момент мембрана манометрической коробки находится в состоянии равновесия, и стрелка прибора устанавливается на нулевой отметке шкалы.

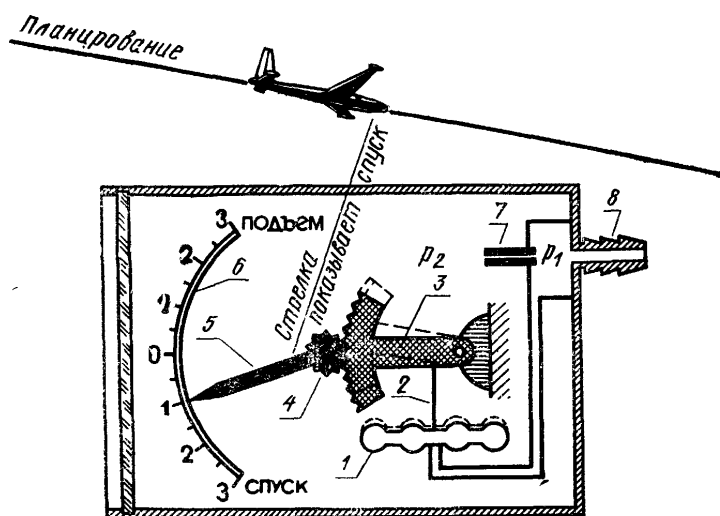


Рис. 37. Принципиальная схема устройства вариометра:
 1 — манометрическая коробка; 2 — тяга; 3 — сектор; 4 — трибка; 5 — стрелка; 6 — шкала; 7 — капилляр; 8 — приемный штуцер

Предположим, что планер, летящий строго горизонтально на буксире за самолетом на некоторой высоте H_1 , которой соответствует статическое давление p_1 , попал в восходящий поток и через одну секунду достигает высоты H_2 , которой соответствует статическое давление p_2 . Так как манометрическая коробка сообщается со статической камерой ПВД через трубку большого сечения, то в полости манометрической коробки почти мгновенно устанавливается давление p_2 , соответствующее новой высоте полета. В то же время в корпусе прибора, полость которого соединяется со статической камерой ПВД через капилляр 7, давление не успеет измениться с такой скоростью, с какой оно меняется внутри манометрической коробки, и поэтому будет отличаться от давления p_2 . При подъеме разность давлений Δp заставит мембраны манометрической коробки сжиматься, и указывающая стрелка прибора остановится на отметке шкалы, соответствующей скорости набора высоты в м/с.

При планировании давление в корпусе будет меньше давления в манометрической коробке, и она будет расширяться, стрелка прибора укажет скорость снижения планера также в м/с.

На планере «Бланик» установлены два вариометра:

ЛУН-1141, измеряющий скорость подъема и снижения в диапазоне ± 5 м/с, и ЛУН-1147, работающий в диапазоне ± 15 м/с (рис. 38).

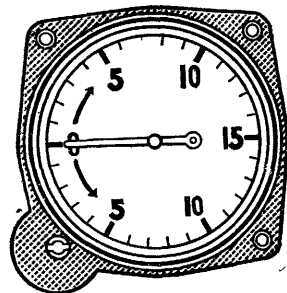


Рис. 38. Вариометр ЛУН-1147

Принцип работы и конструктивная схема вариометра ЛУН-1147 описаны выше (см. рис. 37).

Вариометр ЛУН-1141

Принцип работы вариометра основан на запаздывании изменения статического давления снаружи и внутри прибора с изменением высоты полета. Шкала и механизм ЛУН-1141 показаны на рис. 39.

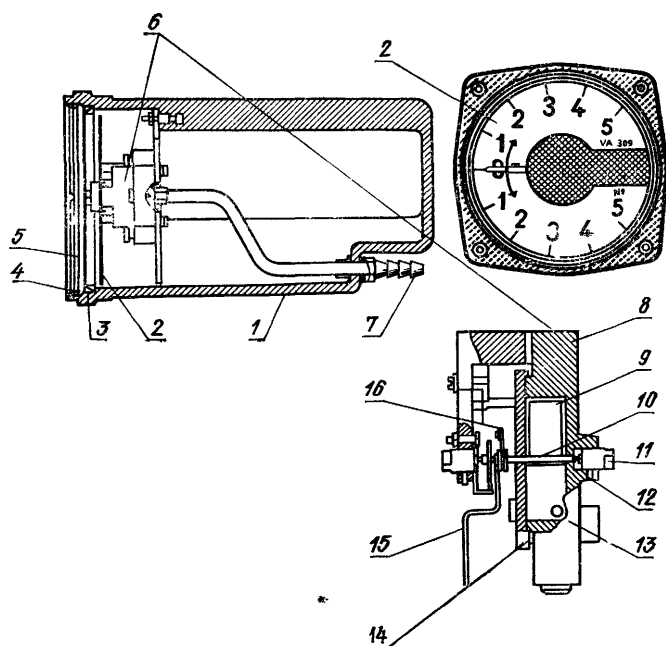


Рис. 39. Вариометр ЛУН-1141:

1 — корпус; 2 — шкала; 3 — резиновое уплотнение; 4 — кольцо; 5 — стекло; 6 — чувствительный элемент; 7 — штуцер статического давления; 8 — цилиндрическая камера; 9 — крыло; 10 — ось; 11 — втулка подшипника; 12 — предохранительный винт; 13 — подвод статического давления; 14 — крышка камеры; 15 — стрелка; 16 — спиральная пружина

Вместо манометрической коробки в данном вариометре чувствительным элементом является крыльевая система, которая состоит из цилиндрической камеры 5 и легкого крыла 9. Крыло закреплено на оси 10 и имеет очень маленький зазор со стенкой цилиндра. Этот зазор играет роль капилляра. Камера с крылом закрыта крышкой 14, через центр которой проходит ось крыла. На оси крыла крепится стрелка 15 и спиральная пружина 16, служащая для устранения люфтов и затирааний в механизме прибора. Камера 8 разделена перегородкой и крылом на две части. Одна часть сообщается с внутренним пространством корпуса прибора, другая соединена посредством трубопровода со штуцером статического давления 7, находящегося на задней стенке корпуса. Механизм прибора смонтирован на пластинке из легкого сплава, которая крепится в корпусе тремя винтами. Корпус прибора герметичен.

Для отсчета показаний прибор имеет шкалу 2, цена деления шкалы 1 м/с. Оцифровка произведена через каждые 1 м/с. Стрелка и оцифровка шкалы покрыты светящейся массой.

ЧАСЫ АВР-М

При выполнении полета большую роль играет время. Планерист готовится к полету, сообразуясь с началом полетов. По расстоянию и времени производят расчет полета, определяют путевую скорость, а также скорость пролета заданного маршрута.

Для измерения времени на планерах устанавливают авиационные часы АВР-М, которые имеют следующие основные характеристики: механизм на 15 камнях; масса 300 г; суточный ход (изменение хода часов за сутки) ± 1 мин; полный завод пружины обеспечивает работу механизма в течение пяти суток.

Часы (рис. 40) заводятся при помощи обода, называемого рантом 2. С рантом жестко связан индекс 3, предназначенный для ориентировочного определения времени полета. Перед взлетом вращением ранта по ходу часовой стрелки индекс устанавливается против часовой стрелки. В момент определения времени нахождения планера в воздухе на шкале между индексом и часовой стрелкой отсчитывается количество делений. Результат отсчета умножают на двенадцать (цена деления) и получают время полета в минутах.