

Тема № 7 «Методы и системы определения местоположения ЛА»

Занятие 1 «Общие сведения о радионавигационных средствах»

Учебные вопросы:

1. Сущность и задачи воздушной навигации
2. Классификация радиотехнических средств навигации
3. Навигационные системы координат
4. Навигационные параметры (элементы)

- **1. Сущность и задачи воздушной навигации**
- Навигация - наука о методах и средствах вождения подвижного объекта и получения информации о его положении и движении.
- Методы и средства радионавигации основаны на использовании свойств и закономерностей распространения радиоволн.

Таким образом, авиационная радионавигация – это наука о радиотехнических методах и средствах вождения и получения информации о положении и движении ЛА.

задачи воздушной навигации:

- обеспечение взлета, полета по маршруту, построения предпосадочного маневра и посадки ВС в простых и сложных метеорологических условиях, днем и ночью;
- обеспечение экипажа информацией о местоположении ВС в воздушном пространстве;
- обеспечение ГРП информацией о воздушной обстановке в районе аэродрома и дополнительной полетной информацией (индекс, остаток топлива, высота полета ВС);
- индивидуальное опознавание ВС;
- обеспечение вывода ВС в заданную точку маршрута и возврата на аэродром;
- обеспечение управления движением (контроля за движением) ВС и спецавтотранспорта по летному полю аэродрома;
- маркирование участков на местности;
- обеспечение приема сигналов от ВС, терпящих бедствие, определение их местоположения и передача информации о них ГРП.

Движение ЛА осуществляется по определенной траектории.

Траекторией полета называется пространственная кривая, по которой перемещается центр масс ЛА (ЦМ ЛА) в процессе его полета (рис.1).

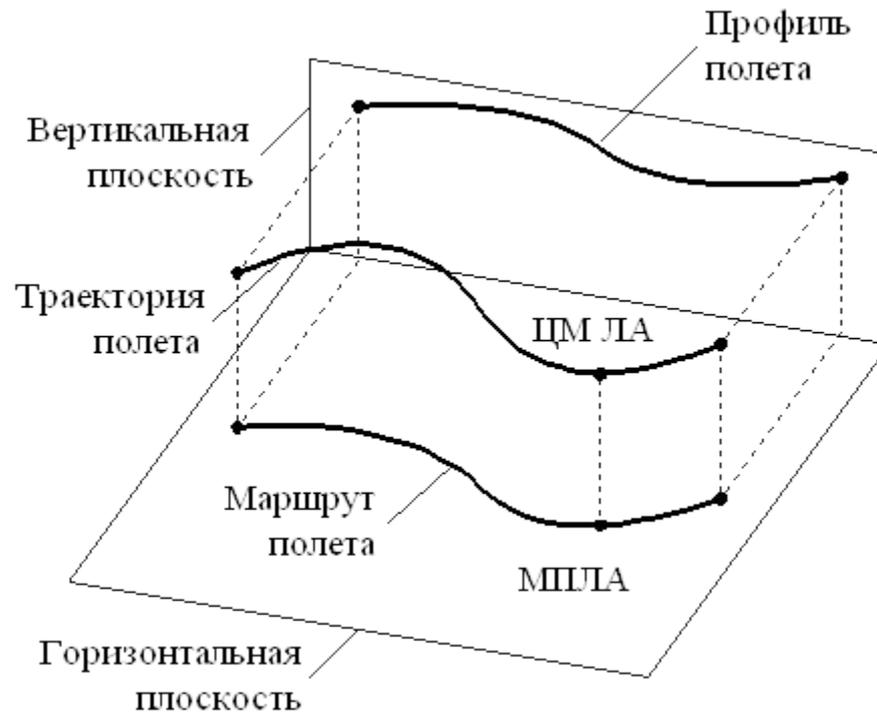


Рис.1. Геометрические построения для траектории ЛА

Проекция траектории полета на земную поверхность называется линией пути (маршрутом). Проекция траектории полета на вертикальную плоскость называется профилем полета. Точка земной поверхности, над которой находится ЦМ ЛА в текущий момент времени, называется его местоположением (МПЛА).

В настоящее время при характеристике самолетовождения различают двухмерную, трехмерную и четырехмерную навигацию.

- Для двухмерной навигации характерно задание и выдерживание только маршрута полета.
- В трехмерной навигации к этому добавляются задание и контроль профиля полета.
- Для четырехмерной навигации необходимы жесткая «привязка» траектории ко времени и контроль текущего времени прохождения точек маршрута.

2. Классификация радиотехнических средств навигации

Классификации радиотехнических методов и средств навигации:

- 1) по типу определяемого навигационного параметра;
- 2)) по типу измеряемого (информативного) параметра радиосигнала, используемого для определения НП;
- 3) по назначению;
- 4) по дальности действия;
- 5) по способу определения МПЛА.

По первому признаку радионавигационные методы и средства подразделяют на:

- угломерные (пеленгационные),
- дальномерные,
- разностно-дальномерные,
- измерители линейных (радиальных) и угловых скоростей,
- комбинированные (позволяющие совместно определять различные навигационные параметры).

По второму типу различают фазовые, амплитудные, частотные, временные и комбинированные методы и РТСН.

В табл.1 приведены навигационные и информативные параметры сигналов наиболее распространенных РТСН.

По назначению РТСН подразделяют на системы: посадки, навигации (трассовой и в приаэродромной зоне), а также средства, используемые в комплексах управления воздушным движением (УВД);

предупреждения столкновения, измерения путевой скорости ЛА, опознавания и др.

:

По дальности действия различают

- радионавигационные средства глобальные, т.е. неограниченной дальности действия, позволяющие определять место ЛА в любой точке земного шара или в околоземном пространстве;
- дальней навигации - для полетов ЛА на расстояние до 2500...3000 км или от 1500 до 14000 км от радионавигационных точек (РНТ), относительно которых определяются пространственно-временные координаты ЛА;
- ближней навигации - для полетов ЛА на расстояние до 350...450 км от РНТ.

Определяемый Навигационный параметр	Информативный параметр сигнала (РНП)				Тип РТСН по Определ. Навигацион. параметру
	Ампл и- туда	Част о та	Фазовы й сдвиг	Время запазд ывания	
Азимут	+	+	+	+	Угломерные
Угол места	+	+		+	
Дальность			+	+	Дальноме - рные
Высота		+		+	
Разность расстояний			+	+	Разностно- дальномерн ые
Скорость		+			Измерители скорости

По пятому признаку применяемые на практике РТСН подразделяются на три типа:

1) РТСН, с помощью которых МПЛА определяется способом линий (поверхностей) положения (угломерные, дальномерные, разностно-дальномерные и их комбинации);

2) РТСН, обеспечивающие определение МПЛА способом счисления пути (прежде всего инерциально-доплеровские и воздушно-доплеровские);

3) РТСН, обеспечивающие определение МПЛА обзорно-сравнительными способами (радиотепловые устройства, РЛС обзора земной поверхности, корреляционно-экстремальные).

Кроме того, радиотехнические методы и средства можно подразделять по некоторым другим признакам:

- по характеру излучения (с непрерывным и импульсным излучением);
- по степени автономности (автономные и неавтономные);

- по степени автоматизации (автоматические, полуавтоматические и неавтоматические);
- по способу индикации - с визуальной индикацией (стрелочный прибор, цифровое табло, электронно-лучевая трубка) и слуховой.

Навигационные системы координат

Для определения местоположения ЛА (МПЛА) и изучения характера его движения необходимо проанализировать положение ЛА и перемещение относительно другого тела или связанной с ним системы координат. Поэтому вопрос о системе отсчета в навигации является одним из основных.

Кроме того, все возрастающая степень автоматизации вождения ЛА требует четкого математического описания навигационных задач в виде формул. При их составлении необходим выбор таких систем координат, которые должны обеспечивать:

- решение навигационных задач с требуемой точностью;
- получение наиболее простых соотношений;

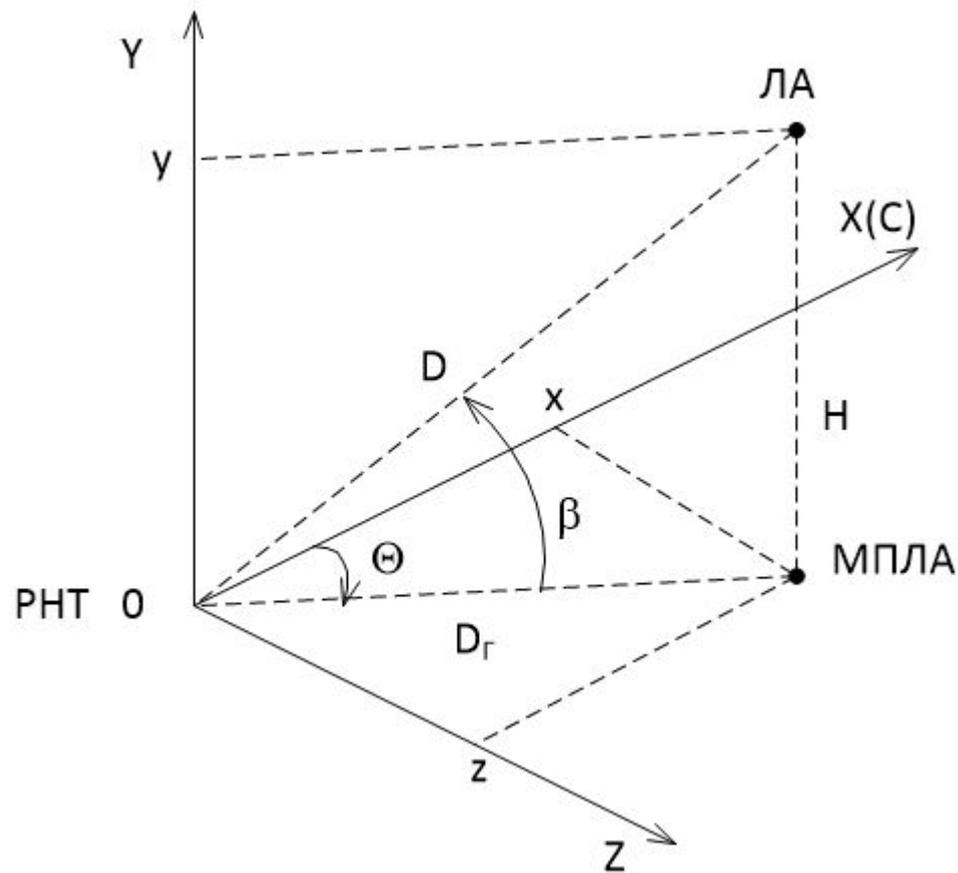
- быстрое программирование заданной траектории;
- использование единой системы координат для охвата достаточно большой по площади территории;
- наглядную информацию о МПЛА относительно линии заданного пути (ЛЗП) или основных ее точек.

В зависимости от масштабов перемещений
ЛА системы отсчета могут быть местными,
глобальными и космическими.

Последние мы не изучаем.

Местные системы координат, начало которых связывается с Землей, используются в качестве систем отсчета при сравнительно небольших перемещениях, когда поверхность Земли можно считать плоской. По своей форме они могут быть прямоугольными, цилиндрическими и сферическими. Такие системы координат находят широкое применение при счислении пути на расстояния десятков и сотен км (1000 км), при управлении ЛА в период взлета и посадки, при определении местоположения относительно ориентиров, целей, промежуточных пунктов маршрута (ППМ) и т.п.

Одну из осей местной горизонтальной системы координат обычно совмещают с северным направлением S (X) меридиана, проходящего через радионавигационную точку (РНТ), в которой установлена наземная радионавигационная аппаратура; ось OY (рис.2) направляют по местной вертикали, а ось OZ проводят в горизонтальной плоскости перпендикулярно осям OY и OS (X) таким образом, чтобы образовалась правая ортогональная система координат.



- Рис.2. I горизонтальная прямоугольная, сферическая и цилиндрическая системы координат

Место ЛА определяются:

- в сферической системе координат:

дальностью D , азимутом θ и углом
возвышения (места) ψ (рис.2),

- в прямоугольной системе:

координатами x, y, z .

- в цилиндрической системе :

дальностью D , азимутом θ , высотой полета H .

Глобальные системы координат жестко связаны с Землей и применяются для навигации, охватывающей всю или значительную часть земной поверхности.

Наиболее распространенными глобальными системами координат являются:

- географическая (или геодезическая),
- геоцентрическая (геосферическая),
- левая и правая ортодромические системы координат.

В географической (геодезической) системе координат $O_{\Gamma} X_{\Gamma} Y_{\Gamma}$ (рис.3), применяемой для решения задач воздушной навигации, за поверхность Земли принимают поверхность эллипсоида вращения. В качестве такого эллипсоида в нашей стране Постановлением Совета Министров СССР от 7 апреля 1946 г. принят эллипсоид Красовского.

Эллипсоид получил название по имени члена-корреспондента Академии наук СССР Ф.Н. Красовского, возглавлявшего работы по определению размеров земли. Малая полуось эллипсоида Красовского составляет 6 356 863 м, а большая (экваториальный радиус Земли) - 6 378 245 м.

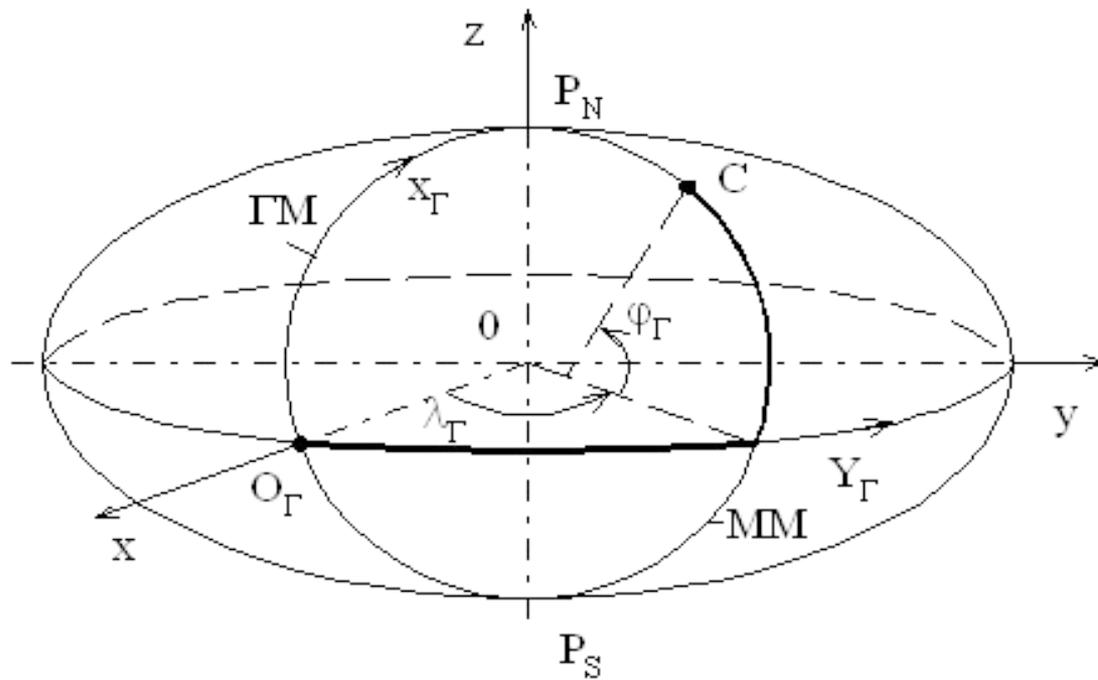


Рис.3. Географическая (геодезическая) система координат

Положение точки C на поверхности эллипсоида вращения определяется геодезическими координатами - геодезической широтой j_r и геодезической долготой l_r (рис.3). Геодезической широтой точки называется угол между плоскостью экватора и нормалью к поверхности эллипсоида в этой точке. Следует заметить, что нормаль пересекает плоскость экватора в общем случае не в центре.

Широта отсчитывается от плоскости экватора к северному (P_N) и южному (P_S) полюсам от 0 до $\pm 90^0$ соответственно. На рис.3 (и далее) буквами O , x , y , z обозначена основная система координат, связанная с центром Земли и вращающаяся вместе с ней.

Геодезической долготой называют двугранный угол, заключенный между плоскостями Гринвичского (начального) меридиана (ГМ) и местного меридиана (ММ) точки С.

Долгота измеряется либо центральным углом в плоскости экватора, либо дугой экватора в пределах от 0 до 360^0 . Долгота, отсчитываемая в восточном направлении, имеет знак плюс, а в западном - минус.

На аэронавигационные и топографические карты наносятся меридианы и параллели геодезической системы координат, поэтому положение точек на земной поверхности принято определять геодезическими координатами.

Хотя поверхность эллипсоида имеет строгое математическое описание, но формулы, описывающие решение задач воздушной навигации, оказываются столь сложными, что практически могут быть реализованы лишь с помощью высокоскоростных бортовых цифровых вычислительных машин, обладающих большим объемом памяти. Поэтому модель Земли упрощают, представляя ее в виде шара радиусом 6371110 м.

Система координат $O_{гц} X_{гц} Y_{гц}$, в которой Земля представляется в виде шара, называется геоцентрической (геосферической) (рис. 4). Отсчет геоцентрической широты (j) производится между плоскостью экватора и направлением радиуса - вектора. Способ отсчета геоцентрической долготы (l) совпадает со способом отсчета географической долготы.

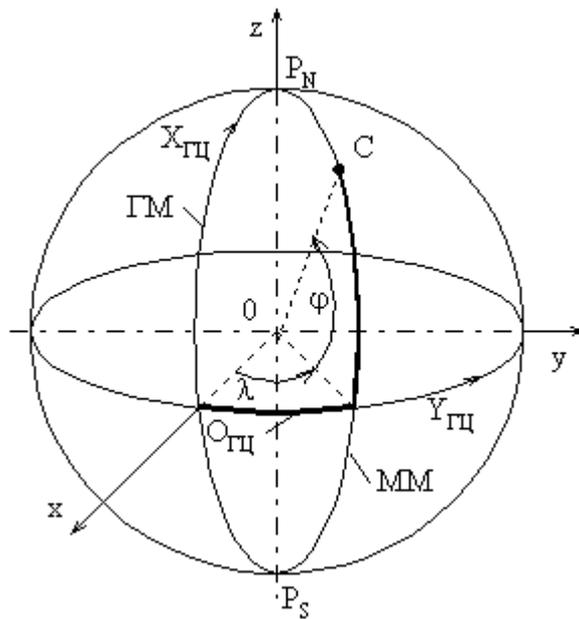


Рис.4. Геоцентрическая (геосферическая) система координат

Однако при решении задач воздушной навигации даже и в этом случае требуются сложные программы для реализации их в БЦВМ, так как в формулы входят тригонометрические функции координат l и j . При решении задач воздушной навигации вблизи экватора в полосе $\pm(400\dots900)$ км при допустимых погрешностях $0,2\dots1$ % навигационные формулы существенно упрощаются.

Желание решать навигационные задачи по упрощенным алгоритмам в районах, удаленных от экватора и применять систему координат, координатные линии которой ориентированы относительно направления воздушной трассы, привело к использованию произвольных сферических координат, называемых ортодромическими.

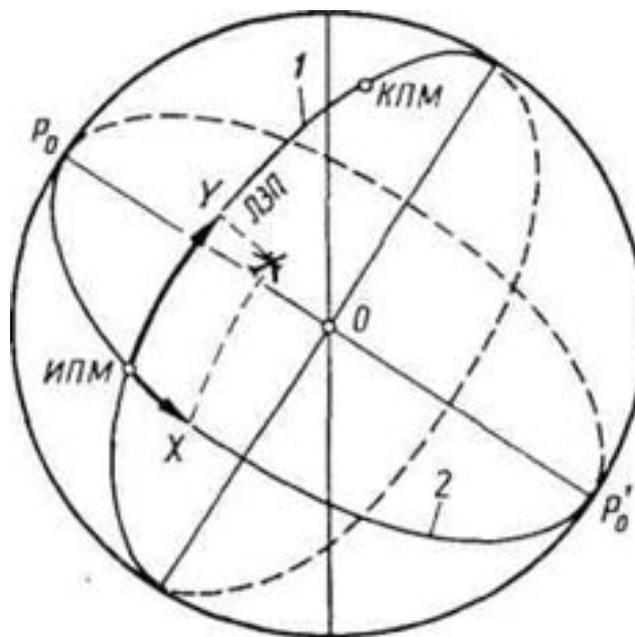


Рис.5. Ортодромическая система координат

Рассмотрим сущность такой системы.

Ортодромическая система. Она широко используется в современных устройствах счисления пути. Координатная сетка этой системы строится на шаре. Основными точками системы являются полюсы, которые могут занимать на шаре различное положение в зависимости от направления воздушной трассы (маршрута).

Основными осями координат являются две окружности большого круга — ортодромии, что и определило название системы. Одна ортодромия принимается за условный экватор и совмещается с ЛЗП или с осью маршрута (рис. 5). Эту ортодромию называют главной и принимают за ось Y , вторую ортодромию — за условный меридиан 2. Ее проводят через точку начала Рис. 6 отсчета координат, лежащую на главной ортодромии, и принимают за ось X . Местоположение ВС определяется ортодромическими координатами X и Y , которые принято выражать в линейных мерах.

Благодаря возможности расположения главной ортодромии в нужном направлении, можно добиться, чтобы полет всегда проходил вблизи нее, т. е. при малых значениях координаты X . Особенностью системы является то, что вблизи условного экватора условные меридианы и параллели образуют практически прямоугольную сетку, что позволяет при незначительных отклонениях от главной ортодромии не учитывать сферичность Земли и от решения задач на шаре переходить к решению их на плоскости.

Важное преимущество системы — возможность применения ее в любых районах земного шара. Она наиболее полно соответствует условиям применения гироскопических курсовых приборов, обеспечивающих полет по ортодромической линии пути.

При необходимости ортодромические координаты могут быть выражены ортодромической широтой и долготой, т. е. угловыми величинами. Для этого имеются соответствующие формулы, учитывающие связь между географической и ортодромической системами координат.

Кроме описанных систем координат при решении отдельных задач воздушной навигации могут использоваться и другие системы координат, зависящие от применяемых средств навигации (гиперболические системы координат - при использовании радиотехнических систем дальней навигации, прямоугольная геоцентрическая экваториальная система координат - при использовании спутниковых радионавигационных систем и т.п.

4. Навигационные параметры (элементы)

Известно, что процесс навигации осуществляется поэтапно. Каждому этапу навигационного процесса соответствует свой режим навигации, т. е. выдерживание направления, скорости и высоты полета ЛА.

Режим навигации определяется совокупностью большого числа параметров, называемых навигационными элементами (навигационными параметрами), которые характеризуют положение и перемещение ЛА. Закон изменения навигационных элементов на заданном этапе (участке) полета называется навигационным режимом полета.

4.1. Классификация навигационных параметров (элементов)

В зависимости от физической сущности навигационные элементы (параметры) (НП) делятся на четыре группы.

К первой группе относятся НП, характеризующие положение и перемещение центра масс ЛА относительно различных систем отсчета: координаты ЛА, его линейная скорость и ускорение.

Место летательного аппарата определяется координатами, отсчитываемыми в определенной системе координат (геодезических, геоцентрических, ортодромических, декартовых, полярных).

Например, широтой, долготой, высотой, линейными координатами или полярными координатами.

Ко второй группе относятся НП, определяющие перемещение ЛА относительно его центра масс.

Например, угловые координаты объекта в горизонтальной системе координат (крен, тангаж, курс), угловые координаты ЛА относительно вектора скорости (углы атаки, скольжения, сноса и т. п.).

К третьей группе относятся НП, определяющие состояние окружающей среды. Например, параметры атмосферы (температура, давление, скорость ветра), параметры магнитного поля Земли и т.п.

К четвертой группе относятся НП, характеризующие положение и перемещение ЛА относительно других объектов (ориентиров, приводных радиостанций, радиомаяков, других воздушных и космических объектов и т.п.).

Рассмотрим основные навигационные элементы, которые широко используются в воздушной навигации.

2. Угловые навигационные элементы

Перемещение ЛА относительно своего центра масс характеризуется изменением положения осей ССК летательного аппарата относительно НСК. Положение осей ССК определяется углами, тангажа, крена и курса (рис.6).

Угол тангажа - угол между горизонтальной плоскостью и продольной осью ЛА.

Угол крена - угол между горизонтальной плоскостью и боковой осью ЛА.

В горизонтальной плоскости определяется весьма важный для навигации параметр - угол курса.

Курсом ЛА называется угол в горизонтальной плоскости между северным направлением меридиана, проходящего через центр масс ЛА и проекцией продольной оси ЛА (ОХ). Курс отсчитывается по часовой стрелке от северного направления в пределах от 0^0 до 360^0 .

В зависимости от направления, выбранного для начала отсчета, различают следующие разновидности определения курса (рис.6):

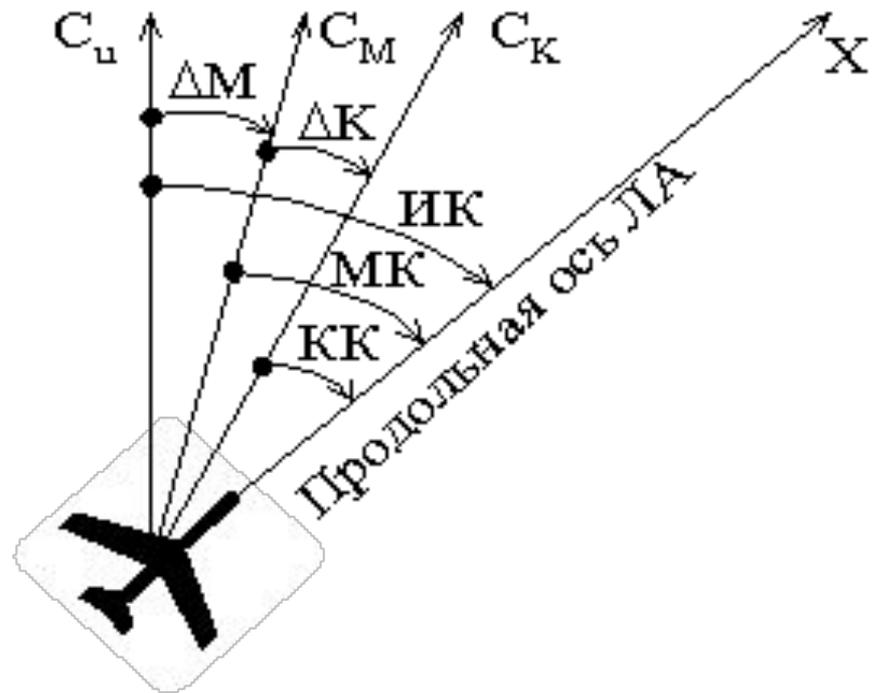


Рис.6. К определению курса летательного аппарата

- истинный курс (ИК), отсчитывается от северного направления географического меридиана $C_{И}$, проходящего через центр масс ЛА;
- магнитный курс (МК), отсчитывается от северного направления магнитного меридиана $C_{М}$, проходящего через центр масс ЛА;
- компасный курс (КК), отсчитывается от северного направления $C_{К}$, указываемого самолетным магнитным компасом.

Разность между истинным и магнитным курсом, вызванная несовпадением географического и магнитного полюсов Земли, называется магнитным отклонением ΔM . Знак «плюс» перед ΔM берется в случае, если магнитный меридиан C_M отклоняется к востоку от C_I . С учетом изложенного,

$$ИК = МК \pm \Delta M. \quad (1)$$

Разность между магнитным и компасным курсом называется девиацией компаса ΔK и представляет собой инструментальную погрешность и погрешность в показаниях магнитного компаса, вызванную искажением магнитного поля Земли за счет влияния ферромагнитных материалов. Знак «плюс» перед ΔK берется в случае, если показания самолетного магнитного компаса C_K отклоняются к востоку от C_M . Таким образом,

$$MK = KK \pm \Delta K, \quad IK = KK \pm \Delta K \pm \Delta M. \quad (2)$$

Следовательно, МК и ИК могут быть определены с помощью магнитного компаса с учетом указанных поправок.

В ряде случаев требуется определить угловое положение какой-либо радионавигационной точки (РНТ) относительно продольной оси ЛА (рис.7).

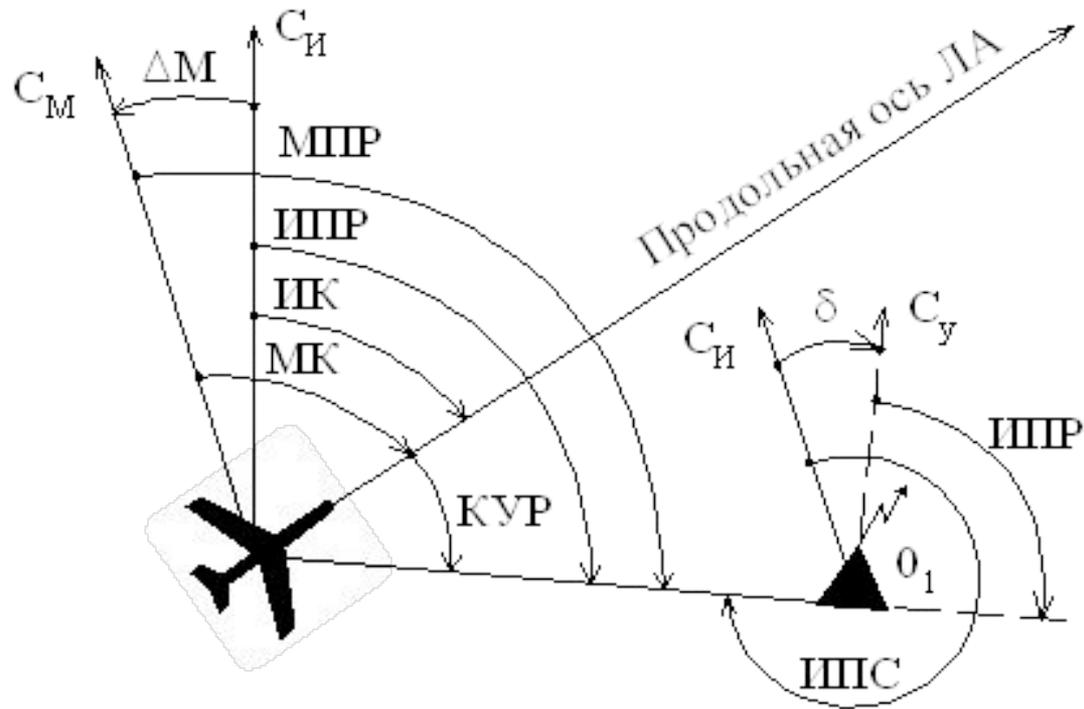


Рис. 7. Определение углового положения РНТ и ЛА

Угол между проекцией продольной оси ЛА на горизонтальную плоскость и направлением на РНТ (O_1 на рис.9), расположенную на земной поверхности либо перемещающуюся в космическом пространстве по заданной траектории, называется курсовым углом радиориентира (КУР).

Пеленгом или азимутом радиориентира относительно ЛА называют угол в горизонтальной плоскости между северным направлением меридиана, проходящего через центр масс ЛА, и направлением на РНТ.

Различают истинный пеленг радиостанции (ИПР) и магнитный пеленг радиостанции (МПР), которые связаны зависимостью

$$\text{ИПР} = \text{МПР} \pm \Delta\text{М} \quad (3)$$

В РНТ можно определить истинный пеленг самолета (ИПС) - угол в горизонтальной плоскости между северным направлением меридиана, проходящего через РНТ, и направлением на ЛА.

$$\text{ИПС} = \text{ИПР} \pm 180^0 \pm \delta, \quad (4)$$

Аналогично определяется и магнитный пеленг самолета (МПС):

$$\text{МПС} = \text{МПР} \pm 180^{\circ} \pm \delta \quad (5)$$

Значение поправки δ берется из таблиц для заданной разности географических долгот места самолета и радиостанции в зависимости от типа картографической проекции или непосредственно с карты (на полях карты изображена схема магнитного склонения и схождения меридианов).

4.3. Скорость летательного аппарата

Важным параметром, определяющим перемещение ЛА, является его скорость.

Различают воздушную, земную, путевую и вертикальную скорости ЛА.

Воздушной скоростью (V) называется скорость полета ЛА относительно воздушной среды.

Земная скорость (V_K) равна векторной сумме воздушной скорости ЛА и скорости ветра W (рис.8,а),

$$V_K = V + W. \quad (6)$$

В навигации под скоростью W ветра понимают скорость горизонтального перемещения воздушных масс.

Составляющая вектора земной скорости в горизонтальной плоскости - называется путевой скоростью V_{Π} ЛА.

Вертикальная составляющая V_B вектора V_K - это скорость подъема или спуска ЛА.

Проекцию (V_Γ , V_Π , W) треугольника, составленного векторами скоростей V_K , V и W полета ЛА, на горизонтальную плоскость называют навигационным треугольником скоростей (рис.8,б).

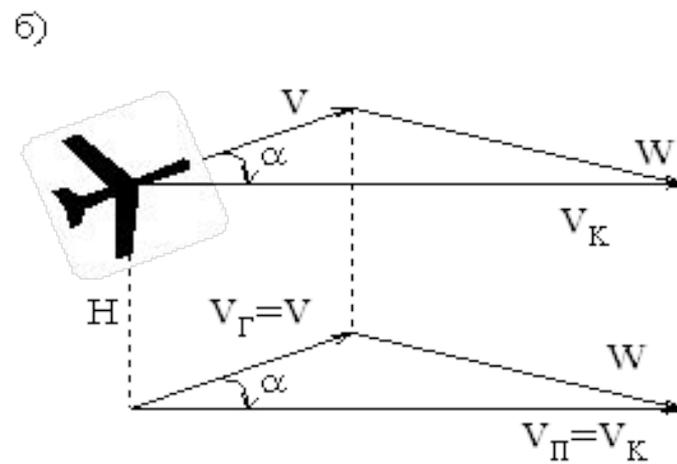
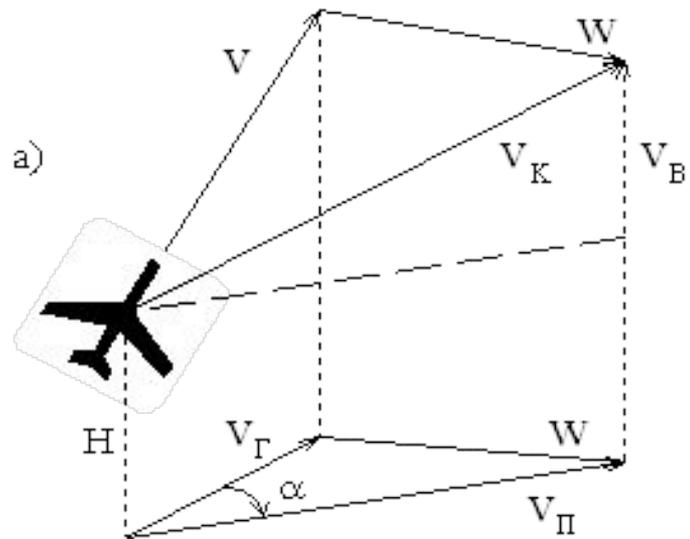


Рис.8. Навигационный треугольник скоростей

Угол в горизонтальной плоскости между вектором воздушной скорости V и вектором путевой скорости V_{Π} называется углом сноса α .
Навигационный треугольник скоростей служит для определения путевой скорости,.

4.4. Высота полета

Высотой полета H называется расстояние между центром масс ЛА и земной поверхностью, измеренное по вертикали.

Высота полета является одним из важных навигационных параметров, связанных с обеспечением безопасности полетов.

В зависимости от решаемых навигационных задач и этапа полета ЛА различают абсолютную, истинную, относительную и условную барометрическую высоту (рис.9).

Абсолютная высота полета H_a - это высота, отсчитываемая от среднего уровня Балтийского моря.

Знание абсолютной высоты необходимо при выполнении исходных штурманских расчетов и прокладке маршрута с использованием карты, на которой значения высот рельефа местности обозначены в величинах H_a , что позволяет проложить профиль полета на безопасной высоте.

Истинная высота $H_{И}$ - это действительное расстояние от нижней точки ЛА до ближайшей точки на земной поверхности. Измеряется $H_{И}$ с помощью радиовысотомеров.

Относительная высота $H_{\text{отн}}$ отсчитывается барометрическим высотомером по отношению к уровню аэродромов взлета или посадки. Информация об этой высоте устанавливается при взлете либо заходе на посадку по барометрическому высотомеру.

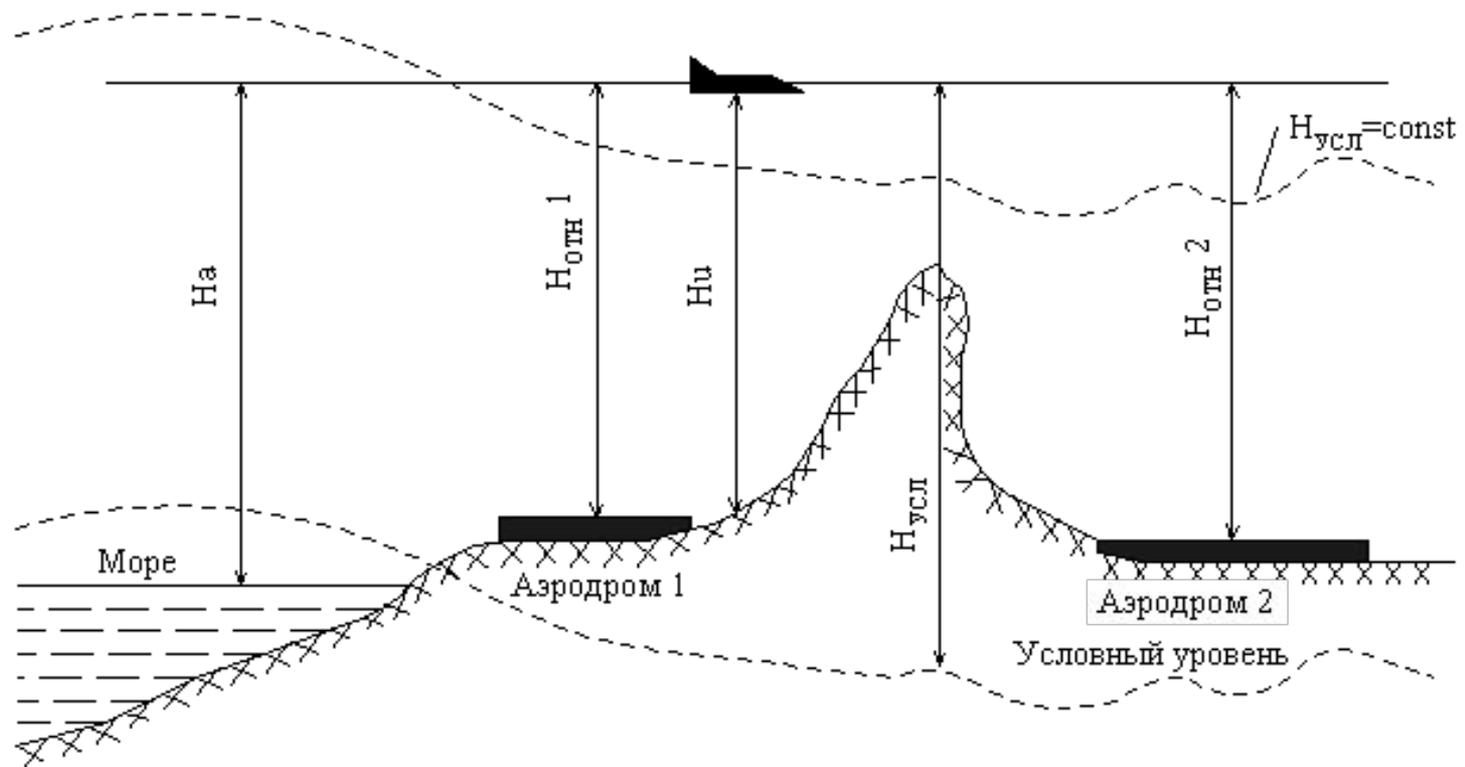


Рис. 9. Высоты полета ЛА

Условная барометрическая высота $H_{\text{УСЛ}}$ отсчитывается по показаниям барометрического высотомера от условного уровня, соответствующего давлению 1013,2 гПа (760 мм рт. ст.), на который устанавливается нуль шкалы высотомеров. Эта высота принята основной для выдерживания экипажами заданных уровней полета на маршруте, называемых эшелонами. Нормы вертикального эшелонирования определены наставлением по производству полетов.