

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Радіотехнічні системи навігації»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***173 Авіоніка
(Авіоніка)***

за темою № 1 - Завдання, що вирішуються радіонавігаційними пристроями і системами в авіації.

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.2022 № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою Кременчуцького
льотного коледжу
Протокол від 22.08.2022 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2022 № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного
обладнання, протокол від 15.08.2022 № 1

Розробник: викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного
обладнання, спеціаліст вищої категорії, викладач-методист
Стущанський Ю.В.

Рецензенти:

1. Заступник директора коледжу з навчальної та виховної роботи КЛК
ХНУВС, к.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист Шмельов Ю.М.

2. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.

План лекції

1. Поняття навігації, основні визначення навігації.
2. Основні завдання навігації.
3. Методи навігації
4. Основні навігаційні елементи

Рекомендована література:

Основна література:

1. В.П. Харченко, І.В. Остроумов. Авіоніка. Навчальний посібник. К.: НАУ, 2013. - 272с.
2. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.: НАУ, 2017. – 264с.;
3. В.О. Рогожин. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синеглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.
4. А.В.Скрипець. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.: НАУ, 2003. – 396с.;
5. А.П.Бамбуркін, В.Н.Неделько, М.И.Рубец. Аеронавігаційні радіотехнічні системи. Навчальний посібник/ Під.ред. М.И.Рубця — Кіровоград. Вид-во ГЛАУ, 2002.- 520с.
6. В.П. Харченко. Системи зв'язку та навігації./ В.П. Харченко, Ю.М. Барабанов, М.А. Міхалочкін/ Навчальний посібник – К. : Вид-во Нац. авіац. ун-ту «НАУ-друк», 2009. – 216 с.
7. Л.М. Логачова. Поширення земних радіохвиль та мобільний зв'язок / Л. М. Логачова, Т. І. Бугрова / Навчальний посібник.— Запоріжжя: ЗНТУ, 2019. – 236 с.

Допоміжна література:

1. П.В.Олянюк, Авіаційне радіобладнання. Підручник для ВУЗів. М: Транспорт 1989р. – 318 с.
2. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 4, 5, 13, 14)

Інформаційні ресурси в Інтернеті:

1. Системи індикації ПС. <https://studfiles.net/preview/6810198/page:28/>
2. Бортова система попередження зіткнень
http://search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/TM058196.htm
3. HELLI — TAWS http://www.fcs-modification.com/?go=news&n=6&new_language=0

Текст лекції

1. Поняття навігації, основні визначення навігації.

Можливості авіації, космонавтики, морського і річкового судноплавства багато в чому визначаються точністю і надійністю розв'язання завдань навігації, рівнем розвитку навігаційних засобів і систем, зокрема пристроїв і систем радіонавігації. Радіотехнічні засоби навігації дають можливість виконувати водіння літальних апаратів, морських суден і наземних об'єктів, а також керувати по-вітряним і морським рухом в умовах невидимості землі та небесної сфери. Радіонавігаційні пристрої і системи мають малі похибки вимірювань навігаційних параметрів і велику дальність дії, дозволяють вирішувати різноманітні і складні навігаційні завдання.

Під терміном «навігація» (від лат. *navigatio* – мореплавство) спочатку мали на увазі тільки способи водіння морських суден. Нині цей термін поширений і на способи водіння таких рухомих об'єктів, як літаки, вертольоти, космічні кораблі, морські та річкові судна. Термін «навігація» не застосовують до водіння об'єктів, траєкторії руху яких заздалегідь жорстко визначені і положення яких у будь-який момент часу відоме, наприклад залізничних.

Таким чином, під навігацією розуміють науку про методи та засоби отримання інформації про положення і рух рухомих об'єктів і про методи та засоби їх водіння з однієї точки простору в іншу обумовленими траєкторіями в установлений час.

Для вирішення навігаційних завдань об'єкт потрібно переміщати по найвигіднішій траєкторії. Траєкторією (в цьому випадку польоту) називають просторову криву, по якій переміщується центр мас рухомого об'єкта в процесі його переміщення. Проекція траєкторії польоту на земну поверхню називається лінією шляху (ЛШ). Основна частина ЛШ називається маршрутом.

Розрізняють лінію заданого шляху (ЛЗШ) і фактичного шляху (ЛФШ). Проекцію траєкторії польоту на вертикальну площину називають профілем польоту. Точка земної поверхні, над якою переміщується рухомий об'єкт, називається його місцеположенням.

2. Основні завдання навігації.

Основними завданнями навігації є: забезпечення точного переміщення рухомого об'єкта по заданій траєкторії і точного виведення рухомого об'єкта в заданий пункт у призначений час найвигіднішим для таких умов способом.

Для успішного виконання цих завдань необхідно відповісти на такі питання: 1) де перебуває рухомий об'єкт у поточний момент; 2) куди необхідно рухатися далі; 3) яким способом слід рухатися, щоб прибути в задані пункти (мета, аеродром посадки тощо) у призначений час з

урахуванням перебування поблизу інших об'єктів та із забезпеченням потрібного рівня безпеки переміщення.

Для відповіді на перше питання необхідно визначити поточні координати місцеположення об'єкта і його висоту в певній системі координат. Друге питання потребує знання координат руху до необхідного моменту часу в тій же системі координат. Щоб відповісти на третє питання, треба знати параметри руху об'єкта і об'єктів, що оточують його (швидкість, прискорення, кутові координати об'єкта і їх похідні) і визначити необхідні значення нових параметрів руху, що забезпечують виведення об'єкта в заданий пункт в призначений час з потрібним рівнем безпеки переміщення.

Залежно від характеру польотного завдання і умов застосування окремих етапів літаководіння (вертольотоводіння) може не бути (або може змінюватися черговість їх виконання). В деяких випадках може виникнути потреба в додаткових етапах, наприклад, у розмиканні групи перед пробиттям хмарності тощо.

Кожному етапу процесу навігації відповідає режим навігації, під яким розуміють витримування напрямку, швидкості й висоти польоту об'єкта. Режим навігації рухомого об'єкта визначається сукупністю великої кількості навігаційних елементів, які є геометричними або механічними величинами і характеризують положення та переміщення об'єкта.

Для здійснення керованого польоту на борту літального апарата необхідно мати спеціальні вимірювальні пристрої, призначені для визначення різних навігаційних елементів (координат місцеположення літального апарата, величини і напрямку вектора швидкості, висоти польоту, напрямку на ціль або задану точку простору, відстані до неї і деяких інших).

3. Методи навігації

Методи навігації класифікуються за способом визначення координат місцеположення: зчислення шляху; позиційні; оглядово-порівняльні; комбіновані (аналітичні); зональної навігації; диференціально-геометричний метод.

Методи зчислення шляху ґрунтуються на вимірюванні складових вектора прискорення або швидкості руху об'єкта та інтегрування в часі цих складових (прискорення інтегрується двічі) для отримання координат місцеположення.

Позиційні методи навігації ґрунтуються на вимірюванні фізичних величин, які дають лінію або поверхню положення. Для визначення двох або трьох координат місцеположення об'єкта потрібно мати відповідно дві або три взаємно перетинні лінії або поверхні положення.

Оглядово-порівняльні методи ґрунтуються на огляді навколишньої місцевості і порівнянні її зображення з картою або системою орієнтирів, закладених в пам'яті бортової цифрової обчислювальної машини (БЦОМ).

Аналітичні методи засновані на розв'язанні рівнянь, що описують рух об'єктів відносно характерних точок на поверхні Землі або в космічному просторі відносно зірок, планет і супутників.

Методи зональної навігації. Нині дедалі ширшого застосування набувають методи зональної навігації, за якими місцеперебування ПК визначають за допомогою даних від таких джерел, як інерціальна навігаційна система, система LORAN-C, кутомірнодалекомірна система (VOR/DME), дві або декілька одиниць DME і глобальні навігаційні супутникові системи (ГЛОНАСС/GPS, GNSS). На підставі аеронавігаційних даних системи зональної навігації видають відповідні сигнали автопілотам, що дозволяє ПК виконувати політ по запланованому маршруту на етапах: зльоту, на маршруті і під час заходу на посадку, а також, з використанням системи GNSS, на етапі посадки. Під час виконання таких польотів фактична лінія шляху, по якій прямує ПК, залежить від координат, що визначають як лінію шляху, так і розташування наземних навігаційних засобів. З початком використання маршрутів точної зональної навігації і поширенням системи RNP на маршрути польоту у вузлових диспетчерських районах потрібна вища точність, при цьому дані, які визначають заплановану лінію шляху, мають відповідати за своїми показниками точності й цілісності вимогам RNP.

Диференціально-геометричний метод ґрунтується на використанні диференціально-геометричних співвідношень між складовими векторів положення, швидкості та прискорення; незалежності процесу і результату розв'язання завдань навігації; нечутливості в широких межах алгоритмів до зовнішніх збурень і похибок вимірювачів. Методичною основою диференціально-геометричного методу є теорії диференціальної геометрії, аналітичної механіки (кінематики) і вищої алгебри.

Вибір того або іншого методу або комбінації методів навігації для використання на конкретному об'єкті визначають за такими параметрами:

- ☐ характером середовища, в якому рухається об'єкт (вода, повітря, космічне середовище);
- ☐ діапазоном зміни навігаційних параметрів (дальності, швидкості, прискорення і т. ін.);
- ☐ точністю, роздільною здатністю (прецизійністю), цілісністю тощо вимірювань навігаційних параметрів;
- ☐ рівнем автономності, завадозахищеності, електромагнітної сумісності і надійності навігаційних вимірювань;
- ☐ ступенем фізичної реалізованості методу навігації (тобто можливістю створення навігаційних пристроїв, що задовольняють експлуатаційні вимоги).

4. Основні навігаційні елементи

До навігаційних елементів належать величини, що визначають координати літального апарата в просторі, його положення відносно центра

мас, напрям і швидкість польоту; положення літального апарата відносно орієнтирів (або положення орієнтирів відносно літального апарата).

Розглянемо геометричну сутність цих елементів. Координати літального апарата в просторі визначаються географічною довготою λ , географічною широтою ϕ і висотою польоту H (рис.1).

Географічна довгота λ визначається кутом між площиною гринвіцького меридіана і площиною меридіана, що проходить через точку M місцеперебування літального апарата. Довгота відлічується від гринвіцького меридіана на схід (східна довгота) і на захід від 0 до 180° .

Географічна широта ϕ визначається кутом між площиною екватора і напрямом радіуса-вектора точки M і відлічується на північ (північна широта) і на південь (південна широта) від 0 до 90° .

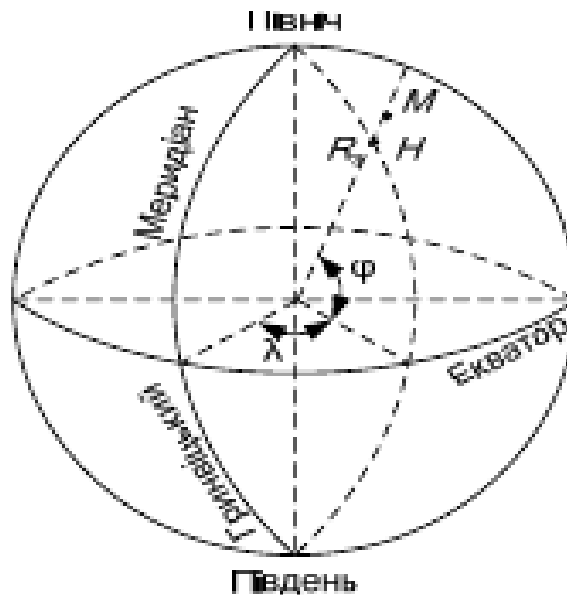


Рисунок 1 – Координати літального апарату

Висотою польоту H називається відстань між літальним апаратом і земною поверхнею, виміряна по вертикалі. Залежно від рівня відліку висоти в навігації розрізняють абсолютну, відносну і істинну висоти польоту (рис.2).

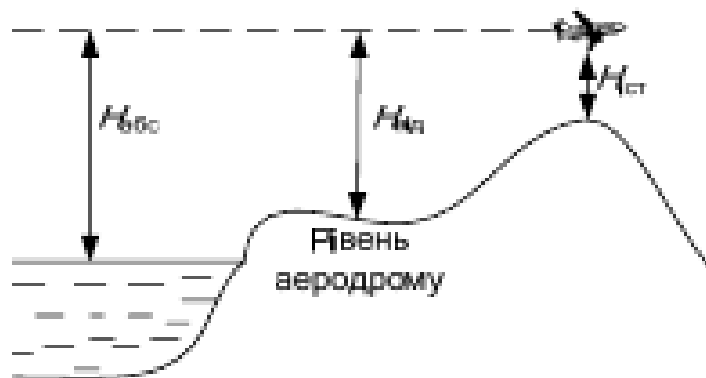


Рисунок 2 – Висота польоту ПС

Абсолютною Набс називають висоту, виміряну від рівня моря. Відносною Нвід називають висоту, виміряну відносно деякої поверхні, обраної за початкову (нульову). Зазвичай такою поверхнею є аеродром вильоту або посадки. Істинною Ніст називається висота над місцевістю, яку пролітає ПК. Висота польоту вимірюється за допомогою висотомірів.

В авіації широко застосовують барометричні висотоміри, якими вимірюють абсолютну і відносну висоти, а також радіовисотоміри, що вимірюють істинну висоту. В деяких випадках, головним чином при ешелонуванні польотів по висоті, користуються поняттям умовної барометричної висоти, під якою мають на увазі висоту, виміряну барометричним висотоміром відносно умовного рівня з барометричним тиском 760 мм рт. ст.

При визначенні положення літального апарата в просторі користуються горизонтальною і зв'язаною системами прямокутних координат. У горизонтальній системі координат за основну площину відліку обрано горизонтальну площину, перпендикулярну до місцевої вертикалі. Початок системи координат $Ox_0y_0z_0$ (рис.3,4) суміщений з центром мас літального апарата, горизонтальна вісь Ox_0 напрямлена на північ і дотична до географічного меридіана, горизонтальна вісь Oy_0 напрямлена на схід, а вісь Oz_0 збігається з місцевою вертикаллю.

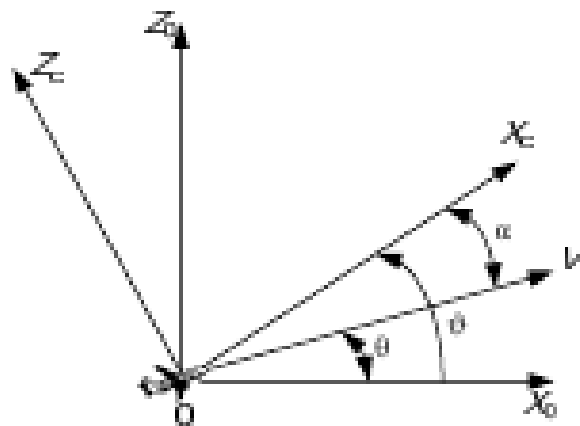


Рисунок 3- кут тангажа

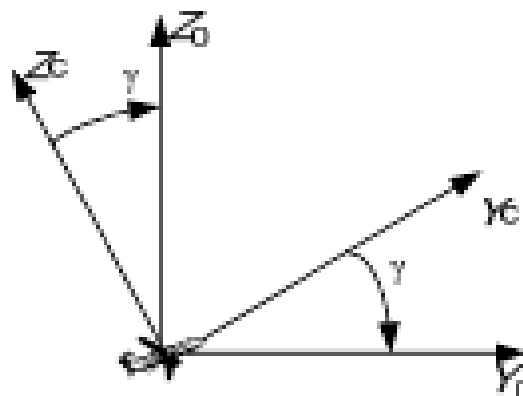


Рисунок 4 – кут крену

У зв'язаній системі координат $OX_cY_cZ_c$, початок якої також суміщений з центром мас літального апарата, вісь OX_c напрямлена вперед по поздовжній осі, вісь OZ_c – по нормальній осі вгору, а вісь OY_c – по поперечній осі вправо. Ця система координат жорстко пов'язана з літальним апаратом.

Положення літального апарата відносно системи координат в горизонтальній площині визначається кутами істинного курсу, тангажа ϑ , крену γ , атаки α і нахилу траєкторії θ .

Істинним курсом літального апарата (рис.5) називають кут у горизонтальній площині між північним напрямом географічного меридіана і проекцією поздовжньої осі OX_c літального апарата на горизонтальну площину.



Рисунок 5 - Курсові кути літака: КК – компасний курс; МК – магнітний курс; ИК – істинний курс; Пн – північний істинний; Пнм – північний магнітний; Пнк – північний компасний

Курс у навігації відлічується за годинниковою стрілкою від меридіана до проекції поздовжньої осі літального апарата в межах від 0 до 360°. Для вимірювання курсу часто використовують магнітні компаси, у яких початком відліку є напрям магнітної стрілки, що встановлюється в площині магнітного меридіана точки, в якій перебуває літальний апарат.

Магнітний меридіан у загальному випадку не збігається з географічним меридіаном і відхиляється від нього на кут ΔM , названий магнітним відхиленням. Унаслідок впливу на магнітну стрілку місцевих магнітних полів виникає похибка в показаннях компаса – девіація компаса ΔK . Відповідно до початку відліку курсу розрізняють істинний курс (ИК), відлічуваний від географічного меридіана, магнітний курс (МК), відлічуваний від магнітного меридіана, і компасний курс (КК), відлічуваний від компасного меридіана (рис.5), які зв'язані співвідношеннями:

$$ИК = МК + \Delta M;$$

$$МК = КК + \Delta K.$$

Кутом тангажа ϑ називають кут між горизонтальною площиною OX_0Y_0 і поздовжньою віссю літального апарата OX_c (див. рис.3). Кут тангажа вважають додатним, якщо поздовжня вісь літального апарата відхиляється проти годинникової стрілки відносно площини горизонту, і навпаки.

Кутом крену γ називають кут між площиною горизонту і напрямом поперечної осі OY_c літального апарата (див. рис.4). Крен виникає при повороті літального апарата відносно поздовжньої осі OX_c . Кут крену вважається додатним, якщо праве крило апарата нижче від площини горизонту, і навпаки.

Для розв'язання ряду навігаційних і бойових завдань (обчислення шляху, фотографування, бомбометання і ін.) необхідно знати швидкість польоту літального апарата. В повітряній навігації розрізняють повітряну і шляхову швидкості.

Повітряною швидкістю V називають швидкість польоту літального апарата відносно повітряного середовища. Повітряна швидкість залежить від технічних властивостей літального апарата, режиму польоту, густини і температури повітря. Кожний літальний апарат має свій діапазон швидкостей від мінімальної до максимальної.

Повітряна швидкість літального апарата напрямлена по дотичній до траєкторії його руху і зазвичай не збігається з віссю OX_c зв'язаної системи координат (див. рис.3). Кут α між поздовжньою віссю OX_c літального апарата і проекцією вектора швидкості V на площину симетрії OX_0Z_0 називають кутом атаки. Кут між вектором V і горизонтальною площиною називають кутом нахилу траєкторії θ . Повітряну швидкість вимірюють у кілометрах на годину за допомогою вимірювачів швидкості, робота яких ґрунтується на принципі вимірювання швидкісного напору повітря.

Швидкість літального апарата відносно земної поверхні називають повною швидкістю V_p . Повна швидкість дорівнює геометричній сумі повітряної швидкості V і швидкості вітру U , тобто $V_p = V + U$. Горизонтальні складові векторів V_p , V і U (відповідно V_{pg} , V_g , U_g) утворюють так званий навігаційний трикутник швидкостей (рис. 6).

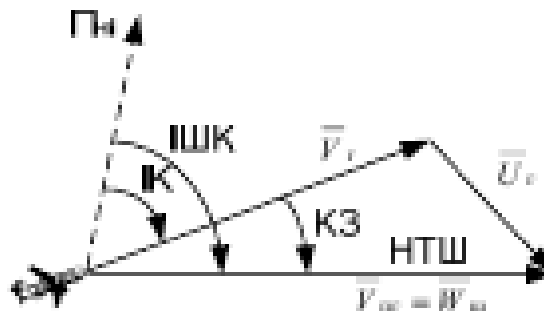


Рисунок 6 - Навігаційний трикутник швидкостей: ІК – істинний кут; ІШК – істинний шляховий кут; КЗ – кут зносу;

НТШ – навігаційний трикутник швидкостей

Горизонтальну складову повної швидкості V_p називають шляховою швидкістю $W_{ш}$.

Проекція шляхової швидкості на земну поверхню визначає напрям лінії фактичного шляху літального апарата, а кут між північним напрямом меридіана літального апарата і лінією шляху називається істинним шляховим кутом.

Кут в горизонтальній площині між проекцією поздовжньої осі літального апарата (вектором V_r) і вектором шляхової швидкості $W_{ш}$ називається кутом зносу. Кут зносу відлічується від вектора V_r у бік вектора $W_{ш}$ і вважається додатним при відліку за годинниковою стрілкою і від'ємним при відліку проти годинникової стрілки.

Для польоту в заданому напрямі необхідно враховувати вплив вітру (кут зносу) і витримувати такий курс, щоб лінія фактичного шляху збігалася з лінією заданого шляху. Курс з урахуванням кута зносу, тобто курс, за якого вектор шляхової швидкості збігається з лінією заданого шляху, називають курсом проходження.

Шляхова швидкість і кут зносу у польоті можна визначати розв'язанням навігаційного трикутника швидкостей або безпосередньо вимірювати за допомогою спеціальних радіонавігаційних пристроїв – доплерівських вимірювачів швидкості та зносу.

Розв'язуючи задачі навігації, часто доводиться визначати кутові координати літального апарата відносно відомих орієнтирів на землі. До цих орієнтирів належать всілякі радіонавігаційні наземні станції, що забезпечують визначення координат літального апарата радіотехнічними методами. Пункти встановлення таких станцій називають радіонавігаційними точками. Положення радіостанції відносно літального апарата визначається курсовим кутом і пеленгом.

Курсовим кутом радіостанції називають кут у горизонтальній площині між поздовжньою віссю літального апарата і напрямом на радіостанцію (рис.7).

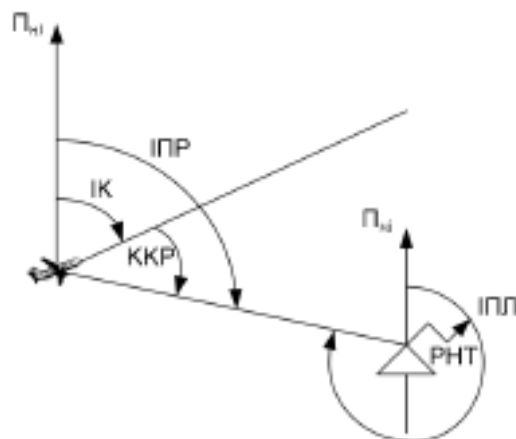


Рисунок 7 - Курсовий кут радіостанції: РНТ – навігаційна точка;
 ІПЛ – істинний пеленг літака; ККР – курсовий кут радіостанції

Курсовий кут вимірюють за допомогою бортових радіопеленгаторів і відлічують від поздовжньої осі літального апарата за годинниковою стрілкою в межах від 0 до 360°.

Пеленгом радіостанції відносно літального апарата називають кут у горизонтальній площині між північним напрямком меридіана літального апарата і напрямом на радіостанцію. Пеленг може відлічуватися від істинного (географічного) або магнітного меридіана.

Відповідно до цього його називають істинним пеленгом радіостанції (ІПР) або магнітним (МПР). Істинний пеленг називається також азимутом.

Пеленг і курсовий кут зв'язані співвідношенням $ІПР = ІК + ККР$, яким зазвичай користуються для визначення пеленга радіостанції на борту літального апарата. Для прокладання лінії пеленга на карті пеленг радіостанції перераховують у істинний пеленг літака (ІПЛ) і відраховують його від меридіана точки, де розташована пеленгована радіостанція. Щоб визначити ІПЛ, необхідно враховувати поправки на сходження меридіанів, що беруться з таблиць для заданої різниці географічних довгот місця літака й радіостанції залежно від типу картографічної проєкції. Істинні пеленги літака й радіостанції зв'язані співвідношенням:

$$ІПЛ = ІПР + 180^\circ + \Delta,$$

де Δ – поправка на сходження меридіанів.

Місцеперебування літального апарата можна визначити вимірюванням кутів між його поздовжньою віссю (або вертикаллю) і напрямками на орієнтири або між меридіанами орієнтирів і напрямками на літальний апарат, а також за допомогою вимірювань відстаней до орієнтирів або різниці відстаней до двох орієнтирів.

Зазвичай подальша обробка результатів таких вимірювань зводиться до визначення ліній положення літального апарата. Лінією положення називають геометричне місце точок, для яких навігаційний параметр літального апарата, що вимірюється, постійний.

Місце літального апарата визначають при цьому точкою перетину двох або більше ліній положення. Такий метод визначення місцеперебування літального апарата називають способом ліній положення. Спосіб ліній положення дозволяє визначати місцеположення літального апарата без урахування і навіть без знання пройденого ним раніше шляху. Зважаючи на таку позитивну якість, він набув поширення в навігації і натеper один з основних для визначення місцеперебування літального апарата.

Швидкість переміщення літального апарата відносно землі можна визначати безпосередньо за допомогою спеціальних радіонавігаційних

засобів, що працюють за принципом Доплера, або шляхом спостереження за послідовною зміною його координат.

Таким чином, за допомогою радіонавігаційних засобів можна виміряти напрями (кути), відстані, різниці відстаней і швидкості переміщення літальних апаратів.

Відповідно до цього радіонавігаційні засоби підрозділяють на кутомірні, далекомірні, різницево-далекомірні і вимірювачі вектора шляхової швидкості.

Кутомірні радіонавігаційні засоби, у свою чергу, підрозділяються на радіопеленгатори і радіомаяки.

Радіопеленгатором називають радіоприймальний пристрій, призначений для визначення напрямів (пеленгів) на джерела радіовипромінювання.

Радіомаяком називають радіопередавальний пристрій, за сигналами якого за допомогою бортового радіоприймача можна визначати напрям на радіомаяк або від нього.

Лінією положення літального апарата при використанні кутомірних систем є ортодромія (рис.8), яка проходить через місцеположення радіопеленгатора (або радіомаяка) Р і місцеперебування літального апарата М.

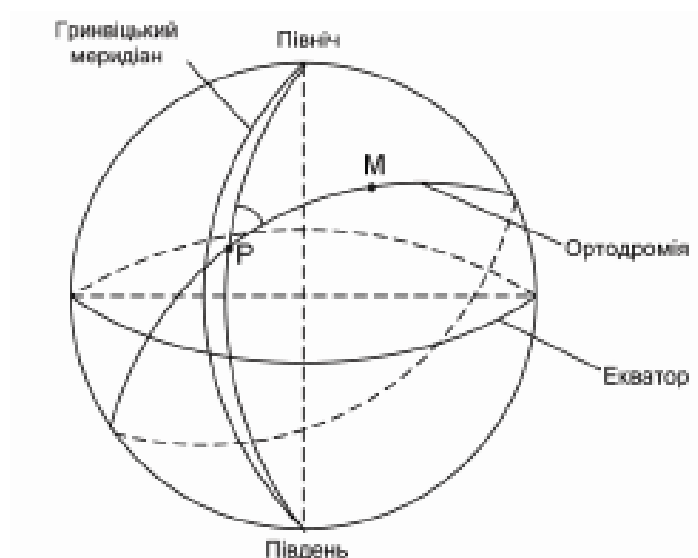


Рисунок 8 – Лінія положення кутомірної системи

На порівняно невеликих відстанях ортодромія є радіальною прямою лінією рівних пеленгів.