

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ  
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ВНУТРІШНІХ СПРАВ**

*Кременчуцький льотний коледж*

*Циклова комісія аеронавігації*

**ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ**

навчальної дисципліни

Авіаційна географія (Геоінформаційні системи та картографія)

обов'язкових компонент освітньої програми першого рівня вищої освіти

*Аеронавігація*

**за темою №3 – Системи координат**

**Харків 2023**

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Науково-методичною радою  
Харківського національного  
університету внутрішніх справ  
Протокол від 30.08.2023 № 7

**СХВАЛЕНО**

Педагогічною радою  
Кременчуцького льотного коледжу  
Протокол від 28.08.2023 № 1

**ПОГОДЖЕНО**

Секцією Науково-методичної ради  
ХНУВС з технічних дисциплін  
Протокол від 29.07.2023 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації  
Протокол від 29.06.2023 №14

**Розробник:**

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст 2-й категорії Ємець В.В.

.

**Рецензенти:**

1. Викладач циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор кафедри аеронавігаційних систем навчально-наукового інституту Аеронавігації, електроніки та телекомунікації Національного авіаційного університету, доктор технічних наук, доцент Шмельова Т.Ф.

## **План лекції**

1. Сферична система координат
2. Визначення довжини дуг паралелей і меридіанів
3. Система плоских прямокутних координат Гаусса-Крюгера
4. Ортодромічна система координат
5. Полярна система координат
6. Біполярна система координат

## **Рекомендована література:**

### **Основна**

1. В.А. Кокорін, О.К. Шейгас, О.М. Шевченко та ін. Основи повітряної навігації. Навч. Посібник, Харків: ХНУПС, 2019 р.
2. Демін В.М. Теорія і практика використання карт в авіації. - М., Машинобудування, 1969
3. Аникін О.М., Малишевський О.В. Авіаційна картографія: навч. посіб. – Л.:ОЛАГА, 1987.

### **Додаткова**

4. Лебедев М.І. Літаководіння. Навч. посібник – Ставрополь, 2003

## **Інформаційні ресурси в мережі Internet**

5. <https://www.google.com.ua>
6. <https://3planeta.com/gps-tools/ru/index.html>

## Системи координат, що застосовуються в авіації

Кутові та лінійні величини, які визначають положення точки на якій-небудь площині або поверхні, називаються **координатами**.

До систем координат, що застосовуються в авіації відносяться:

- астрономічна ( $\varphi_*$  – від  $0^\circ$  до  $\pm 90^\circ$ ;  $\lambda_*$  – від  $0^\circ$  до  $\pm 180^\circ$ );
- геодезична ( $B$  – від  $0^\circ$  до  $\pm 90^\circ$ ;  $L$  – від  $0^\circ$  до  $\pm 180^\circ$ );
- сферична ( $\varphi$  – від  $0^\circ$  до  $\pm 90^\circ$ ;  $\lambda$  – від  $0^\circ$  до  $\pm 180^\circ$ );
- ортодромічна ( $X, Y$  – в кілометрах);
- плоска прямокутна ( $x, y$  в метрах);
- полярна ( $A^\circ, D$  км);
- біполярна ( $2 P^\circ$  або  $2 D$  км).

### 1. Сферична система координат.

Для спростування формульних залежностей при рішенні задач навігації в якості моделі Землі приймають кулю (шар), тобто розрахунки виконуються на сфері визначеного радіусу  $R$  (рис.2.1).

Якщо сферу зорієнтувати так, щоб лінія з'єднуюча її полюси збігала з віссю, яка з'єднує полюси еліпсоїду обертання, то положення на поверхні сфери будуть визначатися нормальними сферичними координатами.

Таким чином, **сферичними координатами** називаються кутові величини (широта та довгота), які визначають положення точок (об'єктів) на поверхні земної сфери відносно площини екватору та начального меридіану. До них відносяться сферична широта та сферична довгота.

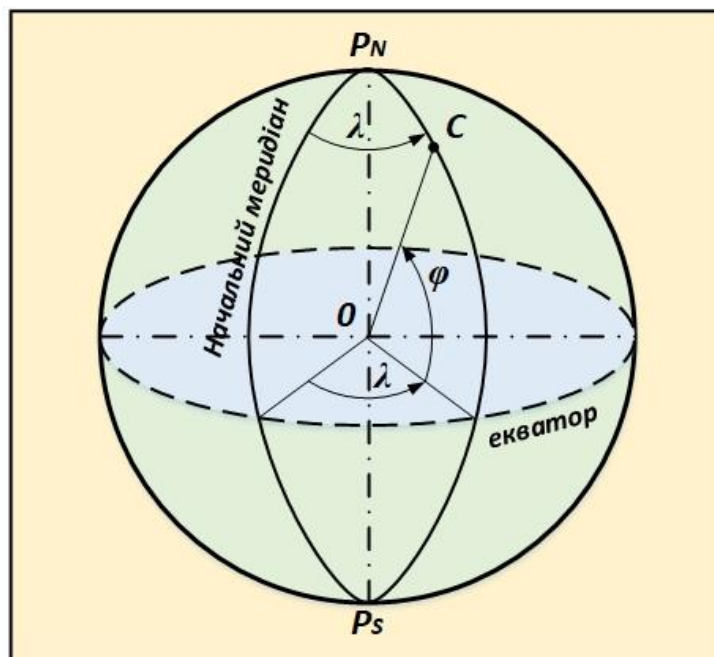


Рисунок 2.1 Сферична система координат.

**Сферичною широтою** ( $\varphi$ ) – називається кут укладений між площиною екватору і напрямом на дану точку від центру земної сфери. Заміряється центральним кутом або дугою меридіану від площини екватору до полюсів (півночі або півдня), від  $0^\circ$  до  $90^\circ$ . Геодезичні широти північної півкулі називаються північними і мають знак (+), а південної – південними і мають знак (-).

**Сферичною довготою** ( $\lambda$ ) – називається двогранний кут укладений між площиною начального (Гринвіцького) меридіану і площиною меридіану, який проходить через дану точку. Заміряється від начального меридіану на Схід та на Захід від  $0^\circ$  до  $180^\circ$ . Довготи точок, які розташовані на Схід від меридіану Гринвіча називаються східними і мають знак (+), на Захід – західними і мають знак (-).

Всі задачі у навігаційних комплексах вирішуються на поверхні земної сфери з використанням сферичної тригонометрії, тому поверхня земного еліпсоїду проєцирується на поверхню сфери. Проециувати поверхню земного еліпсоїду на поверхню сфери – це значить знайти залежність між сферичними та геодезичними координатами точок.

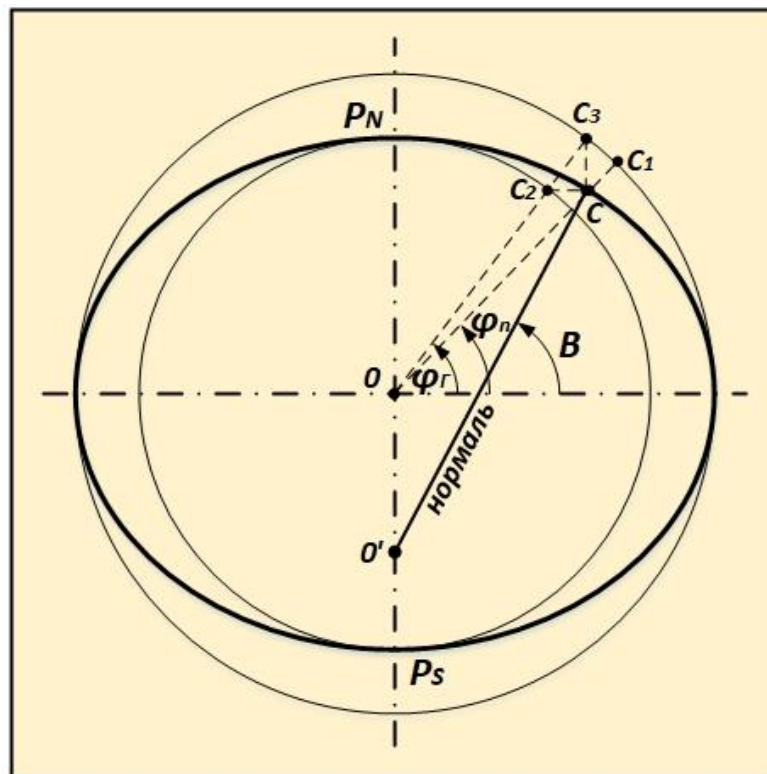


Рисунок 2.2 Геоцентрична і приведена (параметрична) широти

Величина сферичної широти даної точки залежить від того, яким способом вона перенесена з поверхні еліпсоїда на поверхню сфери. Часто точка  $C$  з поверхні еліпсоїда переноситься на поверхню сфери по напрямку радіус-вектора  $OC$  (рис.2.2) в точку  $C_1$  і її положення на меридіані визначається кутом  $\varphi_G$ , замкненим між радіус-вектором  $OC$  і площиною екватору. Цей кут називається *геоцентричної широтою*.

Зв'язок між геодезичної і геоцентричної широтами визначається співвідношенням:

$$\operatorname{tg} \varphi_{\Gamma} = \frac{b^2}{a^2} \operatorname{tg} B$$

Найбільша різниця  $B - \varphi_{\Gamma}$  досягає  $11'30''$  на широті  $45^\circ$ .

При вирішуванні деяких навігаційних задач точку  $C$  з поверхні еліпсоїда переносять на поверхню вписаної або описаної сфери перпендикулярно осі обертання еліпсоїда в точку  $C_2$  або паралельно ей в точку  $C_3$ . Центральний кут між площиною екватора і радіус-вектора  $OC_2$  ( $OC_3$ ) називається приведеною або параметричною широтою ( $\varphi_n$ ), яка розраховується по формулі:

$$\operatorname{tg} \varphi_n = \frac{b}{a} \operatorname{tg} B$$

Найбільша різниця  $B - \varphi_n$  досягає  $6'$  на широті  $45^\circ$ .

У навігаційних обчислювачах БНПК з ЦОМ застосовується рівно проміжна по меридіану проекція поверхні земного еліпсоїда на сферу.

Рівняння такої проекції на сферу з урахуванням стиснення Землі приймають вигляд:

$$\varphi = B - 8'39'' \sin 2B; \lambda = L$$

## 2. Визначення довжини дуг паралелей і меридіанів

Довжина дуги паралелі на поверхні еліпсоїда  $\Delta S_{\text{пар}}$  дорівнює добутку її радіусу  $r$  на центральний кут, який стягує цю дугу і являє собою різницю довгот  $\Delta L$ , її крайніх точок:

$$\Delta S_{\text{пар.ел}} = r \Delta L$$

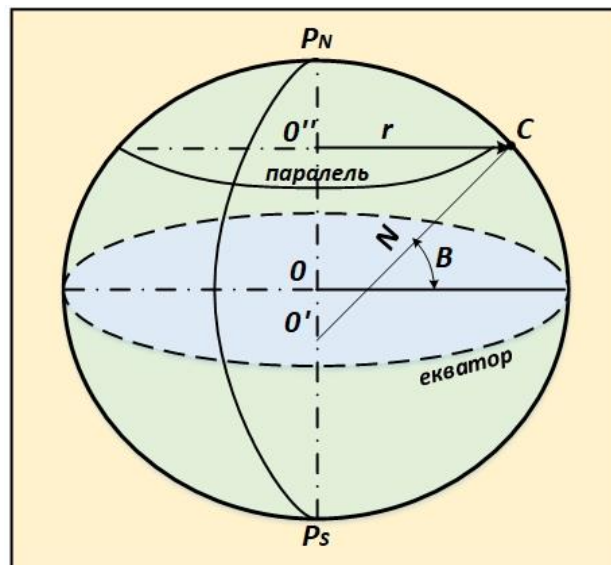


Рисунок 2.3 Радіус паралелі земного сфероїда

Як можна бачити з рис. 2.3, радіус паралелі дорівнює:

$$r = N \cos B$$

так як для еліпсоїда обертання радіус кривини першого вертикала в точці С численно дорівнює довжині нормалі від поверхні еліпсоїда до осі обертання, тому:

$$\Delta S_{нар.ел} = N \Delta L \cos B$$

(де  $\Delta L$  – в радіанах).

Якщо довжину дуги потрібно виражати в кутових секундах, то остання формула приймає вигляд:

$$\Delta S_{нар.ел} = N \cos B \frac{\Delta L''}{\rho''},$$

де  $\rho'' = 206264'',806$ .

При визначенні цієї задачі на поверхні сфери с радіусом  $R$ , формули приймають вид:

$$r = R \cos \varphi; \rightarrow \Delta S_{нар.сф} = R \Delta \lambda \cos \varphi; \Delta S_{нар.сф} = R \cos \varphi \frac{\Delta \lambda''}{\rho''}$$

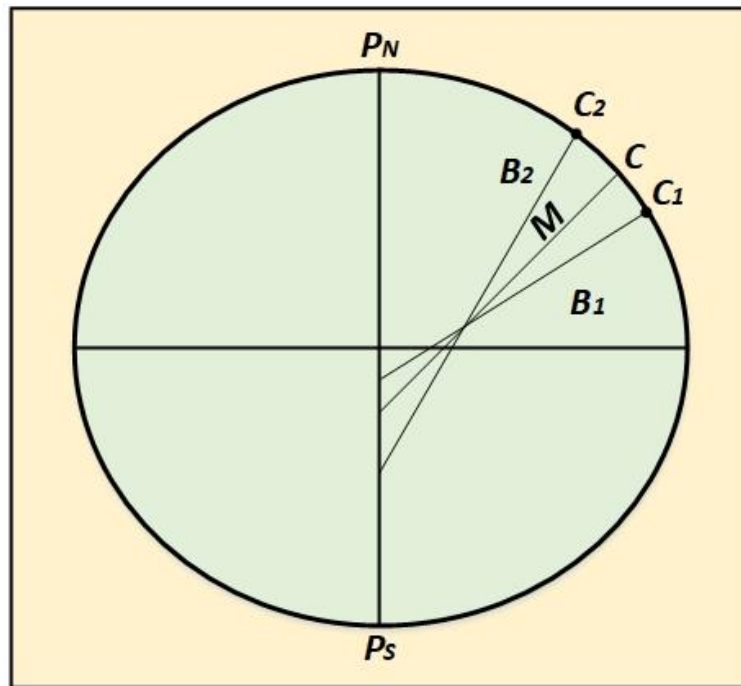


Рисунок 2.4 Елементарна ділянка еліптичного меридіана

Якщо радіус кривини меридіана  $M_{cp}$  для середньої широти  $B_{cp} = \frac{B_1 + B_2}{2}$ , то приблизне значення довжини дуги меридіана (при довжині дуги до 400-500 км):

$$\Delta S_{мер.ел} = M_{cp} \frac{\Delta B''}{\rho''} \left[ 1 + \frac{e^2 \Delta B''^2}{8 \rho''^2} \cos 2B \right]$$

де  $\Delta B'' = (B_2 - B_1)''$ .

При довжині дуги до 40-50 км:

$$\Delta S_{\text{мер.ел}} = M_{\text{ср}} \frac{\Delta B''}{\rho''}$$

Довжина дуги меридіану на сфері:

$$\Delta S_{\text{мер.сф}} = R \frac{\Delta \varphi''}{\rho''}$$

### 3. Система плоских прямокутних координат Гаусса

На топографічних картах масштабу 1:500 000 і крупніше крім геодезичної сітки наноситься прямокутна координатна сітка (рис.2.3).

Гаус запропонував поверхню земного еліпсоїда розбити меридіанами на 60 рівних зон, що стоять один від одного на  $6^\circ$ .

Прийнявши осьовий (середній) меридіан у кожній зоні за вісь  $X$  (абсцис), а екватор — за вісь  $Y$  (ординат), а їхнє перетинання за початок координат, отримаємо систему плоских прямокутних координат Гаусса для даної зони. Таким чином, кожна зона буде мати свої осі й початок координат, іншими словами, свою окрему систему координат.

Разом з тим осі координат (осьовий меридіан і екватор) і початок координат у кожній зоні будуть мати певне положення на земному еліпсоїді відносно Гринвіцького меридіана, з огляду на те, що екватор загальний. Отже, взаємозв'язок системи прямокутних координат Гауса і геодезичної системи координат досягається тим, що вісь  $X$  у кожній зоні сполучається з одним з меридіанів (осьовим меридіаном зони), а вісь  $Y$  — з екватором.

Осі координат ділять зону на чверті, рахунок яких ведеться по ходу годинникової стрілки від позитивного напрямку осі  $X$ . Положення якої-небудь точки  $M$  на площині визначається її віддаленням від координатних осей  $X$  і  $Y$ . Таким чином, плоскими прямокутними координатами називаються лінійні величини ( $x$  і  $y$ ), які визначають положення точки на площині відносно координатних осей (осьового меридіана й екватора).

У кожній шестиградусній зоні відлік координати  $X$  ведеться від екватора до полюсів. Якщо дотримуватися загального правила координат, то значення  $X$  від екватора до півночі будуть позитивними, а до півдня — негативними, а значення  $Y$  від осьового меридіана на схід будуть позитивними, а на захід — негативними.

Для того щоб уникнути негативних координат ( $Y$ ), домовилися значення ординати ( $Y$ ) осьового меридіана кожної зони приймати рівним не нулю, а 500 км. Цим самим вісь  $X$  як би переносять на захід від осьового меридіана на 500 км і називають **умовним осьовим меридіаном**. Тоді значення  $Y$  для точок, розташованих ліворуч від осьового меридіана, будуть менше 500 км, а вправо від нього — більше 500 км.

Оскільки в кожній зоні числові значення ординат повторюються, то, для того щоб по координатах точки можна було визначити, до якої зони вона відноситься, до значення ординати  $Y$  ліворуч приписується номер зони. Наприклад, координати цілі  $X = 6346650$  м,  $Y = 4522800$  м означають, що



ціль розташована на північ від екватора на відстані 6 346 650 м та на схід від свого меридіана 4-ої зони на відстані 22 800 м ( $522800 \text{ м} - 500 \text{ км} = 22800 \text{ м}$ ).

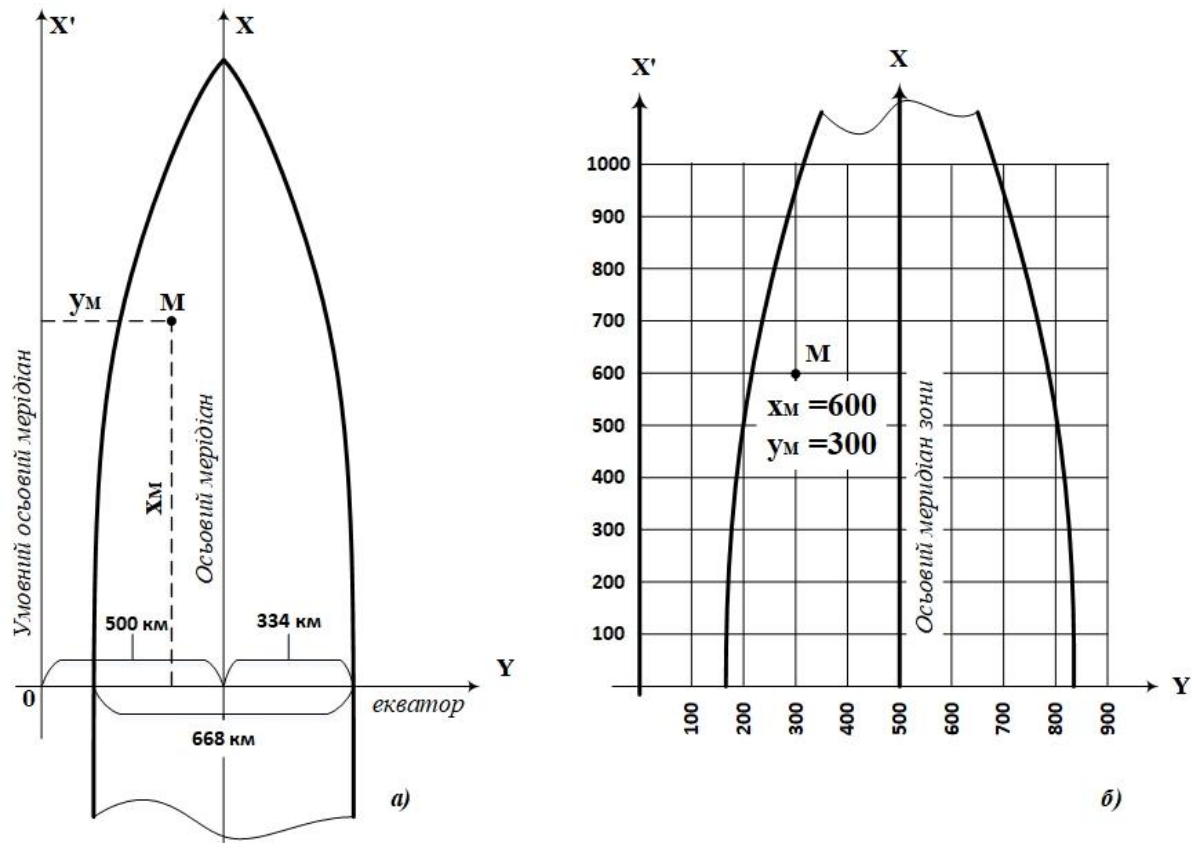


Рисунок 2.5 Прямокутна система координат Гауса

#### 4. Ортодромічна система координат

**Ортодромічна система координат** - це система, в якій на поверхні земної сфери за координатні осі якої приймаються дві взаємо перпендикулярні дуги великого кола (рис.2.6).

За вісь  $Y$  приймається ортодромічна лінія заданого шляху, вісь маршруту, істинний або магнітний меридіан. Вісь " $Y$ " називають головною ортодромією (умовним екватором).

**Ортодромія** – це лінія, з'єднуюча дві точки на поверхні земної сфери по найкоротшій відстані.

Умовний меридіан, який проходить через початок ортодромічних координат приймається за вісь " $X$ ".

За початок ортодромічних координат може бути прийнято вихідний пункт маршруту (ВПМ), ціль, або будь-яка інша точка вибрана штурманом з урахуванням особливостей застосування навігаційного обчислювального пристрою.

Положення будь-якої точки на поверхні земної сфери визначаються ортодромічною (умовною) широтою та ортодромічною (умовною) довготою.

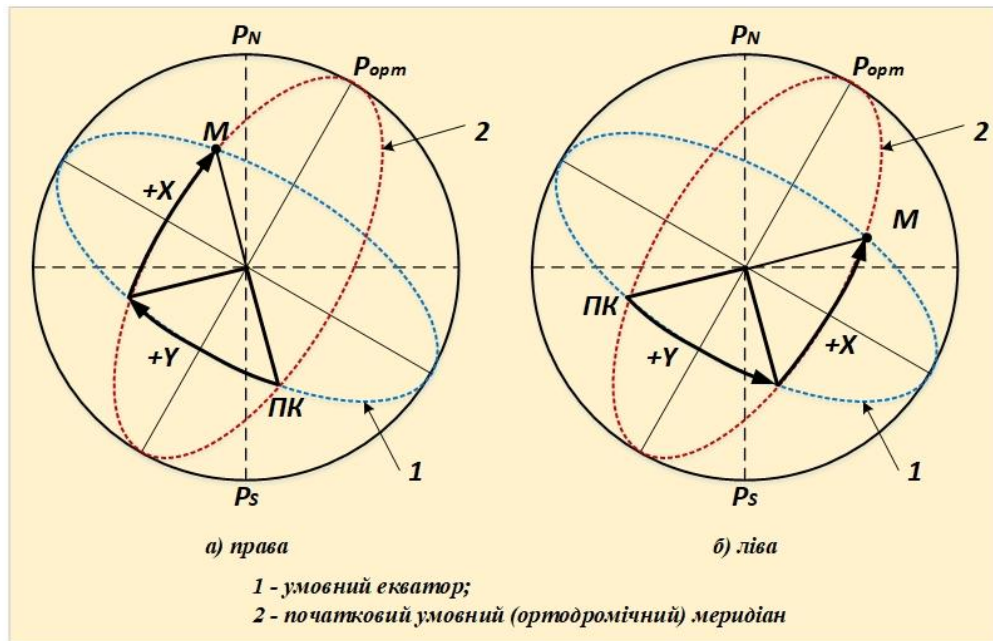


Рисунок 2.6 Ортодромічна система координат (на сфері)

Положення будь-якої точки на поверхні земної сфери визначаються ортодромічною (умовною) широтою та ортодромічною (умовною) довготою.

**Ортодромічна (умовна) довгота  $Y$**  – це довжина дуги головної ортодромії (умовного екватору) від умовного меридіану, який проходить через початок координат до умовного меридіану точки, що визначається.

Умовна довгота виражається в лінійних мірах (км), але може бути і в кутових ( $\mu = 57,3Y/R$ ).

**Ортодромічна (умовна) широта  $X$**  – це довжина дуги умовного меридіану від головної ортодромії (вісь  $Y$ ) до умовної паралелі, яка проходить через точку, що визначається. Вона теж виражається в лінійних величинах (км), або в кутових ( $\sigma = 57,3X/R$ ).

В літаководінні використовуються два види ортодромічної системи координат: права та ліва. Умовний екватор в обох системах називають **головною ортодромією**. В правій ортодромічній системі координат позитивний напрям осі  $X$  розміщується праворуч від позитивного напрямку осі  $Y$ , під кутом  $90^\circ$ , а лівій – ліворуч. Права ортодромічна система координат застосовується в обчислювальних комплексах навігаційних систем багатомісних літаків, а ліва – в БНПК одномісних літаків.

## 5. Полярна система координат

**Полярними координатами** – називаються кутові та лінійні величини, які визначають положення точок на площині відносно начала координат, що приймається за полюс, та полярної осі (рис.2.7).

Місцеположення будь-якої точки визначаються кутом положення, відрахованим від полярної осі (пеленг,  $A^\circ$ ), до напрямку на визначаєму точку, та відстанню від полюсу до цієї точки ( $D$ ).

За полярну вісь можуть бути прийняти:

- істинний або магнітний меридіан;
- вертикальна лінія сітки;
- напрям на любий орієнтир.

Кути положення замірюються від  $0^\circ$  до  $360^\circ$  по ходу часової стрілки.

Полярна система координат знайшла широке застосування в авіації в куто–дальномірних радіонавігаційних системах (РСБН, VOR-DME), при різних навігаційних розрахунках, при цілевказівках, орієнтування та при створенні різних графічних документів.

В полярній системі координат працює РСБН, в котрій місце положення літака визначається двома координатами:

- істинним азимутом (пеленгом);
- горизонтальною дальністю.

**Істинний азимут (пеленг)** – це кут заміряний від істинного меридіану, який проходить через вісь обертання антени РСБН, до напрямку на літак.

**Горизонтальна дальність** – це відстань від РСБН до літака.

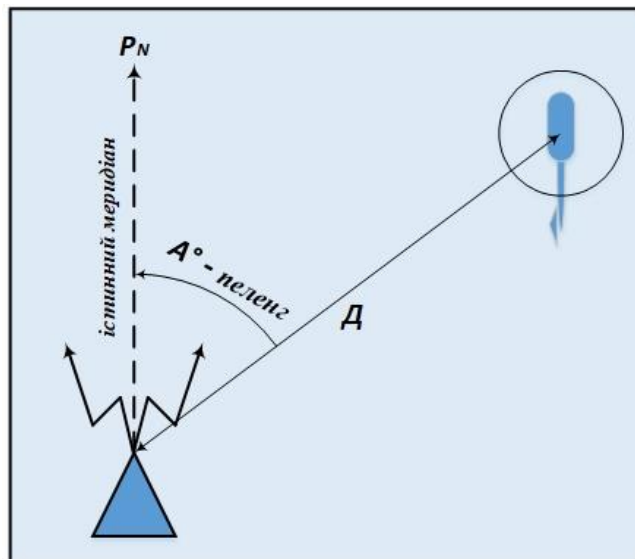


Рис. 2.7 Полярна система координат

## 6. Біполярна система координат

**Біполярними координатами** – називаються дві кутові або дві лінійні величини, які визначають місце положення літака на площині відносно двох вихідних точок (полюсів, рис.2.8).

Положення будь-якої точки на карті або місцевості позначається двома координатами. Цими координатами можуть бути:

- два кути положення;
- дві відстані від полюсів до визначеної точки.

Біполярна система координат знайшла застосування у кутомірних радіонавігаційних системах при визначенні місця літака, місця знаходження цілей, орієнтирів та при топографічних зйомках, як спосіб засічки.

При визначенні місця літака, наприклад за допомогою автоматичного радіокомпасу (АРК) визначають пеленг на літак від першої радіостанції, а потім пеленг на літак від другої радіостанції. По двом пеленгам на карті визначають місце літака.

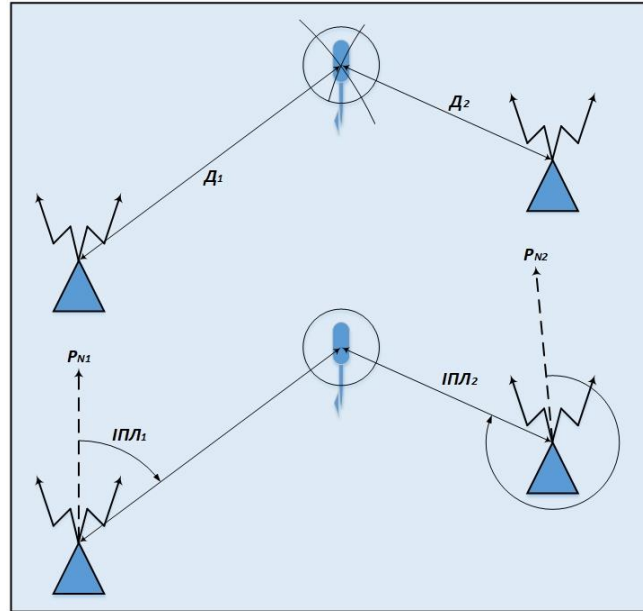


Рис. 2.8. Визначення місця літака по двох пеленгах