

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

КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ

Циклова комісія авіаційного транспорту

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

**з навчальної дисципліни «ОСНОВИ АЕРОНАВІГАЦІЇ»
обов'язкових компонент
освітньої програми першого (бакалавр) рівня вищої освіти
272 Авіаційний транспорт (Аеронавігація)**

за темою №3.1 – «Політ по ортодромії»

Харків 2021

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 23.09.21р. № 8

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного
коледжу Харківського
національного університету
внутрішніх справ
Протокол від 22.09.21р. № 2

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 22.09.21р. № 8

Розглянуто на засіданні циклової комісії аеронавігації протокол від 10.09.2021
№2

Розробник: викладач циклової комісії аеронавігації, спеціаліст вищої
категорії, викладач – Журід В.І.

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. Ортодромія та її властивості.
2. Поняття про лінії рівних азимутів та відстаней

Рекомендована література:

Базова

1. Черный М.А. Воздушная навигация. М.Транспорт,1991, 432с.
2. Марков В.И. Воздушная навигация . Кировоград,2003, 574с.
3. Марков В.И. Аэронавигационное обеспечение полетов на международных воздушных линиях. Кировоград, 2004, 320 с.
4. Киселев В.Ф. Справочник пилота и штурмана ГА. М.Транспорт, 1988, 319с.
5. Луцкий Ю.С. Конспект лекций по воздушной навигации, Кременчуг,1994, 142с.
6. Луцкий Ю.С. Воздушная навигация. Кременчуг,2001, 128с.

Додаткова

1. Лопатников Ю.И. Применение навигационного комплекса вертолета Ми-26, Кременчуг,1990, 100с.
2. Старков Н.В. Применение навигационного комплекса вертолета Ми-8МТВ. Кременчуг,1996, 158с.
3. Миронович М.В. Летная эксплуатация навигационного оборудования вертолета Ка-32. Кременчуг,2002, 85с.
4. Миронов Н.Ф. Штурманское обеспечение полетов в ГА. М.Машиностроение, 1987, 167с.
5. Збірник аеронавігаційної інформації корпорації Jeppesen (EURORE).

1. ОРТОДРОМІЯ ТА ЇЇ ВЛАСТИВОСТІ.

Шлях літака між двома заданими точками на карті може бути прокладений по ортодромії або локсодромії. Вибір способу прокладки шляху залежить від оснащення літака навігаційним обладнанням. Кожна із зазначених ліній шляху має певні властивості.

Ортодромією називається дуга великого кола, що є найкоротшою відстанню між двома точками А і В на поверхні земної кулі (рис. 1).

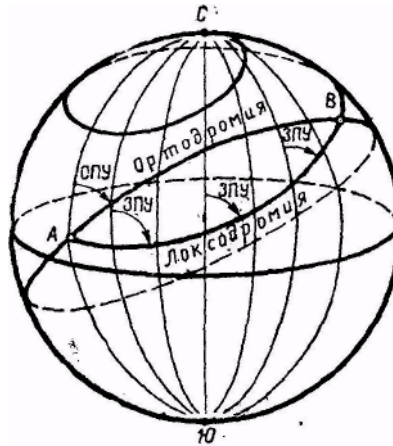


Рис. 1. Ортодромія та локсодромія

Ортодромія має наступні властивості:

- 1) є лінією найкоротшої відстані між двома точками на поверхні земної кулі;
- 2) перетинає меридіани під різними, нерівними між собою кутами внаслідок сходження меридіанів у полюсів.

Екватор і меридіани є окремими випадками ортодромії. Через дві точки на земній поверхні, розташовані не на протилежних кінцях прямої, що проходить через центр Землі, можна провести тільки одну ортодромію. Умовилися шлях літака по ортодромії називати ортодромічним, а напрямок польоту по ортодромії вказувати ортодромічним шляховим кутом (ОШК), заключний між північним напрямком меридіана й лінією заданого шляху в початковій точці ортодромії. В окремому випадку, коли ортодромія збігається з меридіаном або екватором, ортодромічний шляховий кут залишається постійним і рівним у першому випадку 0 або 180°, а в другому — 90° або 270°.

Політ по ортодромії за допомогою магнітного компаса виконати не можливо, тому що в цьому випадку необхідно було б змінювати напрямок польоту літака від меридіана до меридіана, що здійснити практично неможливо. Тому такий політ виконується за допомогою спеціальних курсових приладів - гіронапівкомпаса або курсової системи.

На польотних картах, складених у видозміненій поліконічній проекції, ортодромія між двома пунктами, розташованими на відстані до 1000-1200 км,

прокладається прямою лінією, а на більших відстанях - кривою лінією, зверненою випуклістю до полюса. У першому випадку ОШК й довжина шляху по ортодромії вимірюється по карті. У другому випадку ортодромія наноситься на карту по проміжних точках, а ОШК й довжина шляху по ортодромії розраховуються по спеціальних формулах.

У якості вихідних даних для математичного розрахунку ОШК й довжини ортодромії служать географічні координати її вихідного й кінцевого пунктів. Ці координати визначаються з точністю до хвилини по відповідних довідниках або знімаються безпосередньо на польотній карті.

Довжина шляху по ортодромії між двома точками розраховується по формулі

$$\cos S_{орт} = \sin \varphi_1 \sin \varphi_2 + \cos \varphi_1 \cos \varphi_2 \cos (\lambda_2 - \lambda_1),$$

где $S_{орт}$ — довжина шляху по ортодромії в градусах дуги;

φ_1 и λ_1 — координати вихідної точки ортодромії;

φ_2 и λ_2 — координати кінцевої точки ортодромії.

Щоб отримати довжину шляху ортодромії в кілометрах, потрібно отриманий по формулі результат виразити в хвилинах дуги й помножити на 1,852 км.

Ортодромічний шляховий кут (напрямок ортодромії у вихідній точці маршруту) розраховується по формулі

$$\operatorname{ctg} \alpha = \cos \varphi_1 \operatorname{tg} \varphi_2 \operatorname{cosec} (\lambda_2 - \lambda_1) - \sin \varphi_1 \operatorname{ctg} (\lambda_2 - \lambda_1).$$

При великій довжині ортодромія наноситься на карту по проміжних точках. Координати φ і λ цих точок розраховуються по формулі

$$\operatorname{tg} \varphi = A \sin (\lambda - \lambda_1) + B \sin (\lambda_2 - \lambda) \operatorname{tg} \varphi_2$$

$$A = \frac{\operatorname{tg} \varphi_2}{(\sin \lambda_2 - \lambda_1)}; \quad B = \frac{\operatorname{tg} \varphi_1}{(\sin \lambda_2 - \lambda_1)}.$$

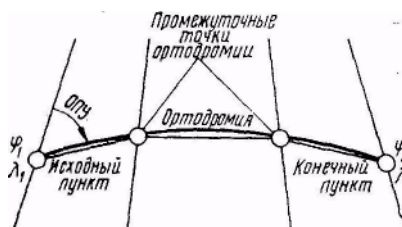


Рис. 2. Прокладка ортодромії

При цьому звичайно задаються довготою λ (через 10—20°) і визначають широту φ кожної проміжної точки. Коефіцієнти A и B для всіх проміжних точок залишаються незмінними. Щоб забезпечити високу

точність кінцевих результатів, розрахунок по зазначених формулах ведеться по п'ятизначних таблицях тригонометричних функцій. По обчислених координатах наносять проміжні точки на карті, а потім через ці точки проводять ортодромію у вигляді плавної кривої лінії (рис. 2) або у вигляді відрізків прямих, що з'єднують обчислені точки ортодромічного шляху.

Висновки. Математичний розрахунок ортодромії дає гарну точність, але пов'язаний із громіздкими обчисленнями. Тому іноді ортодромію наносять на польотну карту за допомогою навігаційного глобуса або сітки, складеної в центральній полярній проекції, на якій ортодромія для будь-яких відстаней зображується прямою лінією. Використовуючи цю властивість сітки, можна зробити графічний розрахунок ортодромії. Для цього на сітці з'єднують початкову й кінцеву точки ортодромії прямою лінією. На цій прямій намічають проміжні точки. Потім по координатах переносять їх на польотну карту й через отримані на польотній карті точки проводять ортодромію.

ПОНЯТТЯ ПРО ЛІНІЇ РІВНИХ АЗИМУТІВ ТА ВІДСТАНЕЙ

ЛІНІЯ РІВНИХ АЗИМУТІВ

Лінією рівних азимутів (ЛРА) (рис. 3) називається така лінія положення, у всіх точках якої кут між істиним меридіаном літака й ортодромічним напрямком на наземну радіостанцію має ту саму величину. Цей кут є істиний пеленг на радіостанцію.

Лінія рівних азимутів знайшла застосування в літаководінні при визначенні місця літака по пеленгах наземних радіостанцій, обмірюваним з літака за допомогою радіокомпасу, а також по висоті й азимуту світила. При астрономічному методі в кожній точці ЛРА постійною величиною є азимут світила.

Тому що лінія рівних азимутів у будь-якій точці перетинається ортодромічним пеленгом (ортодромією), тоді як рівняння ЛРА можна застосувати формулу, по якій обчислюється шляховий кут ортодромії:

$$\operatorname{ctg} \Pi = \cos \varphi_{\text{л}} \operatorname{tg} \varphi_{\text{р}} \cos (\lambda_{\text{р}} - \lambda_{\text{л}}) - \sin \varphi_{\text{л}} \operatorname{ctg} (\lambda_{\text{р}} - \lambda_{\text{л}});$$

де

Π - пеленг (азимут радіостанції), тобто шляховий кут ортодромії;

$\varphi_{\text{л}}, \lambda_{\text{л}}$ — поточні координати літака;

$\varphi_{\text{р}}, \lambda_{\text{р}}$ — координати радіостанції.

Дослідження показали, що ЛРА на земній поверхні має вигляд складної кривої, що перетинає меридіани під різними кутами. Побудувати ЛРА на картах можна тільки по координатах її точок, які розраховуються по формулі. Для цього досить підставити замість $\varphi_{\text{р}}$ і $\lambda_{\text{р}}$ значення координат радіостанції, а потім для певних значень Π задаються довготою $\lambda_{\text{л}}$ і знаходять широту $\varphi_{\text{л}}$.

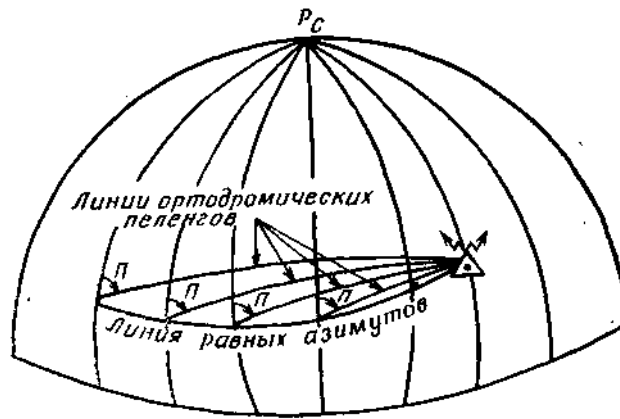


Рис. 3. Лінія рівних азимутів на сфері

При польотах на невеликих видаленнях від наземної радіостанції без шкоди для практичної точності кривизною Землі можна зневажити, прийняти її обмежену ділянку за площину. Тоді меридіани й ортодромічні пеленги (ортодромії) зобразяться прямими, а ЛРА - окружністю, що проходить через полюс і наземну радіостанцію (рис. 4).

На рис. 4 у точці P сходяться ортодромічні пеленги, а в точці P_{Π} — меридіани.

У будь-якій точці окружності ортодромічний пеленг радіостанції Π має ту саму величину, тому що всі вписані кути Π опираються на ту саму хорду $P_C P$.

Лінію ортодромічного пеленга можна прокладати на картах заздалегідь, при підготовці до польотів, або безпосередньо в польоті після визначення за допомогою радіокомпаса (АРК) ортодромічного пеленга. Заздалегідь підготовлена карта з ортодромічними пеленгами полегшує роботу штурмана в польоті. Підготовка карти полягає в нанесенні на неї ортодромічних пеленгів від 2-3 наземних радіостанцій.

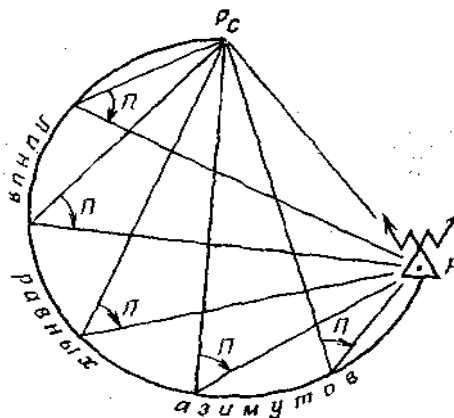


Рис. 4. Лінія рівних азимутів на площині

Лінії ортодромічного пеленга наносять звичайно з інтервалом 10° для кожної радіостанції своїм кольором у межах району, польотів прямими

лініями. Біля кожної радіостанції ортодромічні пеленги (ІПЛ - істинний пеленг літака) відцифровуються тим кольором, яким нанесені пеленги (рис. 5).

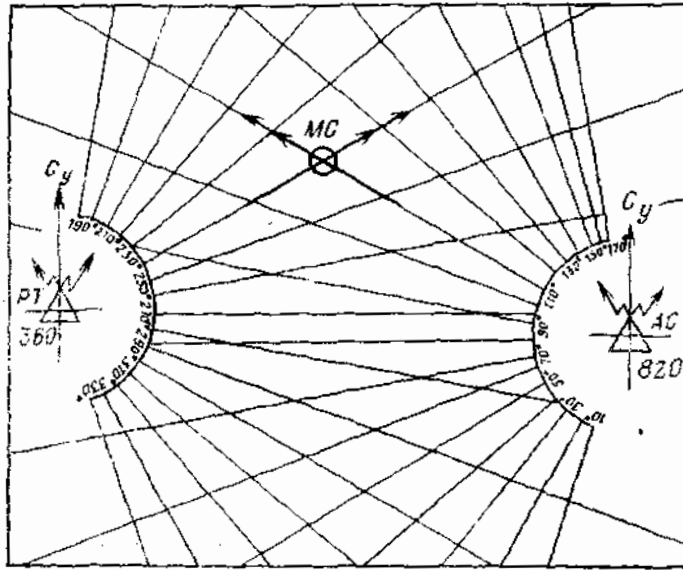


Рис. 5. Сітка ортодромічних пеленгів

При заміні ортодромічних пеленгів радіостанцій прямою лінією треба враховувати кут сходження меридіанів δ :

$$\text{ІПЛ} = \text{ІПР} \pm 180^\circ + \delta;$$

$$\delta = (\lambda_p - \lambda_l) \sin \varphi_{\text{ср}},$$

де

λ_p — довгота радіостанції;

λ_l — довгота літака;

$\varphi_{\text{ср}}$ — середня широта листа карти.

Кут сходження меридіанів радіостанції й літака враховується тому, що істинний пеленг радіостанції вимірюється від меридіана літака, а ІПЛ — від меридіана радіостанції. Ці меридіани розгорнуті відносно один одного на величину сходження меридіанів δ . Кут сходження меридіанів не враховується, якщо різниця довготи вищезгаданих меридіанів менше 2° . Тоді

$$\text{ІПЛ} = \text{ІПР} \pm 180^\circ$$

ЛІНІЯ РІВНИХ ВІДСТАНЕЙ

Лінією рівних відстаней (ЛРВ) називається така лінія, всі точки якої знаходяться на однаковому видаленні від деякої точки на земній поверхні. Лінія рівних відстаней використовується при рішенні задач навігації за допомогою далекомірної й кутомірної-далекомірної систем, а також при вимірі висоти світила.

На поверхні земної кулі лінія рівних відстаней має вигляд окружності малого кола, що має сферичний радіус r , центр його перебуває в крапці ПРО, до якої вимірюється відстань (рис. 6).

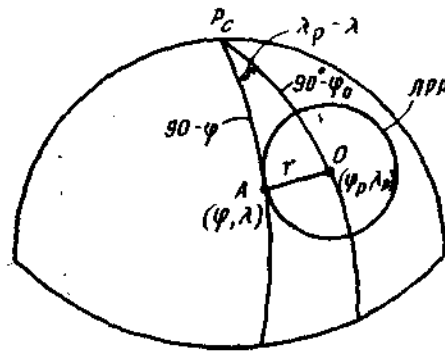


Рис. 6. Лінія рівних відстаней

З сферичного трикутника $P_n AO$ по формулі косинуса сторони можна одержати рівняння лінії рівних відстаней:

$$\begin{aligned} \cos r &= \cos (90^\circ - \varphi) \cos (90^\circ - \varphi_p) + \\ &+ \sin (90^\circ - \varphi) \sin (90^\circ - \varphi_p) \cos (\lambda_p - \lambda) \\ &\text{або} \\ \cos r &= \sin \varphi \sin \varphi_p + \cos \varphi \cos \varphi_p \cos (\lambda_p - \lambda) \end{aligned}$$

При використанні далекомірних радіотехнічних систем високої точності лінії рівних відстаней на картах будують по координатах проміжних точок з урахуванням стиснення Землі. ЛРВ на картах можна побудувати за допомогою спеціального побудувача, що називається орбітопрокладником.