

**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 № 6 - Авіаційні доплерівські вимірювачі швидкості та кута зносу

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

Науково-методичною радою
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 30.08.23 № 7

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.23 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.23 № 7

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного і радіоелектронного
обладнання, протокол від 28.08.2023 № 1

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

Рецензенти:

1. К.т.н., спеціаліст вищої категорії, викладач-методист циклової комісії
авіаційного і радіоелектронного обладнання Шмельов Ю.М.
2. Інженер з технічного обслуговування, ремонту та діагностики авіаційної
техніки ТОВ «ЕЙР ТАУРУС» Калінін О.В.

План лекції

1. Загальні відомості про доплерівські вимірювачі шляхової швидкості
2. Багатопроміньові доплерівські вимірювачі швидкості та кута зносу

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.І.Рубец. Аеронавігаційні радіотехнічні системи. Навчальний посібник/ Під.ред. М.І.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 радіообладнання. 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. Загальні відомості про доплерівські вимірювачі шляхової швидкості

Визначення шляхової швидкості та істинного шляхового кута завжди викликало найбільші труднощі під час керування рухом літальних апаратів. Ці два основні елементи польоту потрібні для обчислення шляху та автономного визначення дійсного місцеперебування літального апарата.

В авіації широко застосовують автономні доплерівські вимірювачі вектора шляхової швидкості, які дозволяють визначати шляхову швидкість $W_{ш}$ і кут зносу α безпосередніми вимірюваннями.

Знання цих навігаційних елементів за відомого курсу і повітряної швидкості V дає змогу визначати істинний шляховий кут літального апарата, швидкість W і напрям вітру δ .

Для пояснення принципу дії доплерівського вимірювача шляхової швидкості та кута зносу (ДВШКЗ) розглянемо найпростіший ДВШКЗ, що працює в режимі неперервного випромінювання, діаграма напрямленості антени якого має одну пелюстку. Функціональну схему однопроменевого вимірювача зображено на рис. 1.

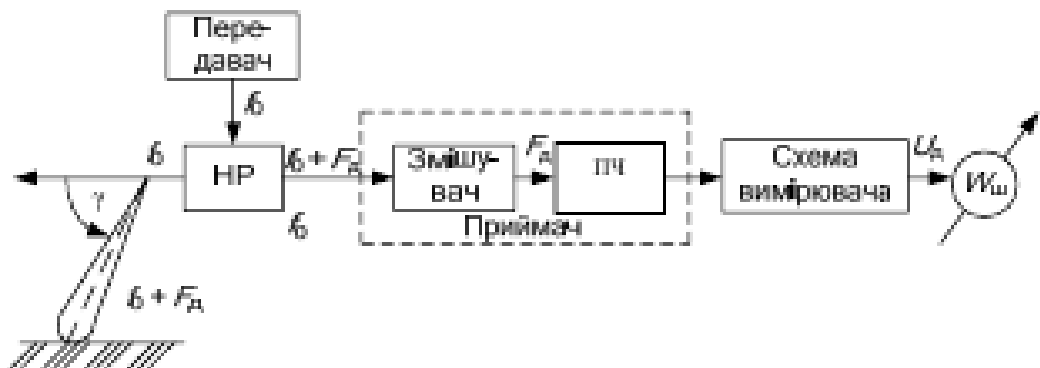


Рисунок 1 – Функціональна схема однопроменевого вимірювача

Передавач вимірювача генерує синусоїдні сигнали високої частоти f_0 , які через напрямлений розподільник надходять до антени і випромінюються нею в напрямі до землі. Відбиті від нерівностей земної поверхні радіохвилі мають доплерівський зсув за частотою, сприймаються антеною і через напрямлений розподільник надходять на змішувач приймача. На змішувач приймача, окрім відбитих радіосигналів $f_0 + F_d$, надходять також ослаблені прямі радіосигнали передавача частоти f_0 , що пройшли через розподільник. У результаті взаємодії цих сигналів на виході змішувача утворюється напруга різницевої, тобто доплерівської частоти F_d . Ця напруга підсилюється підсилювачем (ПЧ) і подається на вимірювальну схему (частотомір), яка видає

постійну напругу U_d , пропорційну за величиною доплерівській частоті F_d . Ця напруга подається на індикаторний стрілковий прилад, шкала якого градується в одиницях швидкості $W_{ш}$.

Покажемо, як за допомогою однопроменевого доплерівського вимірювача можна визначити шляхову швидкість і кут зносу літального апарата. Припустимо, що літальний апарат здійснює горизонтальний політ ($V_{пз} = 0$) з повітряною швидкістю V , шляховою швидкістю $W_{ш}$ (нагадаймо, що при $V_{пз} = 0$ вектор шляхової швидкості в горизонтальній площині $V_{г}$ дорівнює вектору повної швидкості $V_{п}$ і має кут зносу α (рис.2, а)).

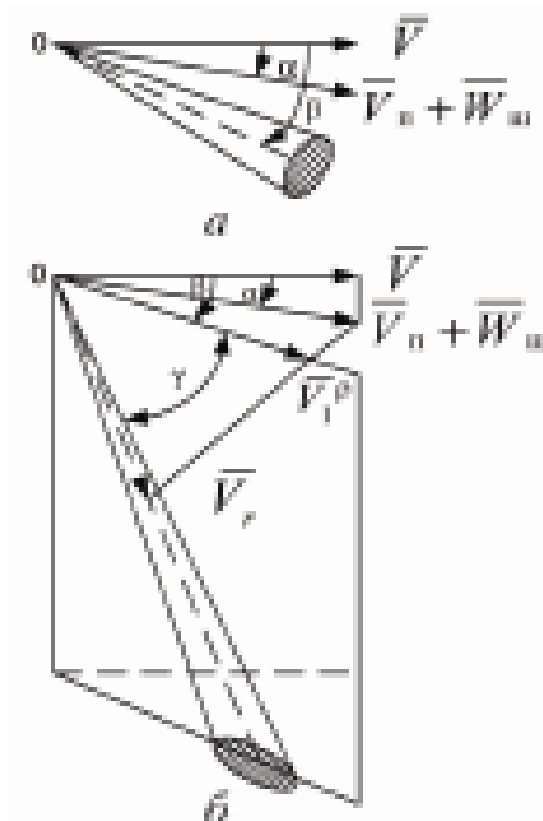


Рисунок 2 - Геометричні співвідношення однопроменевого доплерівського вимірювача

Тоді складову вектора шляхової швидкості у напрямі випромінювання (тобто радіальну складову) V_r знайдемо відповідно до рис.2, б таким чином:

$$V_r = V_{п} \cos \gamma = V_{п} \cos (\beta - \alpha) \cos \gamma.$$

Однопроменеві доплерівські вимірювачі в разі коливань літака мають порівняно великі помилки результатів вимірювання кута зносу і шляхової швидкості. Для підвищення точності вимірювань шляхової швидкості і кута зносу літака застосовують багатопроменеві ДВШКЗ.

На закінчення можна відзначити, що авіаційні радіонавігаційні пристрої і системи розвиваються за трьома напрямками. Перший напрям пов'язаний з використанням у радіонавігаційних засобах сучасних досягнень у галузі технології виробництва радіоапаратури. Упровадження мікроелектроніки, елементів твердотільної конструкції дозволяє істотно зменшити габарити і масу радіонавігаційної апаратури і на декілька порядків підвищити її надійність.

Другий напрям стосується удосконалення радіонавігаційних пристроїв і систем, а також пошуку нових принципів їх побудови.

Він реалізується за рахунок застосування ширококутових псевдощумових сигналів і оптимальних методів оброблення радіосигналів.

Прикладами розроблення нових систем є радіонавігаційні системи з використанням ШСЗ, кореляційно-екстремальні системи навігації та ін.

Третій напрям пов'язаний зі створенням і вдосконаленням комплексних систем навігації. При цьому розвиток комплексних систем, крім удосконалення однофункціональних комплексів, відбувається завдяки створенню багатофункціональних комплексів. Так, наприклад, для літальних апаратів створюються об'єднані системи зв'язку, навігації і розпізнавання. Це дозволить значно зменшити загальну кількість антенно-фідерних пристроїв і електронних блоків на літаку.

2. Багатопроточні доплерівські вимірювачі швидкості та кута зносу

Доплерівський вимірювач швидкості та кута зносу (ДВШКЗ) вимірює параметри вектора швидкості ПК: шляхову швидкість, тобто швидкість відносно земної поверхні, та кут зносу – кут між напрямком поздовжньої осі ПК і дійсним напрямком руху.

ДІСС відноситься до автономних бортових пристроїв, працюючих за сигналами, відбитими від землі. В основу принципу дії ДІСС закладений принцип Доплера, що полягає в тому, що з рухомого НД відбувається опромінення земної поверхні, то відбитий сигнал буде відрізнятися від випромінюваного по частоті. Вимірюючи на НД доплерівська частота дозволяє визначити шляховий кут і кут зносу, для цього ВЧ сигнал передавача випромінюється через щілисту антену.

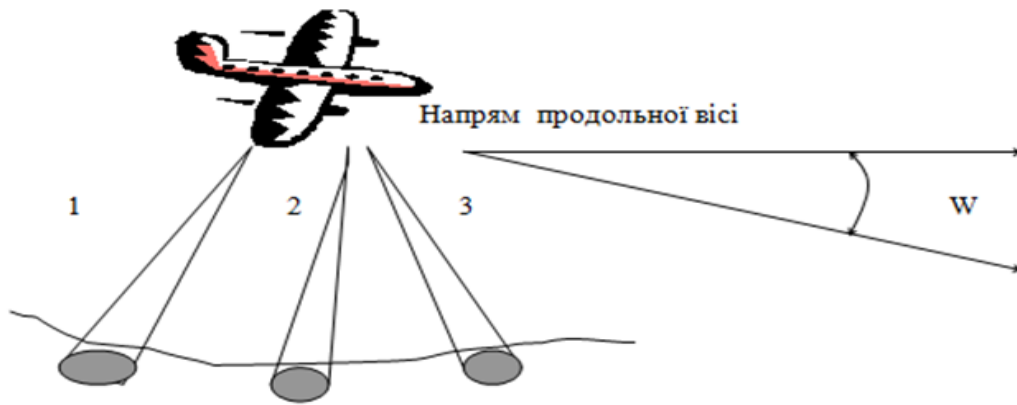


Рисунок 3 – Формування зони випромінювання ДІСС

У доплерівському вимірювачі швидкості та кута зносу застосовується похиле опромінення земної поверхні; він визначає параметри вектора швидкості за спектром частот сигналу, відбитого землею. Внаслідок ефекту Доплера виникає зсув частот між випромінюваним та відбитим сигналом. Для підвищення точності ДВШКЗ випромінює не один, а три або чотири промені в різних напрямках. Похибка вимірювання зазвичай не перевищує 0,5 % за швидкістю та $0,2^\circ$ за кутом зносу. Частота випромінюваних сигналів становить 13325 ± 75 МГц.

Під шляховою швидкістю ЛА зазвичай розуміють горизонтальну проекцію його швидкості відносно земної поверхні. Шляхова швидкість W пов'язана з повітряною швидкістю V і швидкістю вітру U навігаційним трикутником, в якому кут між векторами повітряної і шляхової швидкості називається кутом знесення, оскільки його причиною є вітер. Доплерівський вимірювач дозволяє безпосередньо визначити шляхову швидкість по спектру частот сигналу, відбитого землею поверхнею, ґрунтуючись на ефекті Доплера, що полягає в зміні частоти відбитого від об'єкта сигналу залежно від швидкості руху цього об'єкта.

Найбільш розумним способом збільшення точності вимірювання швидкості є застосування багатопроменевих вимірників, випромінюючих у двох, трьох або чотирьох напрямках.

Багатопроменеві вимірювачі вектора швидкості, засновані на ефекті Доплера, діляться на літакові і вертолітні. У літакових ДІСС вимірюється поздовжня і поперечна складові вектора швидкості, тоді як у вертолітних системах вимірюється ще й вертикальна складова швидкості. Крім того, у літакових ДІСС заздалегідь невідомий знак вектора швидкості, який може бути і нульовим в режимі зависання. Відрізняються максимальні значення вимірюваних швидкостей, висотний стеля вимірювання - у літакових систем вони в десятки разів вище. Проте обсяг вихідних даних вертолітних вимірювачів більше через необхідність виміру повного вектора швидкості. Вертолітні ДІСС застосовуються також для здійснення м'якої посадки космічних апаратів, а літакові - для управління крилатими ракетами і екранопланом.

Розглянемо принцип дії багатопроменевих ДІСС для горизонтального польоту, при якому вектор W завжди спрямований вперед, а вертикальна складова швидкості відсутня. Щоб зрозуміти необхідність використання трьох або чотирьох променів, вивчимо спочатку двопробіневі системи.

При вимірі шляховий швидкості і кута зносу антенна система повертається до суміщення спектрів сигналів на виході каналів приймача, що відповідають двом променям антени. При цьому вісь симетрії променів сполучена з вектором W , а кут між цією віссю і віссю літака дорівнює куту знесення. Точність двопробіневої системи вища, ніж у однопробіневої, так як при повороті антени промені перетинають лінії рівних частот під кутом, близьким до прямого, а це забезпечує велику чутливість системи.

Якщо при вимірюванні рівність частот і встановлено неточно то це призводить до похибки у визначенні кута зносу, проте майже в 30 разів меншою, ніж у однопробіневої системи. Однак похибка через крен залишається приблизно такою ж, як у однопробіневої системи, тобто невиправдано високою.

Точність вимірювання шляховий швидкості значно підвищується при використанні двосторонніх систем, що мають промені, спрямовані вперед і назад. Таке конструктивне рішення дозволяє знизити похибки вимірювання шляховий швидкості ще в 3-5 разів. Однак похибка вимірювання кута зносу залишається майже такий же, як і у однопробіневої системи.

До складу системи входять антена, приймач та обчислювач, що вимірює зсув частот і обчислює за ним шляхову швидкість та кут зносу.

Оскільки за допомогою GNSS можна виміряти шляхову швидкість, тому ДВШКЗ не застосовуються в обладнанні авіоніки сучасного ПК.

Однопробіневі радіо вимірювач швидкості, проте, не знаходять застосування через дуже низьку точність вимірювання. Неточність ця викликана, в першу чергу, неточністю суміщення осі ДНА з вектором W через похибки вимірювання. Другою важливою причиною похибок вимірювання швидкості однопробіневим приладом є крен ЛА. Ця похибка досягає 0.05 % відхилення показань приладу від дійсної швидкості на кожен градус крену літального апарату.

Похибку крену можна компенсувати за рахунок стабілізації антени ЛА в горизонтальній площині або введення поправок на крен при обробці даних в обчислювальному пристрої. Однак це, природно, призводить до ускладнення й обважнення обчислювача, не усуваючи при цьому органічних недоліків однопробіневого методу вимірювань, до яких також відносяться високі вимоги до стабільності частоти вимірюваних коливань.

Найбільш розумним способом збільшення точності вимірювання швидкості є застосування багатопроменевих вимірників, випромінюючих у двох, трьох або чотирьох напрямках. Очевидно, що одночасне підвищення точності вимірювання та кута зносу, і шляховий швидкості дає лише застосування в системі трьох або чотирьох променів.

Домігшись поворотом антеною системи рівності різницевої частоти, можна визначити кут зносу по положенню антеною системи щодо осі літака, а шляхову швидкість - по виміряній різницевої частоті.

При нерухомою щодо осі літака антеною системі значення W і знаходять шляхом шляхом ви рішення нескладних рівнянь з допомогою обчислювального пристрою.