**Лекція №4 Радіовисотоміри (2 години)**

І. Вступ

ІІ. Основна частина.

1. Терміни та визначення. Загальні відомості. Апаратура висотомірів малих висот.
2. Принцип дії РВ. Основні параметри радіовисотомірів.

ІІІ. Заключення

Література: №№1, 2, 3 стр.:

При здійсненні польоту ПС основним засобом контролю висоти польоту є барометричні висотоміри. На літаках їх встановлюють не менше двох. Їм притаманні інструментальні, аеродинамічні та методичні похибки. Для точного витримування заданого ешелону висоти H760 (висота по атмосферному тиску 760 мм рт. с) до кожного барометричного висотоміру для найвигідніших швидкостей польоту додається таблиця необхідних показань висотоміру з урахуванням сумарної поправки на погріш. Як приклад наведемо цю таблицю 4.

Табліця 4

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Висота ешелону, м | 900 | 1200 | …….. | 6000 | и т. д. |
| Приладова швидкість, км/г | 830 | 820 | ….…. | 705 | и т. д. |
| Показання висотоміра з урахуванням ΣΔH, м | 950 | 1230 | …….. | 6080 | и т. д. |

На дійсних висотах польоту менше 1500м ефективним засобом вимірювання висоти польоту ПС є радіовисотоміри.

Основне завдання вимірювання істинної висоти польоту полягає у попередженні зіткнень з наземними перешкодами при польоті на невеликих висотах H<1500м.

Радіовисотомери малих висот у цих умовах польоту призначені для вимірювання істинної висоти польоту, а також формування світлової та звукової сигналізації заданих висот. Дамо кілька визначень.

Висота істинна - відстань від ВС до розташованої під ним точки поверхні, що підстилає.

Висота небезпечна (прийняття рішення) – значення поточної висоти, що вибирається пілотом по індикатору висотоміра.

Висота залишкова - сумарне значення половини електричних довжин кабелів від приймача радіовисотоміра і половини мінімальної довжини шляху від передаючої антени до підстилаючої поверхні і від підстилаючої поверхні до приймальної антени.

Підстилаюча поверхня - ділянка земної поверхні, що відображає сигнали передавача РВ.

Висотність - максимальна висота польоту ПС, на якій забезпечується визначення висоти з похибкою, що не перевищує допустимого значення.

Інформація про висоту польоту ПС, одержувана за допомогою радіовисо-томера малих висот, відіграє важливу роль при заході літака на посадку.

Починаючи з висоти приблизно 200м, в систему траєкторного управління ВС від РВ надходять сигнали, які служать для зменшення коефіцієнта передачі по каналу глісади від максимального значення до нуля за висотою початку вирівнювання (15 ... 20м). Ці ж сигнали використовуються для зменшення вертикальної швидкості зниження до значення 0,45 м/с на початку вирівнювання і зменшення приблизно в 2 рази коефіцієнта передачі системи автоматичного управління по каналу курсу в міру зниження ВС.

Особливість РВ – автономність. У всіх РВ використовуються діапазон частот 4300 МГц.

Типи РВ відрізняються видом частотної модуляції (ЧМ) випромінюваного сигналу та обробки відбитого сигналу.

Частина висотомірів (РВ-5, А-031) реалізують широкосмугову обробку перетвореного сигналу, одержуваного в результаті змішування випромінюваного та відбитого ЧС сигналів.

Частина висотомірів (А-037, РВ-85) реалізують вузькосмугову обробку і містять схеми підтримки постійного значення частоти перетвореного сигналу.

Визначення висоти польоту ВС засноване на принципі радіолокації з використанням відбитого від земної поверхні сигналу (мал.12).

**Н**

**А-1 А-2**

### Н

### отр.

Сигнал

**земля**

Рис. 12.

**Вимірювач висоты**

**Передавач**

**Приймач**

Мал.12

Передавач формує ЧС коливання, що випромінюються антеною А-1. Відбитий сигнал надходить на антену А-2 і приймач. Вимірювач висоти виробляє сигнал, пропорційний часу поширення коливань до земної поверхні і назад tH = 2H / c, а отже, пропорційний поточній висоті польоту.

**U(H)**

**Fм 1 Fδ 4**

**2**

**f1 f2**

**А-1 А-2**

**ГНЧ**

**УРЧ**

**ЧМГ**

**БС**

**ИЧ**

**Мал.13**

Принцип дії РВ з широкосмуговою обробкою перетвореного сигналу (рис.13) заснований на частотному методі вимірювання часу запізнення tH.

Генератор низької частоти (FM≈150Гц) виробляє напругу UM, що керує частотою f1 зондуючого ЧС сигналу, що формується в генераторі ЧМГ. Антена А-1 служить для випромінювання сигналу у бік земної поверхні. Відбитий сигнал з антени А-2 надходить на балансний змішувач БС, куди подається частина потужності зондувального сигналу.

Запізнення сигналу призводить до відмінності миттєвої частоти f2 в спектрі відбитого ЧС сигналу від миттєвої частоти f1 зондуючого ЧС сигналу. Поза інтервалами часу, що відповідають переходу частоти биття

Fδ=| f1-f2 |,

через нульове значення, ця частота випливає з рис.14 дорівнює

Fδ=,

Для визначення H слід виміряти Fδ. З цією метою сигнал після БС (перетворений сигнал) посилюється в підсилювачі різницевої частоти (частоти биття) УРЧ і надходить на вимірювач частоти ІЧ, з якого знімається напруга U(H), пропорційний висоті польоту. Вимірювач частоти визначає Fδ.ср середнє значення частоти биття.

При пилкоподібному законі частотної модуляції (рис.14)

Fδ.ср = Fδ(1-2tН/ТМ)

та практично збігається з Fδ при tH<<TM.

**UГНЧ**

**TM/2 TM t**

**TM/4 3TM/4**

**f Fδ Δf**

**fH**

**f1 f2**

**tH t**

**Fδ**

**Fδ.ср t**

Мал.14

Крім симетричного пилкоподібного закону ЧС модуляції в РВ застосовують інші закони (табл.5).

Таблиця 5.

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Закон частотної модуляції | Інформативний параметр | Масштабний коефіцієнт |
| Гармонійний.  Пилоподібний симетричний.  Пилоподібний несиметричний із вимірюванням Fδ.  Пилоподібний несиметричний з вимірюванням TM (вузькосмуговий) | Fδ.ср=8c-1FM∆fH  Fδ.ср=8c-1FM∆fH  Fδ.1=2c-1FM∆fH\*  TM=2c-1Fδ.1-1∆fH | MF=0,125cTM∆f -1  MF=0,125TM∆f -1  MF=0,5TM∆f -1  MF=0,5cFδ.1∆f--1 |

У широкосмугових РВ вимірювач частоти побудований на основі аналогового вимірювача - лічильника числа нульових переходів частоти биття Fδ.

Блок-схема тракту обробки (ІЛ) широкосмугового РВ наведено на рис.15.а, а графіки сигналів у характерних точках наведено на рис.15.б.

Для зменшення впливу перешкод (шумів) на точність РВ використовують попередню фільтрацію сигналу у схемі підсилювача смугового ПУ. Смуга пропускання фільтрів залежить від вимірюваної висоти польоту. При включенні РВ, коли необхідне значення смуги фільтрації невідомо, схема пошуку перемикає фільтри та переглядає всю ділянку спектра відбитого сигналу.

**а) от БС б) Uс**

**1**

**t**

**1 Uс**

2

**2 Uс**

**3**

**t**

**3 Uс**

**4**

**t**

**4**

**ФИ**

**СИ**

**ФНЧ**

**ПУ**

Мал.15

Блок-схема вузькосмугового радіовисотоміра А-037 наведена на рис.16.

**TМ(Н)**

**А-2**

**БС**

**УПФ**

**СУ**

**ОА**

**ЧД**

**А-1**

**ЧМГ**

**ГМЧ**

Мал.16

Вузькосмуговий РВ має смугу пропускання тракту обробки ∆Fобр=∆Fс=const. У такому РВ використовується стежить система, що поєднує середню частоту спектра відбитого сигналу Fс.c з частотою налаштування f0 вузькосмугового фільтра УПФ.

Вузькосмугові РВ мають підвищену точність навіть при невеликих відносинах потужності сигналу і шуму на вході РВ.

Сигнал з балансного змішувача БС надходить на вузькосмуговий фільтр УПФ, смуга пропускання якого ∆FУПФ=∆Fс. Очищений від перешкод сигнал надходить на обмежувач амплітуди ОА і далі на частотно-чутливий елемент - частотний детектор ЧД. Частоти налаштування УПФ, ОА та ЧД дорівнюють f0≈30кГц. Частотний детектор виробляє напруга, величина та полярність якого залежить від величини та знака різниці ∆F=Fс.c-f0. Ця напруга інтегрується у схемі управління СУ і використовується для вимірювання частоти генератора ГМЧ, сигнал якого здійснює частотну модуляцію ЧМГ.

Слідкуюча система прагне звести величину ∆F до нуля. Таким чином підтримується рівність Fс.c=f0 при будь-якій висоті польоту, яка визначається зі співвідношення

H=0,125cf0∆f -1TM=M2TM,

тобто. для знаходження висоти потрібно виміряти період коливань ГМЛ.

На початковому етапі роботи РВ необхідний пошук перетвореного сигналу, при якому частота FM змінюється до тих пір, поки спектр преутвореного сигналу не потрапить у смугу пропускання УПФ (∆F ≈18 кГц) і не набуде чинності система стеження за Fс.c.

Точність визначення висоти РВ малих висот оцінюється сумарною похибкою

σH= ,

де ν - інформативний параметр (частота биття або період модуляції); і σH - середньоквадратичні похибки визначення інформаційного параметра сигналу та висоти; - Середньоквадратична похибка (нестабільність) масштабного коефіцієнта М.

Нестабільність масштабного коефіцієнта призводить до похибки

σH1=Н/М.

Зменшення σH1 домагаються за рахунок схем стабілізації, що підтримують М = const.

Сумарна похибка РВ при М = const (σH2 = М) залежить тільки від значення М і точності вимірювання інформативного параметра.

Для зменшення σH2 доцільним є зменшення М т. е. підвищення чутливості РВ по висоті

SH=1/М

Значення інструментальної похибки (2 ) близькі до 0,002Fδ.c і 0,0016ТМ у широкосмуговому та вузькосмуговому РВ відповідно.

Принципи побудови апаратури загальні всім РВ малих висот. До складу РВ входять приймач і покажчик висоти з органами управління РВ. Однакові структурні схеми передавачів і приймачів. Аналогічна та видається РВ інформація. Основні відмінності РВ різних типів – метод обробки перетвореного сигналу та спосіб зменшення впливу нестабільності масштабного коефіцієнта. До складу РВ зазвичай включають барометричний реле, що відключає його на висотах більше 3 ... 4 тис. м.

Антенний пристрій РВ будь-якого типу складається з передавальної та приймальної антен, які повністю ідентичні.

Це або антени зворотної хвилі, або рупорні.

Ширина діаграми спрямованості лише на рівні 3дБ становить 600 чи 400, а коефіцієнт посилення 8…12дБ.

Антени розміщуються на відстані не менше 1м одна за одною на нижній частині фюзеляжу ПС.

Допускається зміщення паралельних осей симетрії антен, що не перевищує 0,1м.

Структурну схему загальних елементів РВ різних типів наведено на рис.17.

**Uст**

**к А-1 Uупр**

**ВЧГ**

**от А-2 Fδ**

**U(H)**

**В-2**

**В-3**

**БС**

**ЧМГ**

**УРЧ**

**М**

**СФ**

**УО**

**В-1**

**НО**

Мал.17

Передавальний тракт РВ містить модулятор М, який під дією напруги Uупр формує сигнал, що визначає закон зміни частоти випромінюваних коливань. Останні виробляє генератор ЧМГ, сигнал якого надходить на високочастотну головку ВЧГ. Вентили В-1, В-2, В-3 служать для розв'язування високочастотних елементів. Направлений відгалужувач АЛЕ необхідний отримання опорного сигналу балансного змішувача БС, і навіть сигналу Uст , що надходить пристрій стабілізації масштабного коефіцієнта. Замість АЛЕ часто застосовують дільники потужності. Приймальний тракт починається з балансного змішувача БС. Для компенсації послаблення відбитого сигналу зі збільшенням висоти застосовують підсилювач різницевої частоти (частоти биття), АЧХ якого забезпечує зростання посилення на 6дБ при підвищенні частоти биття в 2 рази.

Для усунення паразитної амплітудної модуляції в широкосмугових РВ використовують підсилювач обмежувач УО (для аналогічних цілей у вузькосмугових РВ використовують ОА).

Система стежать фільтрів СФ служить для обмеження смуги обробки сигналу в широкосмугових РВ. У вузькосмугових РВ як УФ використовують УПФ (див. рис.5), а УРЧ відсутня.

Інформація від РВ зазвичай видається у аналоговому вигляді, хоча є РВ (РВ-85) з цифровим виходом.

Вихідні сигнали, крім даних про висоту польоту, зазвичай містять інформацію про небезпечну висоту Hоп. Ця інформація у вигляді звукового сигналу видається в літаковий переговорний пристрій при зниженні НД до висоти Hоп. Установка Hоп проводиться пілотом на вимірнику висоти.

Всі РВ забезпечені вбудованими схемами контролю (ТСК) за допомогою яких формуються сигнали «Справність» або «Відмова» та готовність «Гот». У виробленні сигналів ТСК зазвичай бере участь і система стабілізації масштабного коефіцієнта.

Основні параметри радіовисотомірів малих висот наведено у табл.6

Висота H1 становить 10, 10 та 60м для РВ-5, А-031 та А-037; H2 - відповідно 10, 20, 20м.

Як видно з аналізу даних таблиці 6 всі типи радіовисотомірів з широкосмугової та вузькосмугової обробки сигналів мають приблизно однакову похибку вимірювання висоти при H ≥ H1 і H=0…H1.

Радіовисотомір РВ-5 суттєво програє висотоміру А-037 за випромінюваною потужністю, що забезпечує однакову

Табліця 6

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Параметр | РВ-5 | А-031 | А-037 |
| Несуча частота, ГГц  Діапазон вимірюваних висот, м  Похибка (2σ) вимірювання висоти за лінійним виходом (за вказівником висоти) на висотах:  0…H1\*, м  H>H1% від H  Похибка (2σ) сигналізація небезпечної висоти щодо шкали вказівника висоти на висотах:  0…H2\*, м  H>H2% від H  Випромінювана потужність, Вт  Девіація частоти, МГц  Частота основної модуляції, Гц  Чутливість приймача, дБ  Потужність від мережі:  115В, 400 Гц, ВА  27В постійного струму, Вт  маса, кг  Об'єм приймача, дм3 | 4,3  0…750  0,6(0,8)  6(8)  0,5  5  0,4  50  150  85  100  10  10  12,5 | 4,3  0…1500  0,6(1)  6(10)  0,5  3  0,1  50±10  120…600  85  65  30  11,3  10 | 4,3  0…1500  0,6+0,05  6(10)  2  (10)  0,15  100  -  87  10  30  6…7  3 |

точність виміру Н (0,4 Вт проти 0,15). Споживання потужності від мережі змінного струму у РВ-5 удесятеро більше, ніж у А-037. А сумарна потужність споживання від мережі змінного та постійного струму у РВ-5 приблизно в 3 рази більша ніж у А-037.

Істотний виграш у А-037 має місце за обсягом приймача (3 дм3 проти 12,5 дм3 у РВ-5).

Незважаючи на очевидні переваги вузькосмугового радіовисотоміру А-037 в порівнянні з широкосмуговим висотоміром РВ-5 або А-031, всі типи висотомірів знаходять практичне застосування.

Це з особливостями експлуатації літаків і гелікоптерів, які мають різні тактичні і технічні характеристики, різну маневреність і аеродинамічні характеристики.

Наприклад, для ВС, призначених для виконання складних польотних маневрів за короткі проміжки часу більш підходящими є РВ з широкосмуговою обробкою перетвореного сигналу, оскільки вони мають більш просту і більш швидкодіючу систему пошуку інформаційного сигналу.

Висотомір А-037 навпаки більш інерційний через використання схеми автосупроводу інформаційного параметра, отже, він схильний до зриву стеження, тобто втрати відстежуваного параметра при складних маневрах.

Тому його доцільніше використовувати на великих вантажо пасажирських літаках цивільної авіації.