

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ
Циклова комісія аеронавігації**

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «НАВІГАЦІЯ «РАДІОНАВІГАЦІЯ»
обов'язкових компонент
освітньо-професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти
Аеронавігація

за темою №2.6 – «Доплеровський вимірювач»

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

СХВАЛЕНО

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

ПОГОДЖЕНО

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

Розглянуто на засіданні циклової комісії авіаційного транспорту
протокол від _____ № _____

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

Рецензенти:

1. Професор циклової комісії аеронавігації, кандидат технічних наук,
старший науковий співробітник, викладач-методист Тягній В.Г.
2. Професор циклової комісії авіаційного і радіоелектронного
обладнання, к.т.н., спеціаліст вищої категорії Гаврилюк Ю.М.

План лекції.

1. Призначення та склад вимірювача.
2. Числення шляху по даним доплеровського вимірювача швидкості та зносу.
3. Підготовка до польоту. Застосування ДИСС в польоті.

Рекомендована література (основна, допоміжна), інформаційні ресурси в Інтернеті

Основна література:

1. Чорний М.А. Повітряна навігація Кіровоград, 2004, 432 с.
2. Марков В.І. Аеронавігаційне забезпечення польотів на міжнародних повітряних лініях. Кіровоград, 2004, 320 с.
3. Луцький Ю.С Конспект лекцій з повітряної навігації.Кременчук,1994 142 с.
4. Луцький Ю.С. Повітряна навігація. Кременчук, 2001, 128 с.

Допоміжна література:

1. Лопатніков Ю.І. Застосування навігаційного комплексу вертольота Мі-26, Кременчук, 1995, 100 с.
2. Старков Н.В. Застосування навігаційного комплексу вертольота Мі-8МТВ. Кременчук, 1996, 158 с.
3. Миронович М.В. Льотна експлуатація навігаційного обладнання вертольота Ка-32. Кременчук, 2002, 85 с.
4. Положення про використання польотного простору України.
5. Правила польотів ПС в повітряному просторі України.
6. Наказ Мінтранспорту України № 283 від 16.04.2003 р.
7. Наказ Державної служби України з нагляду за забезпеченням безпеки авіації № 295 від 28.04.2005

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. uksatse.ua
2. youcontrol.com.ua
2. youcontrol.com.ua

Доплерівські вимірювачі швидкості і кута зносу

ДІСС - універсальні і високоефективні автономні навігаційні прилади. Вони відрізняються високою точністю при порівняно малих масі, габаритних розмірах і енергоспоживанні. ДІСС входять до складу сучасних бортових навігаційних комплексів як їх елементу, будучи датчиком інформації про швидкість, вдало доповнює інформацію, що отримується від інших радіо- і геотехнічних засобів.

За допомогою ДІСС можна також отримувати інформацію про такий небезпечному метеорологічному явище, як зсув вітру. Зрушенням вітру називається явище швидкого просторового зміни напрямку і швидкості ветра. Очевідно, що зрушення вітру становить небезпеку, особливо при пілотуванні ВС на невеликих висотах, і, зокрема, при посадці.

Про існування зсуву, вітру можна судити, зіставляючи дані про швидкість і напрям вітру в земної поверхні, одержувані на аеродромі, з даними, що отримуються на борту ВС. Якщо ці дані сильно розрізняються, то велика ймовірність наявності зсуву ветра. Інформація про швидкість і напрям вітру в точці розташування ТС може бути отримана за даними про шляховий швидкості, що надходять від ДІСС і повітряної швидкості від бортового вимірювача аеродинамічного типу. Інформація про швидкість вітру у землісообщается екіпажу диспетчером.

Ефект Доплера і його використання для радіонавігаційних вимірів.

При вимірі шляховий швидкості і кута зносу використовується ефект Доплера. Ефект Доплера полягає в тому, що частота прийнятих коливань виявляється відмінною від частоти випромінюваних коливань, якщо відстань між випромінювачем і приймачем змінюється, т. Е.єслі випромінювач і приймач рухаються один щодо одного.

При зміні відстані між приймачем і передавачем частота прийнятих коливань буде відрізнятися від частоти випромінюваних коливань на величину, пропорційну радіальної складової швидкості їх взаємного переміщення. Якщо в точці С (рис.41) встановлено передавач, що випромінює гармонійні коливання з частотою ω виду $e = E \cos \omega t$, то прийняті коливання в точці С.

$$e_{\text{пр}} = E_{\text{пр}} \cdot \cos \omega (t - t_3) = E_{\text{пр}} \cdot \cos (\omega t - 2\omega \cdot r / c); t_3 = R / c.$$

Припустимо, що відстань $г$ с часом змінюється, т.е. $г = г(t)$.
Визначимо частоту сигналів в точці прийому. Так як частота дорівнює похідною від фази по часу, то

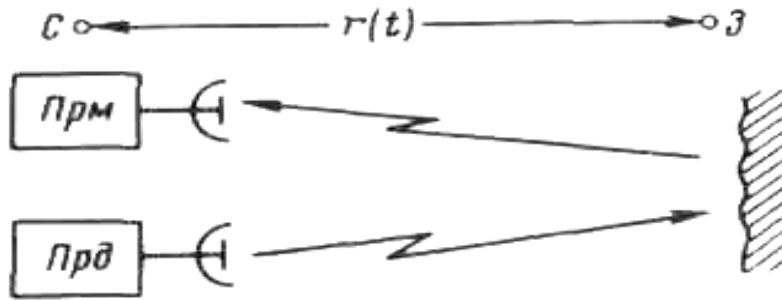


Схема реєстрації ефекту Доплера

$$\omega_{пн} = \partial \phi_{пн} / \partial t = -\partial (\omega t - 2\omega \cdot r / c) / \partial t = \omega - 2\omega / c \cdot \partial r / \partial t,$$

де $-\partial r / \partial t$ - швидкість зміни відстані $г$, що дорівнює радіальної складової швидкості взаємного переміщення точок С і З.

З формули випливає, що при зміні відстані між спостерігачем і відображає предметом частота сигналів виявляється не рівної частоті випромінюваних сигналів. Кутові (їх частоназивають круговими) частоти коливань $\omega_{пн}$ і ω розрізняються на величину $\Omega_{п}$

$$\omega_{пн} - \omega = \Omega_{п} = - (2\omega / c) \cdot \partial r / \partial t = -2\pi f \cdot (\partial r / \partial t) / \lambda.$$

Частоти прийнятих і випромінюваних коливань відрізняються на величину

$$F_{п} = \Omega_{п} / 2\pi = - (2 \cdot \partial r / \partial t) / \lambda,$$

$$\partial \mathbf{r} / \partial t = W \cos \beta.$$

бращення сигналів
і, розташованого в
емента, на який

$$W_2 = W_1 \cdot \cos\gamma = W \cdot \cos\theta \cdot \cos\gamma$$

Якщо промінь антени орієнтований в напрямку польоту, то $\partial g / \partial t < 0$.

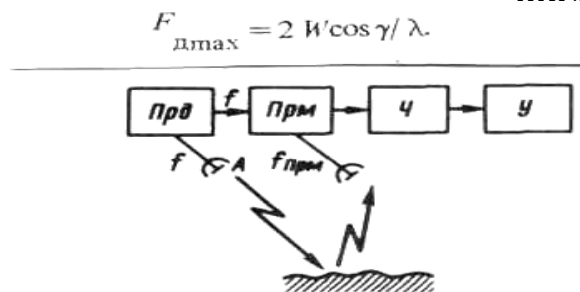
В цьому випадку доплеровское зміщення частоти позитивно:

$$F_{\text{л}} = 2W \cdot \cos\theta \cdot \cos\gamma / \lambda$$

Проводячи вимірювання доплерівського зсуву частоти, можна визначити значення і напрямок шляховий швидкості ВС. Припустимо, що є можливість повертати ДНА щодо ВС навколо вертикальної осі. При повороті можна знайти таке положення ДНА, при якому доплеровское зміщення частоти досягає свого максимального значення. Це станеться тоді, когдугол θ стане рівним нулю, т. Е. Коли вектор шляхової швидкості W виявиться в тій же вертикальній площині, в якій розташовується і вісь ДНА. При цьому кут між вертикальною площиною, проходящей через вісь ДН, і вертикальною площиною, що проходить через подовжню вісь ВС, буде дорівнює куту знесення α . Цей кут вимірюється і відображається відповідними показчиками.

Якщо фіксується максимальне значення доплерівського зсуву частоти, справедливо співвідношення:

$$F_{\text{max}} = 2W \cos\gamma / \lambda.$$



Спрощена схема ДІСС

Так як кут γ і довжина хвилі λ відомі, то за вимірюванням максимального значення доплерівського зсуву частоти можна розрахувати шляхову

швидкість:

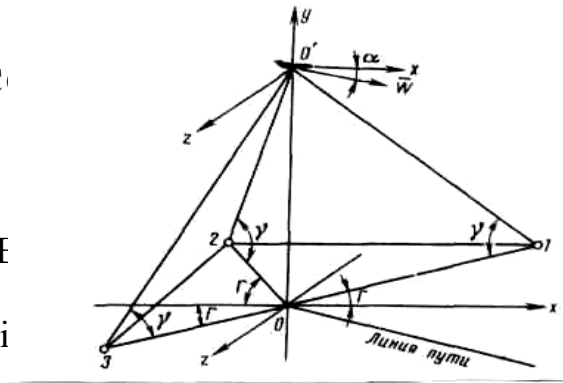
$$W = F_{\text{л max}} \lambda / 2 \cos\gamma$$

Цю операцію виконує обчислювач, який входить в состав доплеровского пристрою або до складу БНК. З викладеного ясно, що для визначення путньої швидкості і кута зносу на борту ПС необхідно розташовувати передавачем, приймачем, спрямованої антеною А, частотоміром Ч, обчислювачем і показчиками швидкості і кута зносу У (рис.43).

Особливості реалізації доплеровских вимірювачів швидкості.

З опису принципу дії найпростішого доплерівського вимірювача видно, що кут нахилу осі ДНА до горизонту γ повинен

бути стабілізований функціонування ДІС вплив кута γ на швидкості, а також зносу в умовах, закріплюється на І Найбільш широкого ДН, яких орієнтовані



ітися в процесі ого і виключити уля шляховий мірювання кута ДІСС жорстко юменеві ДІСС. еневі ДІСС, осі

Орієнтація осей пелюсток ДНА в трипроменевою ДІСС

На цьому рисунке буквами x, y, z позначені осі связанной системи координат, цифрами 1,2,3 - точки перетину осей ДН з поверхнею Землі, буквами γ, Γ, α - кути між осями ДН і горизонтальною поверхнею, кути між горизонтальними проекціями цих осей і віссю x і кут зносу. З огляду на співвідношення, наведені на рис.44, для доплеровских зрушень частоти по променям 1, 2, 3 отримаємо наступні значення:

$$F_{\text{л } 1} = (2W / \lambda) \cdot \cos (\Gamma + \alpha) \cos \gamma; F_{\text{л } 2} = - (2W / \lambda) \cdot \cos (\Gamma - \alpha) \cos \gamma;$$

$$F_{\text{л } 3} = - (2W / \lambda) \cdot \cos (\Gamma + \alpha) \cos \gamma.$$

На літакові ДІСС покладається завдання визначення горизонтальної складової повній швидкості і кута зносу. Вирішивши наведені рівняння, отримаємо:

$$\alpha = \arctg [(F_{\text{л } 3} - F_{\text{л } 2}) \operatorname{Ctg} \Gamma / (F_{\text{л } 1} - F_{\text{л } 2})];$$

$$W = (F_{\text{л } 1} - F_{\text{л } 2}) \cdot \Lambda \sec \alpha / 4 \cos \gamma \cdot \cos \Gamma.$$

Таким чином, вимірюючи доплеровские зрушення частоти за трьома променям при відомій частоті випромінюваних коливань і кутах Γ і γ , знаходять кут зносу і шляхову швидкість.

Вертолітні ДІСС дозволяють визначати всі три складові вектора повній швидкості, в тому числі і вертикальну його складову. В принципі це завдання також вирішується за трьома складовими швидкості, відповідним осям ДН 1,2,3. Особливістю вертолітних ДІСС є також те, що вони призначаються для роботи в умовах, коли напрямки швидкостей можуть змінюватися на протилежні, тобто з їх допомогою необхідно визначати не тільки значення, а й знаки доплеровських зсувів.

Точність ДІСС.

Похибки ДІСС, як і похибки будь-якого вимірювального пристрою, можна розділити на методичні та інструментальні. До числа найбільш значних методичних похибок відносяться похибки через відмінності властивостей, що відображають різних ділянок земної та водної поверхні.

Для з'ясування причин виникнення похибок цього типу необхідно, перш за все, відзначити таку обставину: якщо випромінюється сигнал являє собою монохроматическое коливання, відбитий сигнал в ДІСС виявляється багаточастотним. Причина цього явища полягає в тому, що ДН передавальних і приймальних антен ДІС мають кінцеві кутові розміри і в межах "освітлюється" ділянки землі виявляється не одна єдина точка, а деякий безліч точок.

Так як кути, під якими ці точки видні борта ПС, розрізняються, то розрізняються і частоти сигналів, що відображаються цими точками. Тому відбитий сигнал містить цілий спектр доплерівських частот.

Якби коефіцієнт відбиття від землі не залежав від кута падіння хвиль, то огинає спектра визначилася б квадратом ДНА по потужності і максимум спектра відповідав би максимуму ДНА. Однак коефіцієнт відображення не залежить від кута падіння тільки для ламбертових відбивачів. Для більшості реальних отражаючих поверхностей спостерігається залежність коефіцієнта віддзеркалення від кута падіння хвилі. Тому і потужність відбитого сигналу зависитот цього кута. Наприклад, для водної поверхні зі зменшенням кута падіння зростає коефіцієнт відображення. Так як меншим значенням кута падіння відповідають менші значення доплерівських частот, потужність відбитого сигналу в області менших значень частот зростає. Таким чином, максимум обвідної спектра зміститься в бік менших значень частоти.

Найбільш помітно це зміщення при переході з суші на море. Однак зрушення максимуму доплерівського спектра відбувається не тільки при переході з суші на море, але і при кожній зміні властивостей, що відображають поверхні, що супроводжується зміною залежності коефіцієнта віддзеркалення від кута падіння. Зсув залежить також і від ступеня схвильованості водної поверхності. Погрешності описуваного типу можна зменшити, вводячи при переході з суші на море поправку, відповідну найбільш часто зустрічається величиною хвилювання. Основні Експлуатаційніє-технічні характеристики ДІСС ГА представлені в таблиці 5.

Таблиця 5

характеристика	ДІСС- 013	ДІС С-016	ДІС С-015
Робоча частота, ГГц	13,32	8,8	13, 325
Діапазон вимірів:			
- шляховий швидкості, км / год	180 ... 1300	150 ... 1300	50 ... 399
- кута зносу, град	± 30	± 30	± 45
Діапазон вимірювань складових вектора швидкості в режимі висіння:			
- поздовжньої (W_x), Км / год	-	-	- 25 ... + 50
- поперечної (W_z) , Км / год	-	-	± 25
-вертiкальнотй (W_y), м / с			± 10
Похибки (2σ) вимірювання:			
-путевой швидкості	0,25% W	0,3 % W	1% W + 3км / ч

- кута зносу, кут.
мін

16

16

50

- ортодромічних
координат

-

-

2%
S + 2км

- W_x , , W_z , Км /
год

-

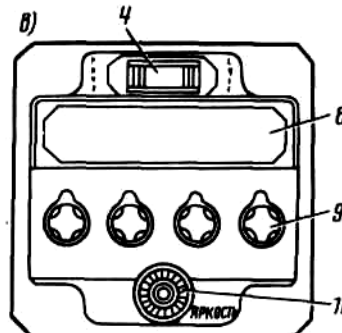
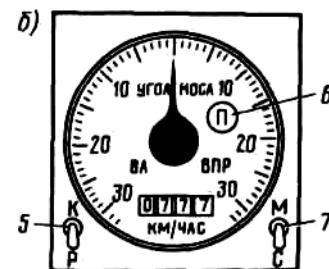
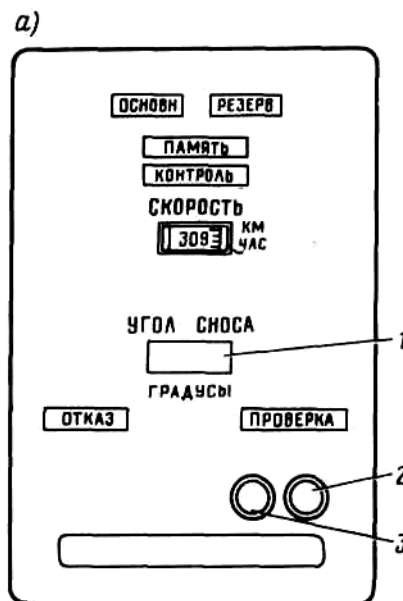
-

3

Маса

Органи

ДІСС п
навігаційні п
автоматизова



0,8

63

70

-

луатації
овністю

**Основні органи управління і відображення даних
трехканального ДІСС-016.**

а - блок логіки і видачі даних (ЛВД); б - індикатор шляховий швидкості і кута зносу; в - блок числення шляху (СП); 1 - табло кута зносу; 2, 3 - кнопки включення і виключення контролю; 4 - перемикач "Введення -Рахунок"; 5 -перемикач "Робота - контроль"; 6 - табло "Пам'ять"; 7 - перемикач "Суша-море" 8 - табло відображення відстані до чергового ППМ; 9 - ручки введення координат ІПМ; 10 -регулятор яскравості підсвітки

В обов'язки оператора (пілота і штурмана) входить лише включення ДІСС і установка перемикача "Суша-море" в відповідне положення.

У ДІСС, що забезпечують автономне числення шляху, вводяться також координати вихідного пункту маршруту (ІПМ)

або відповідного ППМ і включається обчислювач в момент прольоту цих пунктів.

Якщо ДІСС, входить в складі БНК, ці операції здійснюються автоматично.

У ДІСС крім основного робочого режиму, в якому проводиться числення шляху за інформацією від ДІСС, передбачений режим "Пам'ять", який включається автоматично при зникненні даних про доплеровском зміщенні частоти. В цьому режимі счислення проводиться за даними повітряної швидкості з урахуванням швидкості і напрямку вітру, які були зафіксовані в момент припинення надходження доплеровской інформації.

Крім режиму "Пам'ять", в ДІСС передбачений режим "Контроль". Для контролю работоспособності ДІСС перемикач "Р - К" встановлюється в положення "К". При цьому на показниках шляховий швидкості з'являється значення W , рівне (790 ± 30) км / год, а на показнику УС - значення $\pm 2^\circ$.

Органи управління і відображення даних трехканального ДІСС - 016 показані на рис.45. Блоки ЛВД, СП і індикатор розміщуються на приладовій дошці другого пілота. На передній панелі індикатора встановлені основні органи управління ДІСС: перемикачі "К - Р" і "С - М", а праворуч від центру індикатора - табло "Пам'ять" (П), що включається при переході на числення шляху при відсутності даних від ДІСС. Результати виміру шляховий швидкості видаються на цифрові показники індикатора і блоку ЛВД. Результати визначення кута зносу відображають на індикаторі, блоці ЛВД, плановому навігаційному приладі (ППП) і на індикаторі навігаційної обстановки (ІНО).

Доплеровский вимірювач ДІСС-015

Апаратура ДІСС-015 в комплекті з іншим обладнанням (курсова система, Гіровертикаль і т.д.) забезпечує не перериване автоматичне вимірювання та індикації складових вектора швидкості вертольота (в режимі висіння), шляховий швидкості і кута зносу (в режимі крейсерського польоту) і видачі даних для числення і індикації координат місця вертольота в обох режимах.

Спільно з автопілотом і радіовисотоміром і іншими приладами дозволяє виробляти висновок вертольота в точку із заданими координатами, висіння і посадку вертольота в відсутності інформації про направлення і силі вітру, висіння і управління рухом вертольота при відсутності візуальної видимості.

До складу апаратури ДІСС-015 входять: високочастотний блок, низькочастотний блок, обчислювач координат, індикатор малих швидкостей і висіння, індикатор шляховий швидкості і кута зносу індикатор координат. Всі блоки апаратури охоплені системою вбудованого контролю (ТСК).

На відміну від літакових ДІСС - 015 має два індикатори значень шляховий швидкості (і 47), які перемикаються автоматично, в залежності від швидкісних параметрів руху вертольота.

Показчик шляховий швидкості і кута зносу

Показчик шляховий швидкості і кута зносу (рис.46) включається в роботу і відображає показання шляховий швидкості, якщо поступальна швидкість в маршрутному польоті стає більше 50 км / год, стрілочний його показчик, відображає показання кута зносу. Облік характеру підстильної поверхні, над якою відбувається політ проводиться перемикачем "С-МС-МБ". Положення, якого відповідає: "З" - польоту над сушею, "МС" та "МБ" - польоту на водною поверхнею, що має різну ступінь хвилювання "МС" - спокійне (1 ... 3 бали) і "МБ" - бурхливий (> 4 балів). На цьому ж індикаторі розташовані перемикач "К - Р". Він здійснює включення ДІСС в роботу - положення "Р" або підключає схему ТСК - положення "К". Табло "П" сигналізує перехід ДІСС в режим "ПАМ'ЯТЬ", коли порушується нормальний процес вимірювання шляховий швидкості і кута зносу.

Індикатор малих швидкостей і висіння

Він автоматично включається в роботу при поступальній швидкості <50 км / год і відображає переміщення вертольота "вперед - назад" з швидкістю: 0 ... 50 км / год "вперед" і 0 ... 20 км / год "назад"; "Вліво - вправо" - 0 ± 20 км / год; "Вгору - вниз" - 0 ± 10 м / с. При збільшенні поступальної швидкості (> 50 км / год) він вимикається, про що сигналізує табло "Викл."

ДІСС має систему вбудованого контролю, яка дозволяє перевірити працездатність за показаннями правильної відпрацювання контрольних завдань. Управління системою вбудованого контролю здійснюється з бортового пульта контролю (БПК) рис.48 і від штатних органів управління вертольота.

Бортовий пульт контролю.

Порядок перевірки ДІСС - 015.

Для перевірки працездатності ДІСС-015 необхідно:

- на пульт контролю встановити перемикач в положення "Пам'ять";
- на показники кута зносу і путнньої швидкості перемикачі "З - М" і "К - Р" в положення "С" і "Р" відповідно;
- включити харчування ДІСС від бортової електромережі;
- на пульті контролю повинна спалахнути табло "Котре", "М" і "В" на індикаторі шляховий швидкості і кута зносу - табло "П";
- перевірити роботу апаратури в режимі рішення контрольних завдань шляхом послідовної установки перемикача на пульті контролю в положення 1,2 і 3.

При цьому показання індикатора малих швидкостей і висіння не повинні відрізнятися від контрольних значень пульта контролю більш ніж на ± 2 , швидкості і кута відповідно.

- встановити положення "М". Зі 3км / ч. Перемика умовам передбачу

Перевірити ці необхідно:



ра шляховий / ч і $0 \pm 1^\circ$

"С - М" в ільшитися на цю відповідає

для чого

індикатор координат

- обнулити на ньому показання лічильників "Шлях", "Бічний ухилення", "Кут карти", натиснувши відповідну клавіш управління;
- на пульті контролю встановити контрольну задачу 3. - швидкість 136 км / год; кут зносу - 0° .

Після її відпрацювання ($136 \pm 3,5$ км / год і 0 ± 10) натиснути клавішу "ВКЛ" на індикаторі координат.

При справній роботі апаратури лічильник "Шлях" повинен відпрацювати через 5 хв. значення $11,3 \text{ км}$ "Вперед".

- перевірити відпрацювання обчислювачем контрольної завдання, що задається 3 індикатора шляховий швидкості і кута зносу, шляхом установки перемикача "К - Р" в положення "К". При правильній роботі свідчення повинні бути $306 \pm 3,5 \text{ км / год}$, а кут зносу $15 \pm 1^\circ$;

- перевірити перехід апаратури в режим "Пам'ять", поставивши перемикач на пульті контролю в положення "Пам'ять". При цьому показання шляховий швидкості повинні змінитися не більше ніж на $\pm 9 \text{ км / год}$, а кута зносу - не більше ніж на $\pm 3^\circ$. Одночасно на індикаторі має спалахнути табло "П".

Після зазначених перевірок перемикача "К - Р" на індикаторі шляховий швидкості і кута зносу і перемикач контрольних завдань пульта контролю встановити в положення "Робота".

У польоті при загорянні індикатора "М" - відмова магнетрона або "В" - відмова обчислювача на пульті контролю користуватися ДІСС - 015 можна.

ДІСС в складі комплексів пілотажно-навігаційного обладнання

У складі деяких комплексних систем пілотажно-навігаційного обладнання перспективних ЗС ДІСС, також є датчиком інформації про значення доплерівських частот, на підставі якої обчислювач НПК, виробляє визначення шляхової швидкості і кута зносу ВС і подальше визначення координат ВС в режимі числення.

В цьому випадку ДІСС є одним з датчиків обчислювальної системи літаководіння і його управління здійснюється з пульта управління індикацією ПУИ - 85. З його допомогою проводиться контроль працездатності, вибір режимів "Суша - Море". Обчислювальні за даними ДІСС значення шляховий швидкості і кута зносу відображається на комплексних індикаторах навігаційної обстановки (КІНО рис.50) у всіх режимах, крім режиму "Земля". Цифри лічильника шляховий швидкості блакитного кольору. Кут зносу відлічується за шкалою курсів (рухомого) білого кольору. Оцифровка шкали через 30^0 , Ділення через 10^0 . У разі переходу ДІСС в режимі "Пам'ять" свідчення шляховий швидкості на КІНО перекреслюються червоною рисою.

