

**МІНІСТЕРСТВО ВНУТРІШНІХ СПРАВ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ВНУТРІШНІХ СПРАВ
КРЕМЕНЧУЦЬКИЙ ЛЬОТНИЙ КОЛЕДЖ**

Циклова комісія авіаційного і радіоелектронного обладнання

ТЕКСТ ЛЕКЦІЇ

навчальної дисципліни «Авіаційні прилади та інформаційно-вимірювальні системи авіоніки повітряних суден та безпілотних літальних апаратів»
вибіркових компонент
освітньо - професійної програми першого (бакалаврського) рівня вищої освіти

***141. Електроенергетика, електротехніка, електромеханіка
(Електромеханіка)***

за темою № 6 - Вимірювачі істинної повітряної швидкості і числа М

Кременчук 2023

ЗАТВЕРДЖЕНО

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

СХВАЛЕНО

Методичною радою
Кременчуцького льотного коледжу
Харківського національного
університету внутрішніх справ
Протокол від 28.08.2023 № 1

ПОГОДЖЕНО

Секцією Науково-методичної ради
ХНУВС з технічних дисциплін
Протокол від 29.08.2023 № 7

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

Розробник:

Викладач циклової комісії авіаційного і радіоелектронного обладнання, спеціаліст вищої категорії Хебда А.С.

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 лекцій:

1. Вимірювачі індикаторної швидкості;
2. Вимірювачі істинної повітряної швидкості і числа М.

Рекомендована література:

Основна література:

1. Авіаційні радіоелектронні системи / О.О.Чужа, О.Г. Ситник, В.М. Хімін, О.В. Кожохіна. – К.:НАУ, 2017. – 264с.-
2. Авіоніка: навч. посіб. / В.П. Харченко, І.В. Остроумов. – К. : НАУ, 2013. – 272 с.
3. Харченко В.П. Авіоніка безпілотних літальних апаратів / В.П. Харченко, В.І.Чепіженко, А.А.Тунік, С.В.Павлова. – К.: ТОВ «Абрис–принт», 2012. – 464 с.
4. Пілотажно-навігаційні комплекси повітряних суден. / В.О. Рогожин, В.М. Синєглазов, М.К. Філяшкін. Підручник. – К.: НАУ, 2005. – 316с.
5. Теоретичні основи експлуатації авіаційного обладнання. Навч. посіб. / А.В. Скрипець. – К.:НАУ, 2003. – 396с.

Допоміжна література:

1. Приладове обладнання та електронна автоматика літальних апаратів/ В.А. Антілікаторов, М.М. Петренко, А.В. Статигін. – Х.:ХНУПС, 2017.- 172с.
2. Єдині конспекти по АіРЕО Мі-8 на цикловій комісії.
3. Керівництво з льотної експлуатації вертольота Мі-8 - М.: Департамент повітряного транспорту, 1996.
4. Конспекти лекцій з базової підготовки технічного персоналу згідно вимог Part-66, Part-147 (Модуль 3, 13, 14)

Інформаційні ресурси в Інтернеті

1. http://aviadocs.com/RLE/Mi-2/CD1/IYETO/MI-2_IYETO_kn2.pdf
2. http://aviadocs.com/RLE/Mi-2/CD1/IYETO/MI-2_IYETO_kn3.pdf
3. http://aviadocs.com/RLE/Mi-2/CD1/IYETO/MI-2_IYETO_kn1_ch2.pdf
4. http://aviadocs.net/RLE/Mi-2/CD1/RTO/Mi-2_RTO-75EP_ch2.pdf
5. http://aviadocs.com/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8_TO_kn4.pdf
6. http://www.aviadocs.net/RLE/Mi-8/CD1/TO/Mi-8_TO_kn1.pdf
7. http://flightcollege.com.ua/library/3_Mi_8_MTV_1_RTE%60_Kniga_4.pdf

Текст лекції

1. Вимірювачі індикаторної швидкості

Розрахункові формули можна отримати з рівняння Бернуллі, яке для горизонтального повітряного потоку нестисливої середовища має вигляд:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{P_2}{\rho_2}, \quad (1)$$

де $V_1 = V$ – швидкість незбуреного потоку, що набігає;

$P_1 = P$ – статистичне тиск в набігаючому потоці;

ρ_1 – щільність повітряного середовища в набігаючому потоці;

P_2, V_2, ρ_2 – тиск, швидкість, щільність повітряного середовища на вході приймача повного тиску.

У приймачі швидкість повітряного середовища набігаючого потоку гальмується, падає до нуля і встановлюється повний тиск, тобто

при $V_2 = 0$ маємо:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{P_1}{\rho_1} = \frac{P_2}{\rho_2}. \quad (2)$$

Так як $P_2 = P_n$ і розглядається нестисливе середовище, тобто $\rho_1 = \rho_2 = \rho$, отримаємо:

$$P_n - P = P_{\text{дин}} = \rho \frac{V^2}{2}, \quad (3)$$

де $\rho \frac{V^2}{2}$ – динамічний тиск, що характеризує швидкісний напор.

На практиці

$$P_{\text{дин}} = \varepsilon_n \rho \frac{V^2}{2}, \quad (4)$$

де ε_n – коефіцієнт, що характеризує неточність виготовлення приймача, дорівнює 0,98–1,02.

З урахуванням стисливості повітряного середовища, і з огляду на, що тиску P_1, P_2 і щільності ρ_1, ρ_2 пов'язані рівнянням адіабати, на підставі рівняння стану газу при $V_1 = V, P_1 = P, P_2 = P_n$ і $M \leq 1$ отримаємо:

$$P_n = P \left(1 + \frac{(k-1)}{2kR_{\text{уд}}T} V^2 \right)^{\frac{k}{k-1}},$$

або

$$P_{\text{дин}} = P_n - P = P \left\{ \left[\frac{(k-1)}{2kR_{\text{уд}}T} V^2 + 1 \right]^{\frac{k}{k-1}} - 1 \right\}, \quad (5)$$

де $k = 1,4$ – показник адіабати для повітря.

Рівняння (5) характеризує $P_{\text{дин}}$ для швидкості польоту $200 \text{ км/год} \leq V \leq a$ (a – швидкість звуку).

Для вимірювачів індикаторної швидкості $V_{\text{інд}}$, при нормальній умовній щільності повітря градуировочная формула має вигляд:

$$V_{\text{інд}} = \sqrt{2R_{\text{уд}}T_0 \left(\frac{k}{k-1} \right) \left[\left(\frac{P_{\text{дин}}}{P_0} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]},$$

де T_0, P_0 – температура і щільність при нормальній стандартній атмосфері.

Таким чином, для вимірювання швидкості $V_{\text{інд}}$ необхідно отримати

$$P_{\text{дин}} = P_n - P.$$

За цим принципом працюють всі вимірювачі СВС, а літак має приймачі повного і статичного тисків, щоб отримати $P_{\text{дин}}$.

Розглянемо принципову схему показчика швидкості, зображену на рисунку 1.

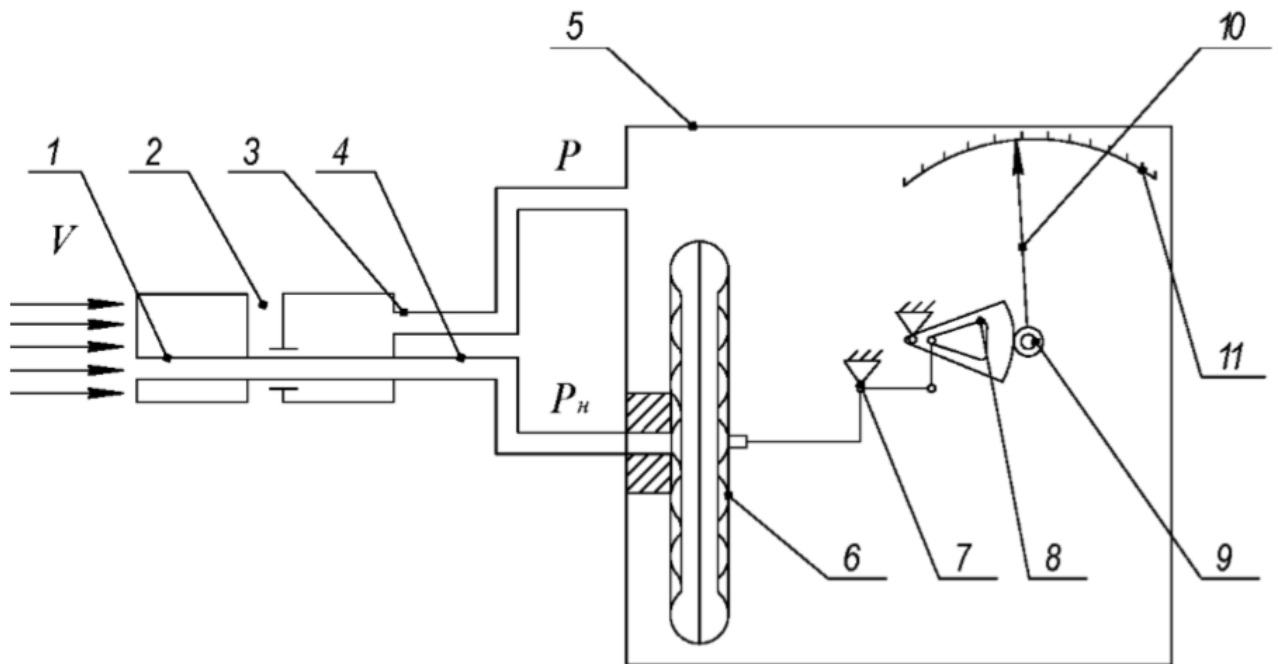


Рисунок 1 – Принципова схема показчика швидкості

Склад:

- 1 – приймач повного тиску;
- 2 – приймач статичного тиску;
- 3,4 – пневмопровід, відповідно, статичного і повного тиску;
- 5 – корпус вимірювача;
- 6 – манометрична коробка;
- 7 – кривошипно-шатунний механізм;
- 8, 9 – зубчата передача;
- 10 – стрілка показчика;
- 11 – шкала.

Тиск P_n і P подаються, відповідно в порожнину манометричної коробки і корпус показчика.

Таким чином, на стінки манометричної коробки діє $P_{\text{дин}} = P_n - P$, яке пропорційно швидкості потоку, що набігає і через ПММ передається на стрілку показчика, шкала якого відградуєвана в одиницях швидкості (км/год).

Методичні похибки виникають від впливу на погодні умови від стандартних, при яких проводиться калібрування приладів. Тому для

зменшення цієї похибки необхідно вносити поправку на зміну густини повітряного середовища.

Найбільші інструментальні похибки викликані тертям і впливом температури. Для зменшення похибки від тертя застосовується манометрична коробка з нелінійною характеристикою по тиску і ПММ з постійним передавальним відношенням, а УЧЕ з таким профілем, при якому прогин жорсткого центра змінюється лінійно зі зміною швидкості $V_{\text{інд}}$, тобто $\alpha = f(V_{\text{інд}})$ лінійна.

Температурна інструментальна похибка обумовлена впливом залежності модуля пружності мембранного чутливого елемента від температури. Зменшення цієї похибки забезпечується біметалічними компенсаторами.

2. Вимірювачі істинної повітряної швидкості і числа М

З формули 5 видно, що для вимірювання істинної повітряної швидкості необхідно вимірювати температуру повітряного середовища на висоті польоту.

Так як температуру (T) незбуреного середовища в польоті практично не можна виміряти, тому визначають температуру (T_T) загальмованого потоку.

Зв'язок T і T_T виражається залежністю:

$$T_T = \frac{k-1}{k} \frac{V^2}{2R_{\text{уд}}} + T.$$

З урахуванням цієї залежності справжню швидкість обчислюють за формулою:

$$V = \sqrt{2R_{\text{уд}} \frac{k}{k-1} T_T \left[1 - \left(\frac{P_{\text{дин}}}{P} + 1 \right)^{\frac{1-k}{k}} - 1 \right]}. \quad (6)$$

Швидкість звуку $a = \sqrt{kR_{\text{уд}}T}$, для М отримаємо:

$$M = \frac{V}{a} = \sqrt{\frac{2}{k-1} \left[\left(\frac{P_{\text{дин}}}{P} + 1 \right)^{\frac{k-1}{k}} - 1 \right]}. \quad (7)$$

З формул 6 і 7 видно, що для визначення швидкості V необхідно вимірювати тиск $P_{\text{дин}}$, P і температуру T на висоті польоту, а для вимірювання числа М – тільки тиску $P_{\text{дин}}$, P .

Вимірники істинної повітряної швидкості відрізняються від вимірників індикаторної швидкості $V_{\text{інд}}$ тим, що в них використовується компенсаційний вузол, що вносить поправку на зміну температури і статичного тиску. У спрощеному вигляді формулу (6) для нестисливого повітряного середовища з урахуванням рівняння стану газу можна записати:

$$V = \sqrt{\frac{2R_{\text{уд}}TP_{\text{дин}}}{P}}. \quad (8)$$

Температура T навколишнього повітря визначається за формулою:

$$T = T_0 \left(\frac{P}{P_0} \right)^{0,2}. \quad (9)$$

Тоді формула 8 має вигляд

$$V = P_0^{-0,1} \sqrt{2R_{уд} T_0} \frac{P_{дин}^{0,5}}{P^{0,4}}. \quad (10)$$

Вимірювачі істинної швидкості мають манометричну коробку з характеристикою, пропорційній величині $P_{дин}^{0,5}$, а анероїдних (температурна компенсація) - величиною $P^{0,4}$.

В авіації застосовують комбіновані показчики швидкості V і $V_{інд}$ схема якого представлена на рисунку 2.

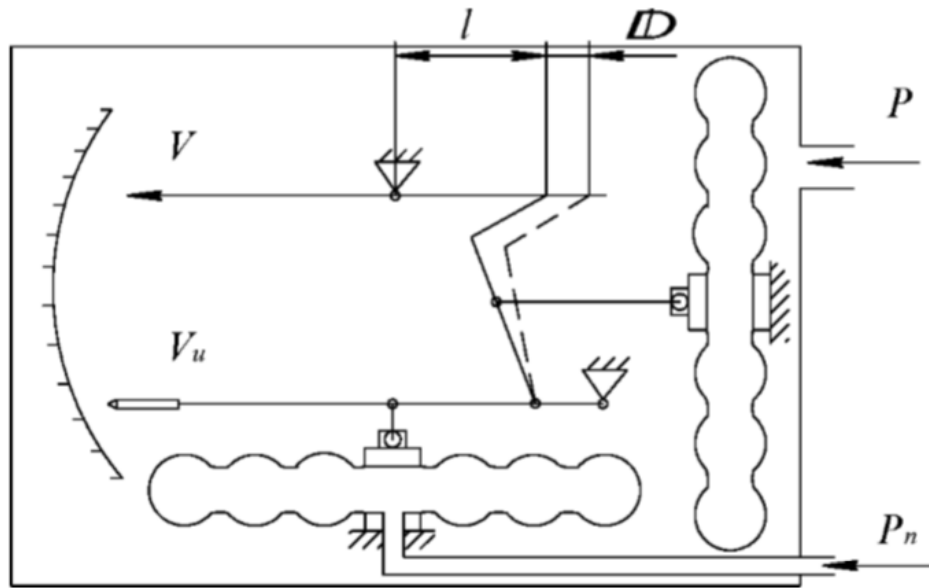


Рисунок 2 – Схема комбінованого показчика істинної і індикаторного швидкості

Нерухома анероїдних коробка враховує зміни тиску і температури з набором висоти зміною довжини плеча l на величину Δl , змінюючи, таким чином, передавальне відношення кривошипно-шатунного механізму, що передає рух від манометричної коробки.

Такий спосіб обліку температури називається способом неповної температурної компенсації, оскільки передбачається зміна тиску і температури відповідно до прийнятої моделі стандартної атмосфери.

Точніше вимірювання V можливо за допомогою електромеханічної лічильно-вирішальної схеми, в якій температура T враховується за допомогою розташованого поза літака термометра.

Вимірювачі числа M будуються за тими ж кінематичними і електричними схемами, але без урахування температури T .

Спрощену формулу (8) для M можна записати:

$$M = \sqrt{\frac{2}{k} \frac{P_{дин}}{P}}. \quad (11)$$

Тому для вимірювання числа M необхідна лише манометрична коробка, характеристика якої пропорційна зміні $P_{дин}$ і P . Методична похибка виникає в результаті непрямого обліку температури повітряного середовища при її зміні

на висоті польоту. Зменшують похибка, вимірюванням температури безпосередньо за бортом термометром.

Інструментальні похибки вимірювачів такі ж, як у висотомірів.