

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра авіоніки

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Павлова С.В.

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020р.

# ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ

(ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА)

ВИПУСКНИКА ОСВІТНЬО-КВАЛІФІКАЦІЙНОГО РІВНЯ  
«МАГІСТР»

**ТЕМА: ДАТЧИКИ ПОВІТРЯНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЛАДНОГО  
ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА**

**Виконавець: Павленко Олександр Миколайович**

**Керівник: Чужа Олексій Олександрович**

**Консультанти з окремих розділів пояснювальної записки:**

**Охорона праці \_\_\_\_\_**

**Охорона навколишнього середовища \_\_\_\_\_**

**Нормо контролер: Левківський Василь Васильович**

Київ 2020

# НАЦІОНАЛЬНИЙ АВІАЦІЙНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Інститут аеронавігації  
Кафедра авіоніки  
Напря́м (спеціальність) 173 «Авіоніка» освітньо-професійна програма  
«Комплекси пілотажно-навігаційного обладнання»

## ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Павлова С.В.

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

### на виконання дипломного проекту

Павленка Олександра Миколайовича

**1. Тема дипломного проекту:** Датчики повітряних параметрів приладного обладнання літака

затверджена наказом ректора від «02» жовтня 2020 р. № 1899/ст.

**2. Термін виконання роботи:** з 05.10.2020 р. по 31.12.2020 р.

**3. Вихідні дані до роботи (проекту):** система повітряних сигналів, приймач повітряного тиску, барометричний висотомір, датчики тиску, датчики аеродинамічних кутів, інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів

**4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):**  
Система повітряних сигналів. Барометричні засоби вимірювання висоти та швидкості польоту. Електронний висотомір на основі мікромеханічного датчика тиску. Багатофункціональний приймач повітряних тисків. Охорона праці. Охорона навколишнього середовища. Висновки.

**5. Перелік обов'язкового графічного (ілюстративного) матеріалу :**

Типова схема системи повітряних сигналів. Напівмонтажна схема живлення анероїдно-мембранних приладів літака Ан-32П. Конструкція приймача повного тиску. Конструктивна схема кремнієвого датчика тиску. Конструкція приймача повного тиску ППД-1.

Конструкція багатофункціонального датчика повітряних параметрів. Схема розміщення багатофункціональних мікромеханічних датчиків повітряних параметрів на літаку.

## **6. Календарний план-графік**

№ пп	Етапи виконання роботи	Термін виконання етапів	Відмітка про виконання
1	Підбір літератури	07.10.2020	Виконано
2	Відпрацювання розділу 1 Система вимірювання повітряних параметрів приладного обладнання літака	20.10.2020	Виконано
3	Відпрацювання розділу 2 Датчики, що вимірюють аерометричні величини	03.11.2020	Виконано
4	Відпрацювання розділу 3 Перспективні датчики тиску повітряних параметрів приладного обладнання літака	30.11.2020	Виконано
5	Охорона праці	05.12.2020	Виконано
6	Охорона навколишнього середовища	11.12.2020	Виконано

## **7. Консультанти з окремих розділів**

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці			
Охорона навколишнього середовища			

**8. Дата видачі завдання «05» жовтня 2020 р.**

**9. Керівник дипломної роботи(проекту)**

Чужа О.О.

**Завдання прийняв до виконання**

Павленко О.М.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту спеціаліста «Датчики повітряних параметрів приладного обладнання літака»: 120 с., 70 рисунків, 4 таблиці, 15 використаних джерел.

СИСТЕМА ПОВІТРЯНИХ СИГНАЛІВ, ДАТЧИК ТИСКУ, МІКРОМЕХА-  
НІЧНІ ДАТЧИКИ ТИСКУ, КРЕМНІЄВІ ДАТЧИКИ ТИСКУ, ЕЛЕКТРОННИЙ  
ВИСОТОМІР, БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ДАТЧИК ПОВІТРЯНИХ ПАРА-  
МЕТРІВ

Об'єкт дослідження – система повітряних сигналів літака.

Мета дипломного проекту – удосконалення системи повітряних сигналів літака шляхом застосування багатофункціональних датчиків повітряних параметрів на основі мікромеханічних кремнієвих датчиків тиску.

Метод дослідження – теорія інформації, статистичний аналіз.

Встановлено, що застосування мікромеханічних кремнієвих датчиків тиску в якості датчиків системи повітряних сигналів дозволить:

- збільшити швидкодію системи,
- застосовувати програмне забезпечення для керування системою,
- компенсувати на програмному рівні вплив атмосферних явищ на процес вимірювання фізичних величин,
- на високому рівні виконувати взаємообмін інформацією системи повітряних сигналів з бортовими навігаційними системами,
- зменшити вагу системи,
- зменшити вплив інструментальних похибок властивих механічним та електромеханічним датчикам тиску.

Застосування багатофункціональних датчиків повітряних параметрів дозволить вимірювати аеродинамічні кути, кути ковзання, приладну

*КАФЕДРА АВІОНІКИ*

НАУ 20 112 84 000 ПЗ

<i>Виконав.</i>	<i>Павленко О.М.</i>			<i>Реферат</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Чужа О.О.</i>						4
<i>Консульт.</i>					173 201		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Левківський В.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

швидкість та висоту польоту повітряного судна одним комплектом датчиків.

Матеріали дипломного проекту рекомендуються використовувати при проведенні наукових досліджень, навчальному процесі та в практичній діяльності фахівців авіаційних конструкторських бюро.

Прогнозовані припущення щодо розвитку об'єкта дослідження – розробка та вдосконалення бортового обладнання авіоніки сучасного літака, а також розширення функціональних можливостей систем повітряних сигналів.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЛАДНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА.....	11
1.1. Система повітряних сигналів.....	11
1.2. Система вимірювання висотно-швидкісних параметрів літака AIRBUS A320.....	16
1.3. Система повного та статичного тиску літака Ан-32П.....	23
1.4. Принцип вимірювання висоти.....	29
1.5. Система вимірювання експлуатаційних швидкостей.....	33
РОЗДІЛ 2. ДАТЧИКИ, ЩО ВИМІРЮЮТЬ АЕРОМЕТРИЧНІ ВЕЛИЧИНИ....	39
2.1. Характеристика датчиків тиску.....	39
2.2. Потенціометричний датчик тиску.....	43
2.3. Індуктивний датчик тиску.....	46
2.4. Ємнісний датчик тиску.....	50
2.5. Вібраційно-частотний датчик тиску.....	52
2.6. Компенсаційний датчик тиску.....	56
2.7. Похибки датчиків тиску.....	59
2.8. Шляхи вдосконалення датчиків тиску.....	61
2.9. Багатофункціональний приймач повітряних тисків.....	63
РОЗДІЛ 3. ПЕРСПЕКТИВНІ ДАТЧИКИ ТИСКУ ПОВІТРЯНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЛАДНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА.....	66
3.1. Напівпровідникові мікромеханічні датчики тиску.....	66
3.2. Чутливі елементи мікромеханічних датчиків тиску.....	69
3.3. Базові конструкції мікромеханічних датчиків тиску.....	71
3.3.1. Гібридна схема мікромеханічного датчику тиску.....	71
3.3.2. Чутливі елементи інтегральних перетворювачів тиску.....	72
3.3.3. Мікромеханічні датчику тиску з концентраторами напруги.....	78

<i>КАФЕДРА АВІОНІКИ</i>				НАУ 20 112 84 000 ПЗ			
<i>Виконав.</i>	<i>Павленко О.М.</i>			<b>Зміст</b>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Чужа О.О.</i>						6
<i>Консульт.</i>					<b>173 201</b>		
<i>Н. Контр.</i>	<i>Левківський В.В.</i>						
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

3.3.4. Основні характеристики кремнієвих датчиків.....	81
3.4. Похибки кремнієвих датчиків тиску.....	82
3.5. Компенсація похибок кремнієвих датчиків тиску.....	84
3.6. Розрахунок характеристик барометричного висотоміра на основі кремнієвого датчика тиску.....	87
3.7. Реалізація багатофункціональних мікромеханічних датчиків в системі висотно-швидкісних параметрів.....	90
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	94
4.1. небезпечні і шкідливі виробничі фактори при технічній експлуатації електрифікованих приладів.....	94
4.2. Засоби обмеження впливу небезпечних і шкідливих факторів на технічний персонал при роботі з електроприладами.....	98
4.2.1. Заходи безпеки при роботі з електроустановками.....	98
4.2.2. Освітлення робочого місця.....	100
4.3. Забезпечення пожежної та вибухобезпеки при технічній експлуатації пристроїв системи повітряних сигналів.....	103
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	107
5.1. Підвищений рівень шуму спричинений авіаційною технікою.....	109
5.1.1. Норми шуму літаків.....	109
5.1.2. Оцінка впливу шуму повітряних суден.....	111
5.2. Підвищений рівень вібрації.....	113
5.3. Підвищений рівень електромагнітних випромінювань.....	115
ВИСНОВКИ.....	119
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	120

## **ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СКОРОЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ**

ЛА - літальний апарат;

СПС - система повітряних сигналів;

ІК ВШП - інформаційний комплекс висотно-швидкісних параметрів;

ППТ - приймач повітряного тиску;

ПСТ - приймач статичного тиску;

ЧЕ - чутливий елемент;

ОП – операційний підсилювач;

НЛП - норма льотної придатності;

ІКАО – міжнародна організація цивільної авіації;

РЛЕ - регламент льотної експлуатації;

МДТ – мікромеханічні датчики тиску;

НП - напівпровідниковий перетворювач;

ІПТ - інтегральний перетворювач тиску.



## ВСТУП

Науково-технічний прогрес, зокрема в електронно-обчислювальній техніці, вимагає постійно вдосконалювати комплекси авіаційної електроніки (авіоніки) сучасних літальних апаратів (ЛА) у відповідності до завдань поставлених перед ними. Однією з важливих складових частин бортового авіаційного обладнання літального апарату є приладове обладнання. Приладове обладнання призначене для управління літаковими системами на всіх етапах польоту, візуального контролю параметрів польоту, параметрів різних систем і агрегатів. Склад приладового обладнання залежить від типу літального апарату і конкретно вказано в керівній експлуатаційній документації на конкретний тип літака.

Під приладовим обладнанням літального апарату розуміється наступне авіаційне обладнання:

- Аерометричні прилади: барометричні висотоміри, покажчики повітряної швидкості і числа Маха  $M$ , варіометри, приймачі повітряного тиску (ППД), централізовані системи повітряних сигналів (СПС), прилади загальної індикації.

- Автономні пілотажно-навігаційні прилади: авіагоризонт, курсові прилади (компаси), автомати кутів атаки і сигналізації перевантажень (АУАСП).

Приймач повітряного тиску (ППД) - пристрій відбору сигналів атмосферного тиску для подачі їх в системи статичного і динамічного тиску, а також на ряд електричних датчиків систем відображення польотної інформації, в автоматизу двигунів і цілий ряд інших систем літака (споживачів).

Застосовується як первинна частина бортової системи повітряних сигналів (СПС) для обчислення приладової і повітряної швидкості, істинної повітряної швидкості, вертикальної швидкості і барометричної висоти на літаках, вертольотах.

Система повітряних сигналів (СПС) - централізований пристрій для обчислення основних аеродинамічних параметрів польоту і видачі сигналів про них споживачам.

<i>КАФЕДРА АВІОНІКИ</i>				НАУ 20 112 84 000 ПЗ			
Виконав.	Павленко О.М.			<i>Вступ</i>	Літ.	Арк.	Аркуші
Керівник	Чужа О.О.						9
Консульт.					173 201		
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав. каф.	Павлова С.В.						

Параметри, що вимірюються і обчислюються СВС: барометричну висоту польоту, вертикальну швидкість, повітряну швидкість (справжня і приладова), число Маха, температуру зовнішнього повітря, температуру загальмованого повітря, кути атаки і ковзання, тиск (повний і динамічний), максимально допустиму повітряну швидкість.

Як показує аналіз роботи СПС, для передачі тиску від приймачів до самого СПС (до його вимірювачів), він проходить певний шлях по пневмотрубкам та дюритам, в яких втрачається деяка частина газодинамічної складової тиску. Також в наслідок негерметичності цих пневмопроводів, вимірювання тиску матиме певну похибку. Чим менша довжина пневмопроводів, тим менша похибка. Для усунення похибки треба розмістити датчик на ППД. Це можливо зробити, коли датчик має малу вагу та габарити, а також високу чутливість до зміни повітряного тиску. Напівпровідникові мікроелектронні датчики як раз мають такі властивості.

Якщо використати мікроелектроніку в СПС, то це призведе до збільшення швидкодії, можливості керування системою за допомогою програмного забезпечення, за рахунок програмного забезпечення компенсувати аеродинамічні і методичні помилки в процесі вимірювання тиску, до прискорення обміном інформацією СПС з бортовими системами навігації.

Розвиток засобів авіоніки для визначення повітряних параметрів, зокрема кута атаки, температури повітря, швидкості та висоти польоту ЛА потребує подальшого вдосконалення обладнання, що визначає ці параметри, з метою підвищення її надійності та точності.

Удосконалення датчиків СПС являється завданням дуже актуальним, насамперед для забезпечення безаварійних польотів, що зумовило вибір теми дипломної роботи та її актуальність.

## РОЗДІЛ 1

### СИСТЕМА ВИМІРЮВАННЯ ПОВІТРЯНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЛАДНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА.

#### 1.1. Система повітряних сигналів

Системи повітряних сигналів (СПС) призначені для комплексного вимірювання висотно-швидкісних параметрів і централізованого постачання ними різних споживачів. До таких параметрів належать: число  $M$ , справжня повітряна швидкість  $V$ , індикаторна швидкість  $V_i$ , відносна барометрична висота  $H_{\text{від}}$ , абсолютна барометрична висота  $H$ , температура зовнішнього повітря  $T$ , відхилення  $\Delta M$ ,  $\Delta H$ ,  $\Delta V$  (числа  $M$ , висоти  $H$ , швидкості  $V_i$ ) від заданих значень.

СПС використовується в системі автоматичного управління САУ-1Т для стабілізації кута тангажу  $\vartheta$ , числа  $M$ , швидкості  $V_i$  і висоти польоту  $H$ .

В одних системах повітряних сигналів проводиться автоматичне рішення розрахункових залежностей окремо від показчиків обчислювача, а останній видає бортовим споживачам і показчикам електричні сигнали, пропорційні вимірюваним параметрам.

В інших розв'язання розрахункових залежностей проводиться в обчислювачах, суміщених конструктивно з показчиками, і сигнали видаються показчиками.

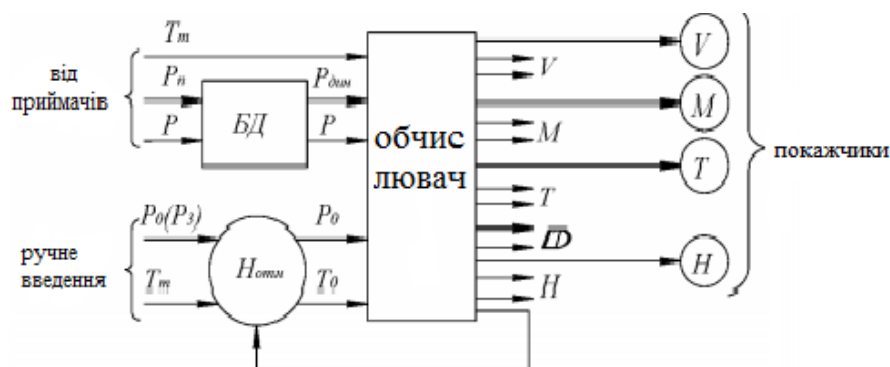


Рис. 1.1. - СПС типу централі швидкості і висоти (ЦШВ).

<b>КАФЕДРА АВІОНІКИ</b>				<b>НАУ 20 112 84 000 ПЗ</b>			
Виконав.	Павленко О.М.			<b>Система вимірювання повітряних параметрів приладного обладнання літака</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чужа О.О.						11
Консульт.					<b>173 201</b>		
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав. каф.	Павлова С.В.						

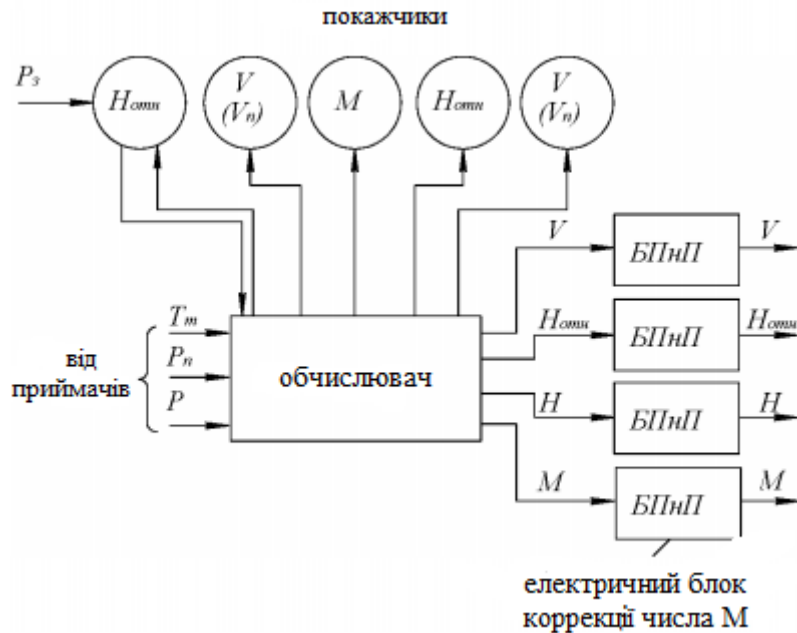


Рис. 1.2. - СПС типу перетворювача напруги (ПН).

Розглянемо типові схеми систем повітряних сигналів: типу ЦШВ (Рис. 1.1.), типу СПС-ПН (Рис. 1.2.), типу СПС (Рис. 1.3.).

У схемі СПС типу ЦШВ  $P_n$  і  $P$  надходять в блок датчиків тиску БД, який видає значення  $P$  і  $P_{дин}$  у вигляді електричних сигналів, пропорційних цим тискам, а приймач температури видає електричний сигнал пропорційний температурі навколишнього середовища. При необхідності в обчислювачі можуть вводитися вручну значення тиску  $P_0$  і температури  $T_0$  у поверхні Землі, тиск  $P_3$  заданого рівня. З обчислювача сигнали йдуть на показчики і до бортових споживачів.

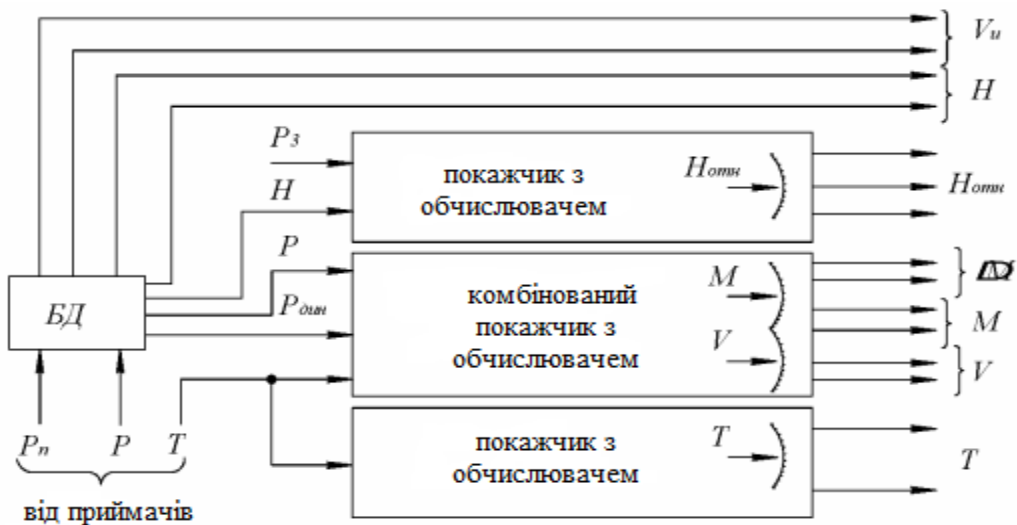


Рис. 1.3. – СПС типу СПС

У схемі СПС типу СПС-ПН потенціометричний блок перетворення напруги БПнП призначений для перетворення сигналів напруги в сигнали у вигляді відносних опорів. Блок датчика тиску  $P_{\text{дин}}$  і  $P$  суміщений з обчислювачем.

У схемі типу СПС рішення розрахункових залежностей проводиться в обчислювачах, суміщених конструктивно з показчиками, і сигнали видаються показчиками.

Похибки, які виникають у аналогових СПС діляться на методичні та інструментальні(статичні та динамічні).

Методичні похибки виникають через те, що параметри атмосфери (тиск, температура) часто відрізняються від даних стандартної атмосфери, на основі яких виробляють юстировку систем і приладів. Також вони виникають через зміни рельєфу місцевості щодо рівня моря, через зміну закону розподілу температури повітря по висотах або зміною тиску у Землі. Методи усунення аналогічні як у висотомірів, тобто корекція за допомогою географічних карт, уточненням параметрів атмосфери по радіозв'язку.

Інструментальні похибки в системі повітряних сигналів є як статичні так і динамічні.

Статичні похибки з'являються від не лінійності характеристик елементів і температурних похибок (вплив температури УЧЕ, параметри електричних схем, лічильно-обчислювальних пристроїв). Не лінійність характеристик пояснюється відхиленням характеристик УЧЕ, функціональних потенціометрів, безконтактних перетворювачів, СКТ і т.д. від заданих.

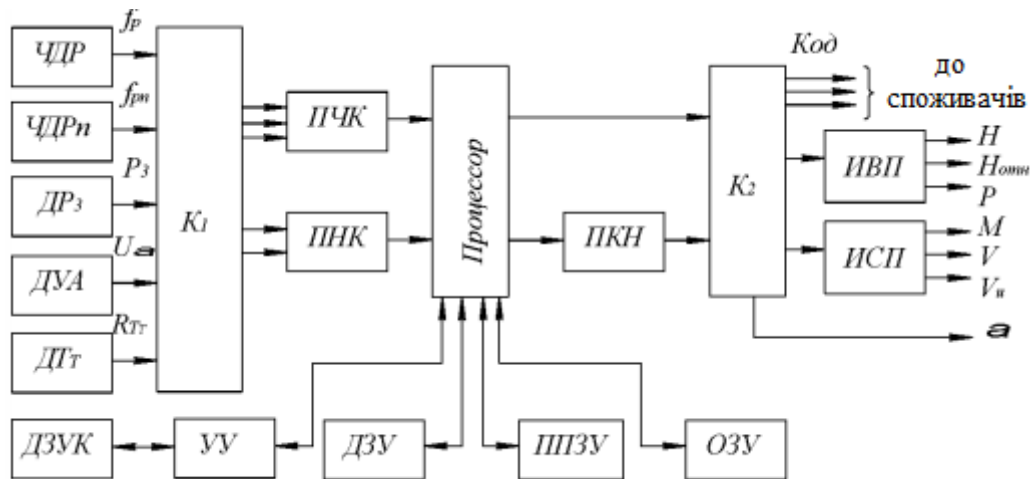
Ці похибки усуваються регулюванням окремих вузлів, а також з допомогою лекальних коректорів. Температурні похибки усуваються методом температурної компенсації або використовують системи обігріву.

Використовується метод автоматичного врівноваження в мостових схемах за допомогою «слідящих» систем, що дозволяє істотно підвищити точність вимірювань.

Динамічні похибки викликані впливом на елементи і узли конструкції вібрації і лінійних перевантажень, інерційністю датчиків тиску  $P$  і  $P_{\text{дин}}$ , температури

$T_m$ , «слідящих» систем. Для зменшення вібрації і перевантажень використовують динамічне балансування рухомих елементів і вузлів, амортизацію блоків.

Нове покоління СПС представляють цифрові системи повітряних сигналів. Застосовуються цифрові СПС з жорсткими зв'язками (Рис.1.4.) і з каналами інформаційного обміну.



Позначення:

ЧДР - частотний датчик статичного тиску;

ЧДР<sub>n</sub> - частотний датчик повного тиску;

ДР<sub>з</sub> - датчик тиску рівня Землі;

ДУА - датчик кута атаки;

ДТ<sub>m</sub> - датчик температури гальмування;

К<sub>1</sub>, К<sub>2</sub> - комутатори;

ПЧК - перетворювач «частота - код»;

ПНК - перетворювач «напруга - код»;

ДЗУК – довгостроковий запам'ятовуючий пристрій команд;

УУ - пристрій управління;

ДЗУ – довгострокове запам'ятовуючий пристрій;

ППЗУ – напівпостійний запам'ятовуючий пристрій;

ОЗУ - оперативний запам'ятовуючий пристрій;

ИВП - індикатори висотних параметрів;

ИСП - індикатори швидкісних параметрів.

Рис. 1.4. – СПС з цифровим обчислювачем.

У датчиках ЧДР і ЧДР<sub>n</sub> частота, пропорційна величинам тиску Р і Р<sub>n</sub> після послідовної комутації комутатором К<sub>1</sub>, перетворюється в АЦП «частота - код» і надходить в ОЗУ процесора.

Аналогічно з датчика тиску рівня Землі ДР<sub>3</sub> з виходу СКТ, що працює в режимі фазоврацателя, сигнал Р<sub>3</sub>, пропорційний куту фазового зсуву імпульсів, перетворюється в АЦП в числовий код.

Напруга з датчика кута атаки ДУА і значення опору R<sub>m</sub> пропорційне температурі гальмування, через комутатор К<sub>1</sub> і АЦП «напруга - код» надходять в ОЗУ процесора. ДЗУК через УУ за заданим алгоритмом забезпечує обчислення висотно-швидкісних параметрів польоту. В ДЗУ зберігаються коефіцієнти датчиків, а в ППЗУ поправочні коефіцієнти для різних типів літаків.

В основу алгоритму обчислення покладено метод кусково-поліноміальної апроксимації, сутність якого полягає в розбитті нелінійної функції на певне число підінтервалів і заміною лінійними відрізками. Обчислені параметри у вигляді кодованих електричних сигналів і у вигляді напружень після ПКН надходять через комутатор К<sub>2</sub> до споживачів і на індикатори швидкісних і висотних параметрів.

При побудові цифрових СПС також використовують мікропроцесори з каналом інформаційного обміну, які в порівнянні з обчислювачами з жорсткими зв'язками створюють великі можливості для створення різних модифікацій СПС.

Застосування інтегральних мікросхем підвищує надійність системи, зменшує споживану потужність і масу системи.

Цифрові СПС в польоті контролюються автоматично вбудованими апаратно-програмними засобами контролю, які забезпечують контроль датчиків вхідної інформації, перетворювачів ПЧК і ПНК, запам'ятовуючих пристроїв, які видають кодову інформацію.

Контроль ведеться безперервно і охоплює всі функціональні елементи СПС. В умовах землі в ході функціонального контролю відтворюється повний алгоритм автоматичного контролю, і вирішуються додаткові контрольні завдання з перевірки датчиків вхідної інформації, ліній зв'язку з датчиками аналогової інформації, процесора і запам'ятовуючих пристроїв.

## 1.2. Система вимірювання висотно-швидкісних параметрів літака

### AIRBUS A320.

AIRBUS A320 має три незалежні системи для обчислення та відображення інформації про швидкість руху: (1) командир, (2) другий пілот та (3) резервні системи. Кожна система використовує свій власний зонд Піто, статичний порти, модулі повітряних даних (ADM), інерційний еталонний блок даних повітря (ADIRU) та індикатор швидкості руху.

Кожен ADIRU складається з двох частин: частини повітряних даних (ADR) та інерційної довідки (IR) деталі, якої інтегровані в єдине ціле. Одну частину можна вимкнути, тоді як інші частини будуть все ще функціонувати.

Швидкість повітря вимірюється шляхом порівняння загального тиску повітря  $P_t$  ( $P_t$  - сума статичного (або зовнішнього) тиску повітря та тиску, обумовленого відносною швидкістю повітря) і статичного тиску повітря  $P_s$ . На А330,  $P_t$  вимірюють за допомогою зонда Піто, а  $P_s$  вимірюють за допомогою двох статичних портів. А окремий ADM був підключений до кожного зонда Піто і кожного статичного порту, і він перетворює тиск повітря зонда або порту на цифрові електронні сигнали.

Кожен зонд Піто складався з трубки, що виступає на кілька сантиметрів із фюзеляжу, отвір трубки, спрямований вперед у повітряний потік. Трубка має зливні отвори для видалення вологи, і її нагрівають електрично, щоб запобігти накопиченню льоду під час польоту (Рис. 1.5.).



Рис.1.5. Зонд(трубка) Піто



Розташування зондів Піто на літаку показано на Рис. 1.6. Як правило, повітряна швидкість, що відображається командирі, використовує командирський зонд Піто та ADIRU 1, але екіпаж може вручну переключитися на резервну систему (резервний зонд Піто та ADIRU 3) за потреби. Подібним чином швидкість повітря, що відображається другому пілоту (FO), зазвичай використовує зонд Піто другого пілота та ADIRU 2, але екіпаж може вручну переключитися на резервну систему, якщо потрібно (Рис. 1.7.).

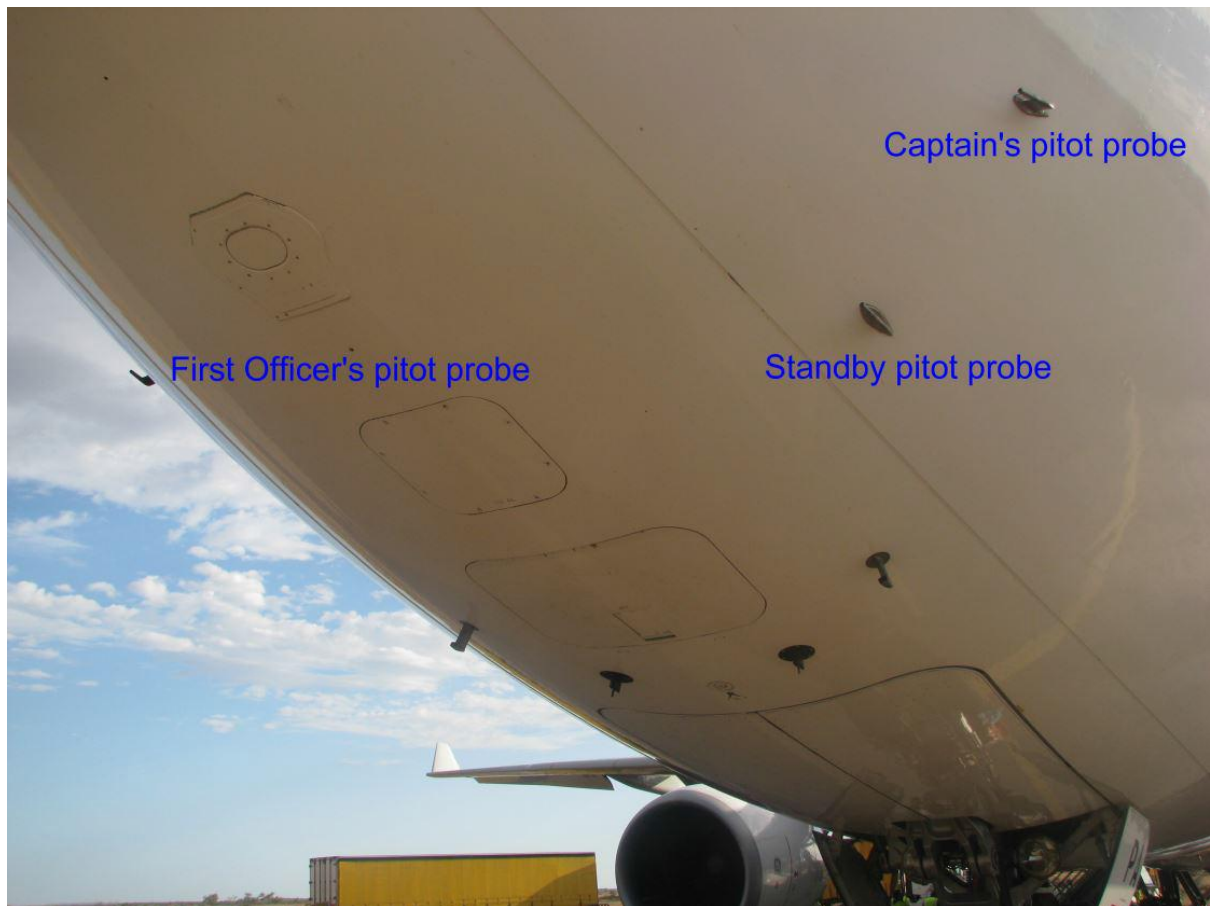


Рис.1.6. Розташування трубок Піто.

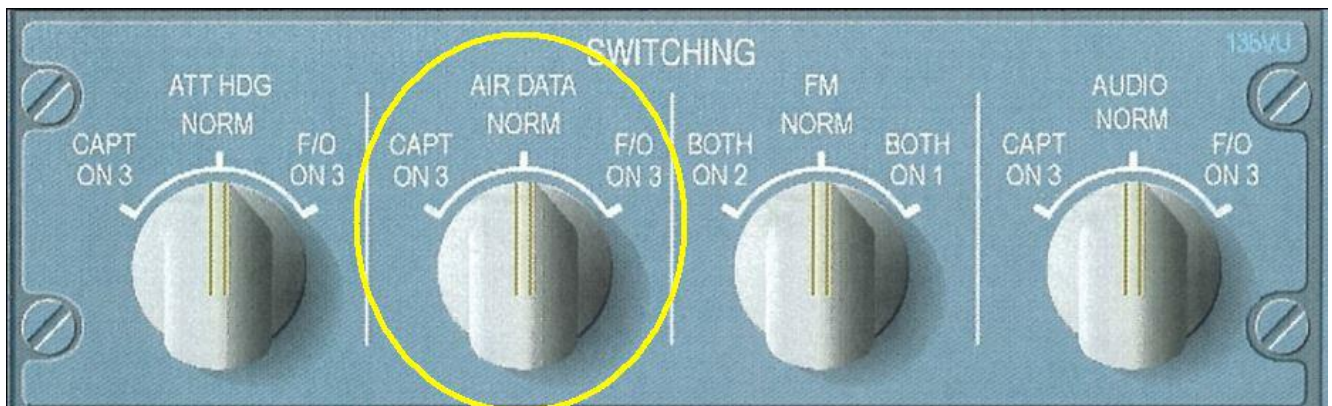


Рис.1.7. Перемикач зондів Піто.

Інформація з цих датчиків подається в підсумку на головні пілотажні дисплеї командира і другого пілота у вигляді швидкості (ліва вертикальна шкала Рис.1.8.). Тиск повітря з трубок Піта подаються на екран, пройшовши через модуль повітряних даних (ADM = Air Data Module).

Далі воно потрапляє в блок повітряних даних і інерціальні системи ADIRU (Air Data / Inertial Reference Unit).

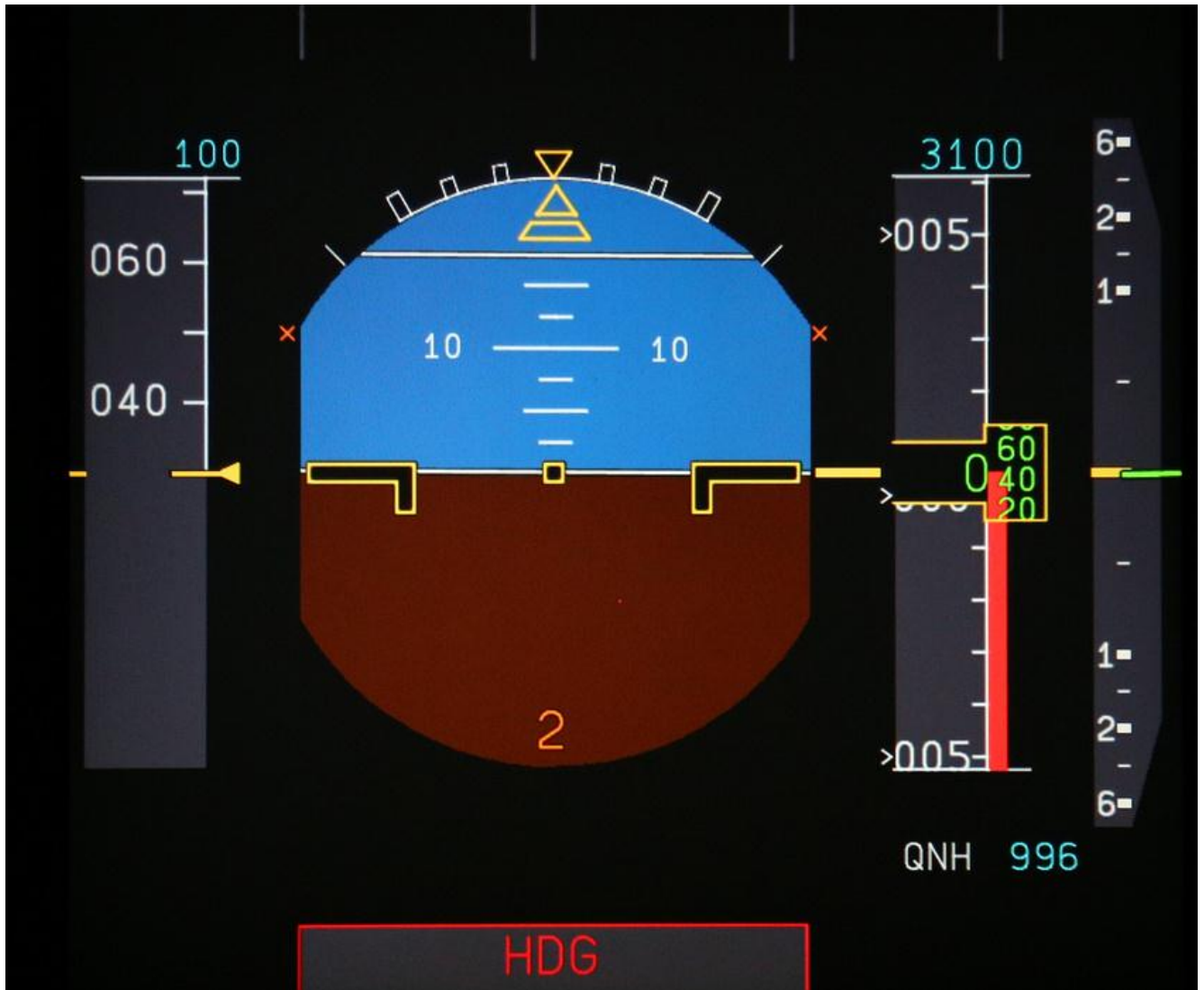


Рис.1.8. Головний пілотажний дисплей.

У кожен блок приходять різні сигнали - про статичний тиск повітря, динамічний тиск, кути атаки, температура. Там воно обробляється і зв'язується з інформацією від інерційних систем на лазерних гіроскопах, що знаходяться всередині блоків. І далі інформація про стан, швидкості, напрямки польоту може вида-

ватися в різні адреси - наприклад, автопілоту. Схема системи вимірювання інерціальних та повітряних параметрів ADIRU літака показана на Рис.1.9.

Система повітряних даних та інерційних систем відліку (ADIRS) подає температурні, анемометричні, барометричні та інерційні параметри до системи EFIS (PFD і ND) та до інших систем користувачів (FMGC, FADEC, ELAC, SEC, FAC, FWC, SFCC, ATC, GPWS, CFDIU, CPC).

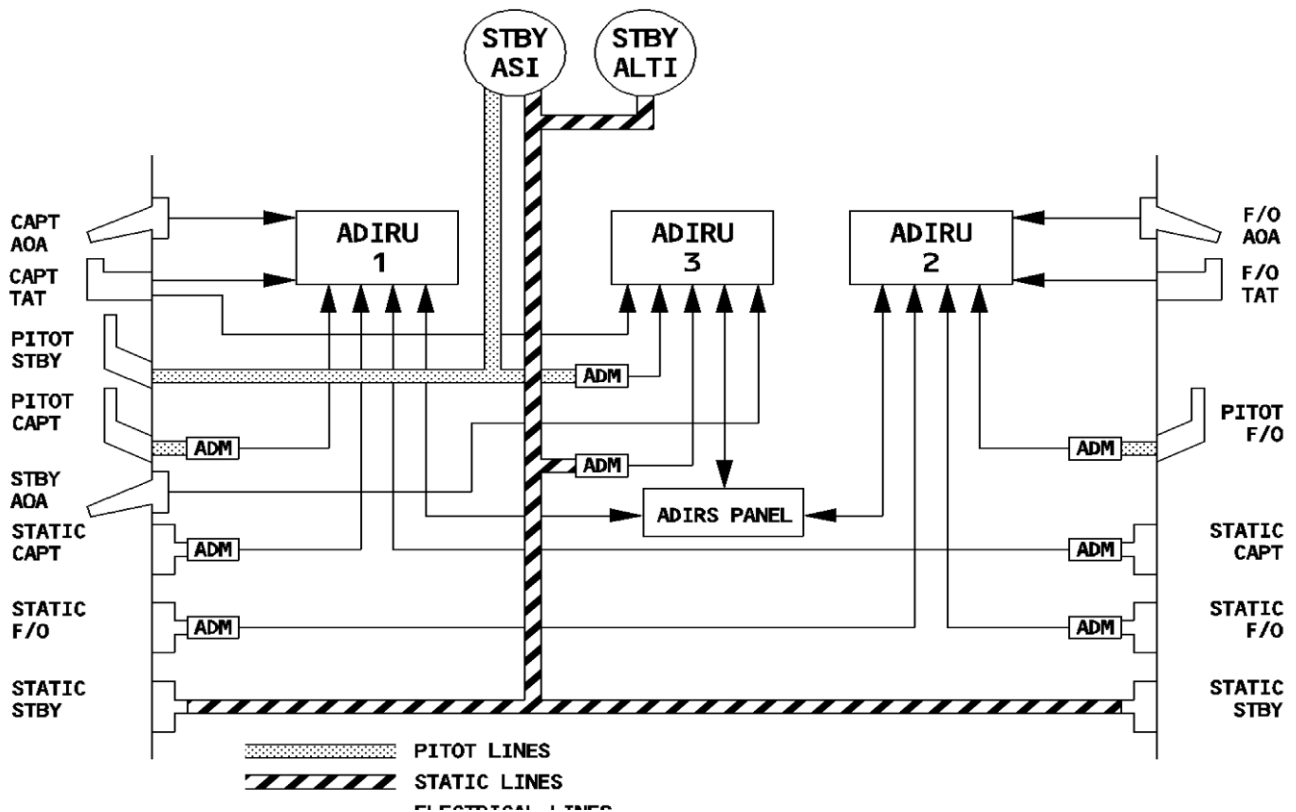


Рис. 1.9. Система вимірювання інерціальних та повітряних параметрів ADIRU літака

Система включає:

1. Три однакові ADIRU (повітряні дані та інерційні довідкові одиниці).

Кожен ADIRU розділений на дві частини, кожна з яких може працювати окремо у випадку відмови в іншій:

- частина ADR (Air Data Reference), яка забезпечує барометричну висоту, швидкість повітря, мах, кут атаки, температуру та попередження про перевищення швидкості.

- ІЧ-частина (інерційна частина), яка забезпечує напрямок руху, вектор траєкторії польоту, напрямок, прискорення, кутові швидкості, наземну швидкість та положення повітряного судна.

Примітка: ADIRU дає справжній напрямок замість магнітного напрямку: вище 82° півночі, вище 73° півночі, між 90° і 120° заходу (магнітна полярна область), вище 60° півдня.

2. Одна панель управління ADIRS (ADIRS CDU) на верхній панелі для вибору режимів (NAV, ATT, OFF) та індикацій збоїв.

ІЧ зазвичай ініціалізується через FMC'S, але ADIRS CDU може використовуватися як резервне копіювання.

3. Два приймачі GPS, які підключені до ІЧ-частини ADIRU для розрахунку гібридного положення GP / IR.

4. Чотири типи датчиків: зонди Піто (3), зонди статичного тиску (STAT) (6), датчики кута атаки (AOA) (3), датчики загальної температури повітря (TAT) (2).

Ці датчики нагріваються електрично, щоб уникнути обмерзання.

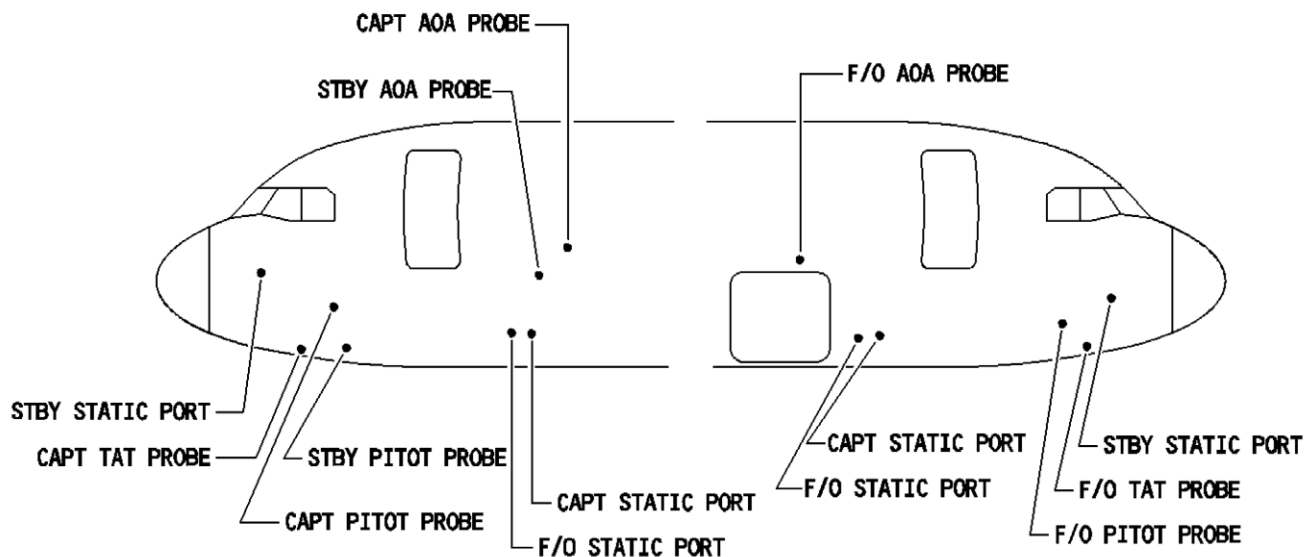


Рис.1.10. Розміщення датчиків на літаку

5. Вісім ADM (модулі повітряних даних), які перетворюють пневматичні дані з зондів PITOT та STAT в числові дані для ADIRU.

6. Комутаційну установку для вибору ADR3 або IR3 для дисплеїв приладів у разі відмови ADIRU 1 або 2.

Сигнали з датчиків температури повітря та кутів атаки перетворюються з аналогового виду до цифрового та далі надходять до процесора ADIRU, який розраховує:

- Висоту (та барокоректовану висоту);
- Швидкість;
- Максимально допустиму швидкість;
- Число Маха;
- Дійсну швидкість;
- Температуру повітря( статичну та повну);
- Тиск ( повний, статичний).

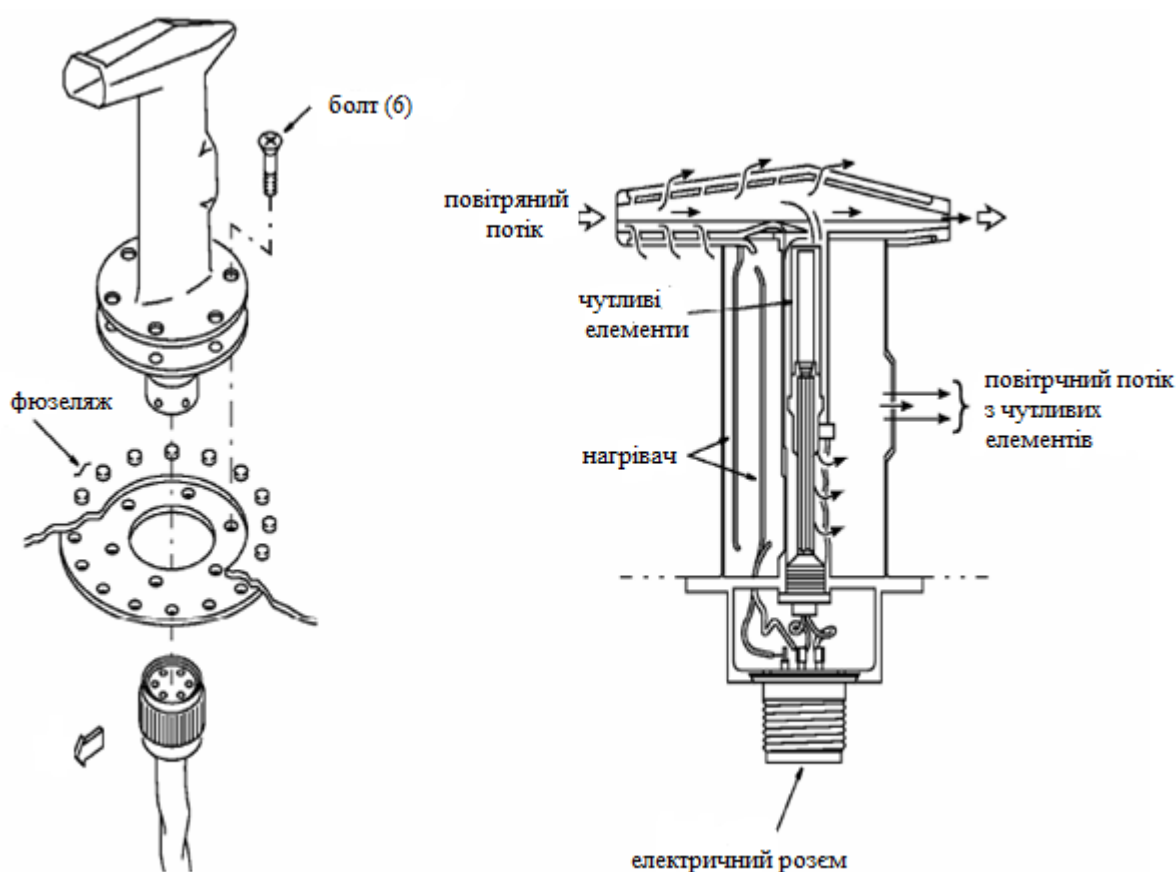


Рис. 1.11. Конструкція датчика температури

Датчик температури повітря (ТАТ) вимірює температуру повітря за бортом. Повітря надходить у отвір спереду датчика проходить крізь чутливі елементи та витікає через отвір на задній частині датчика (Рис. 1.11).

Всередині датчика міститься 2 чутливих (резистивних) елементи. При зміні температури повітря, що проходить крізь датчик - змінюється опір чутливого елемента. Датчик має електрообігрів для запобігання обледеніння та розміщується в лівій частині фюзеляжу біля кабіни екіпажу.

Датчик кута атаки (АОА) вимірює напрям потоку повітря відносно фюзеляжу (Рис. 1.12). Для попередження обледеніння датчик має вбудований підігрів. Розташовані датчики по обидва боки фюзеляжу.

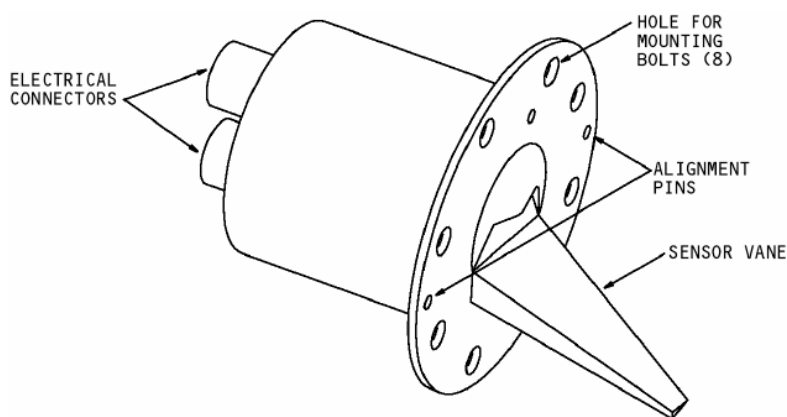


Рис. 1.12. Датчик кута атаки літака .

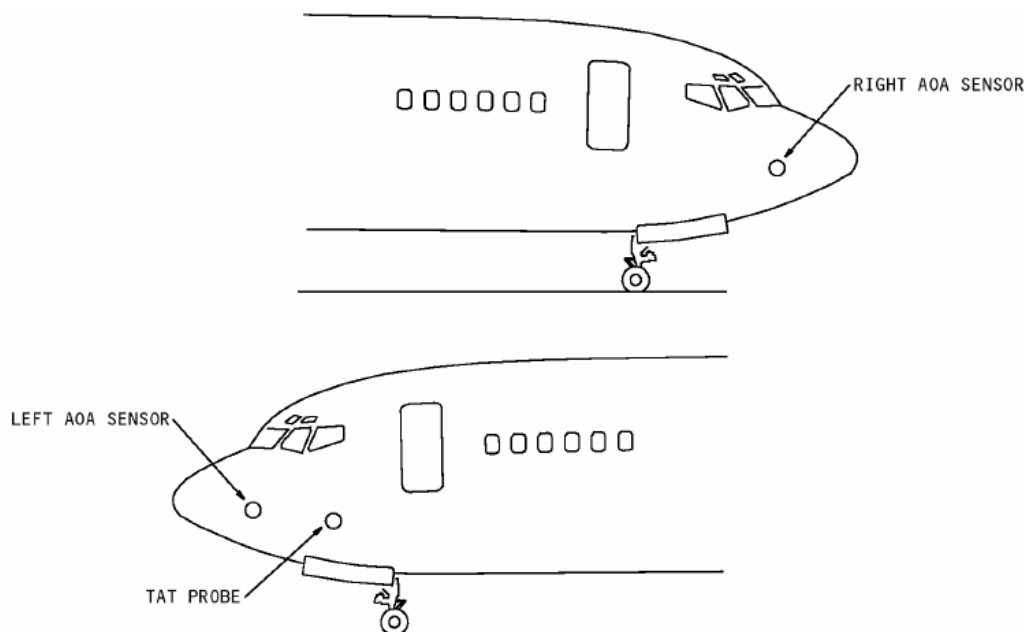
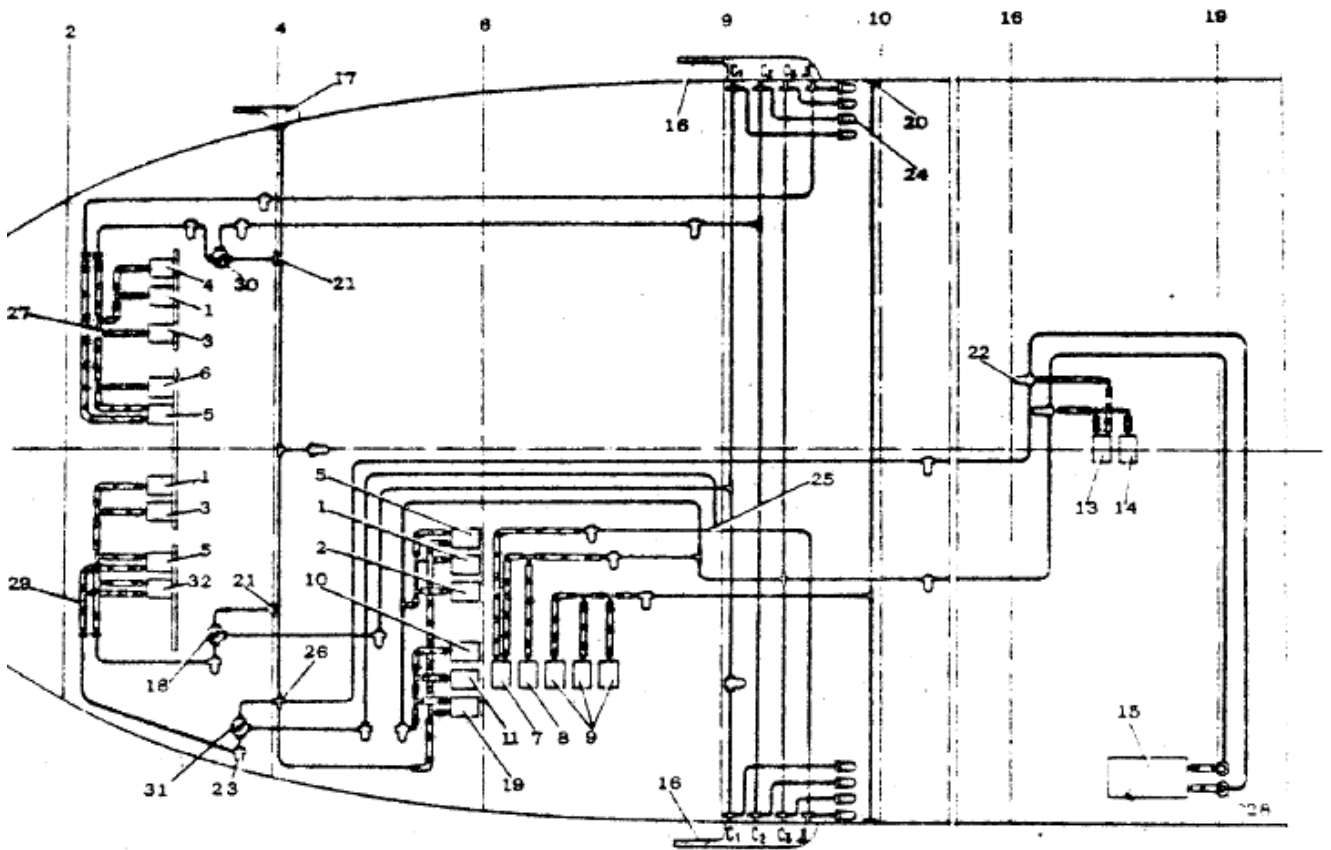


Рис. 1.13. Розміщення датчиків кута атаки та температури літака

### 1.3. Система повного та статичного тиску літака Ан-32П.

Система призначена для видачі повного та статичного тиску в анероїдно-мембранні прилади, які забезпечують екіпаж інформацією про основні параметри польоту – швидкість, висота, вертикальна швидкість. Схема живлення анероїдно-мембранних приладів показана на Рис.1.14.



- |  |  |
|--|--|
| 1. Висотомір ВМ-15К                          | 18. Кран статичного тиску командира      |
| 2. Висотомір ВМФ-50                          | 19. Датчик повітряної швидкості ДВС      |
| 3. Комбінований прилад ДА-30К                | 20. Приймач статичного тиску             |
| 4. Показчик висоти ВЕМ-72К-3А                | 21. Резервний приймач статичного тиску   |
| 5. Показчик швидкості КУС-730/1100К          | 22. Відстійник статичної магістралі      |
| 6. Показчик висоти та перепаду тиску УВПД-20 | 23. Відстійник магістралі повного тиску  |
| 7. Сигналізатор швидкості ССА2-3             | 24. Відстійник                           |
| 8. Датчик критичних кутів ДКУ-17             | 25. Трійник                              |
| 9. Коректор висоти КВ-11                     | 26. Хрестовина                           |
| 10. Реле тиску ИКДРДа - 830 - 510 - 0        | 27. Колектор                             |
| 11. Реле тиску ИКДРДф - 06 - 05 - 3          | 28. Кутник                               |
| 13. Датчик приладової швидкості ДПСМ-2       | 29. Рукав                                |
| 14. Датчик висоти ДВ6П-15                    | 30. Кран статичного тиску пом. командира |
| 16. Приймач повітряного тиску ПВД-7          | 31. Кран повного тиску командира         |
| 17. Приймач повного тиску ППД-1              | 32. Показчик МС-1К числа М               |

Рис.1.14. Напівмонтажна схема живлення анероїдно-мембранних приладів літака Ан-32П

До складу системи повного та статичного тисків входять два приймачі повітряних тисків ПВД-7, один приймач повного тиску ППД-1, два резервних приймачі статичного тиску, три крани 623700-3 для перемикання живлення приладів з основного на резервне, двадцять п'ять волого відстійників, два приймачі статичного тиску для живлення коректорів висоти КВ-ІІ і система трубопроводів.

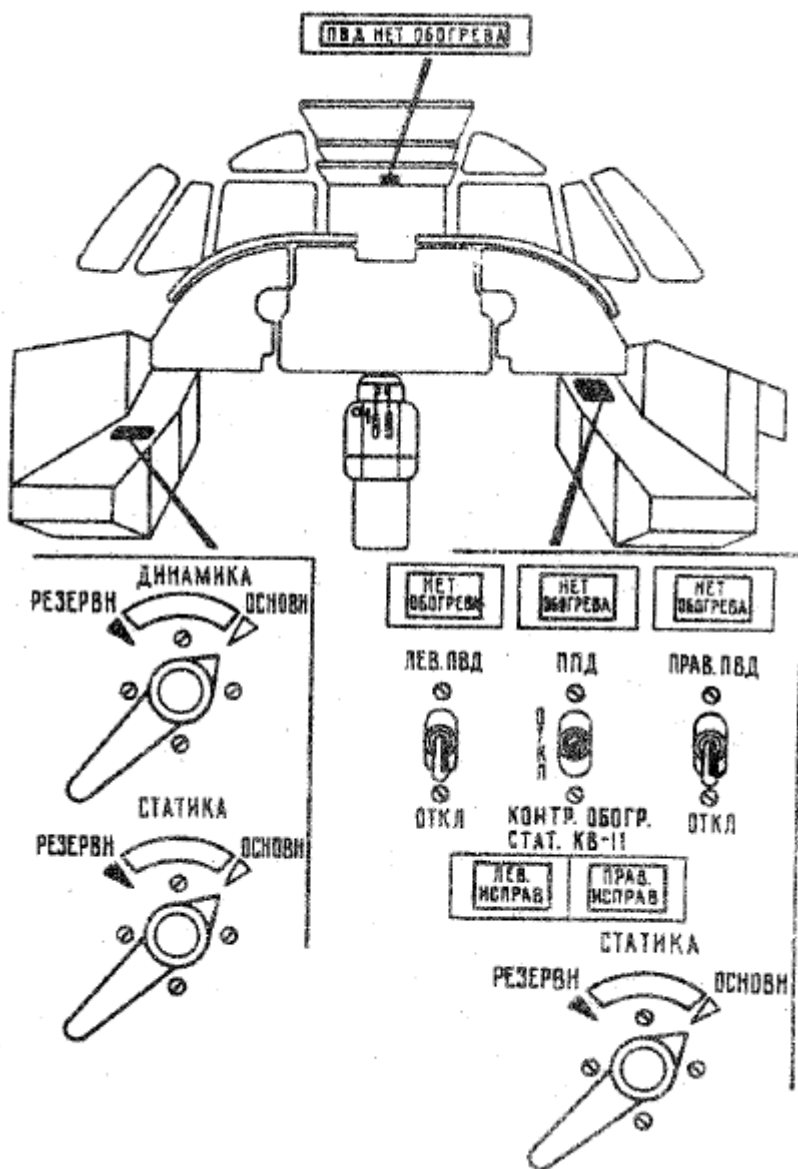


Рис. 1.15. Розміщення основних елементів системи повного та статичного тисків в кабіні екіпажу

Приймачі повітряних тисків ПВД-7 встановлені зовні на обшивці фюзеляжу на лівому та правому бортах літака між шпангоутами № 9...10 (Рис. 1.16., Рис. 1.17.). Під приймачем ПВД-7 на лівому та правому бортах літака встановлені приймачі статичного тиску для живлення коректорів висоти КВ-ІІ. Приймач пов-



ного тиску ППД-1 встановлений на правому борту літака між шпангоутами № 4...5.

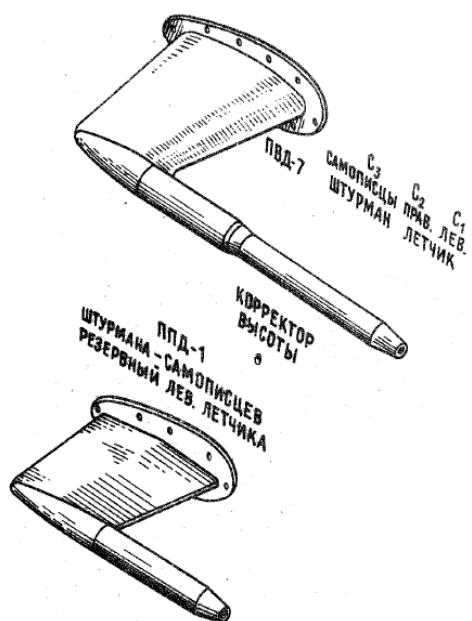


Рис. 1.16. Встановлення приймачів ПВД-7 та ППД-1 по правому борту

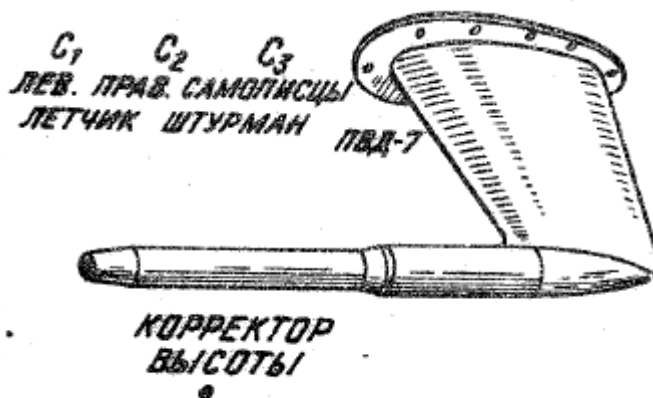


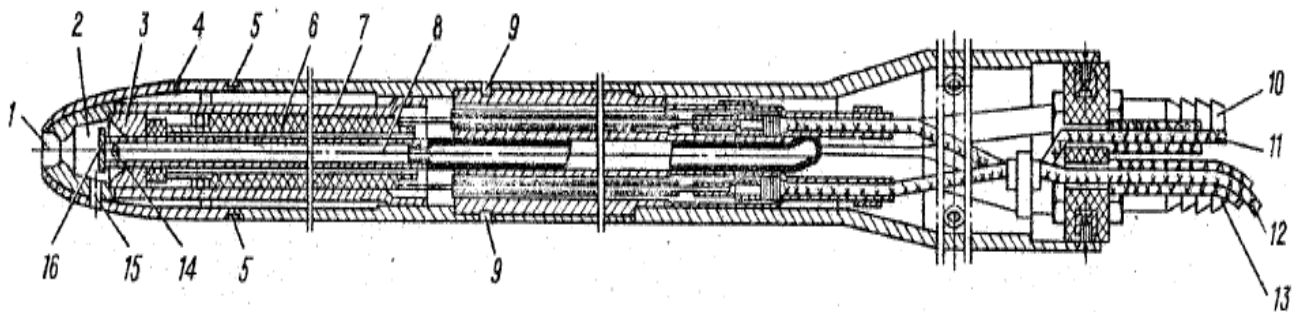
Рис. 1.17. Встановлення приймача ПВД-7 по лівому борту

Біля кожного приймача на зовнішній стороні обшивки фюзеляжу є надписи, що вказують магістраль, яка живиться від даного приймача.

Два резервних приймачі статичного тиску встановлені в негерметичній частині кабіни біля шпангоута № 4 по лівому та правому борту.

Приймач повітряного тиску ПВД-7 призначений для сприйняття в польоті статичного (атмосферного) тиску повітря та повного тиску зустрічного потоку повітря, що утворюється при русі літака.

Приймач ПВД-7 являє собою трубку, що закінчується отвором  $\varnothing 7$  мм, що сприймає натиск зустрічного потоку повітря. Для сприйняття статичного тиску приймач має три роздільні групи отворів (по десять отворів в групі). Діаметр кожного отвору - 1 мм. В основній частині приймача є дренажний отвір для злива води із камери повного тиску.



- |    |                        |     |   |
|----|------------------------|-----|---|
| 1. | Приймальний отвір      | 10. | Штуцер  |
| 2. | Камера повного тиску   | 11. | Проводка електроживлення елемента для підігріву |
| 3. | Упорна втулка          | 12. | Проводка електроживлення елемента для підігріву |
| 4. | Трубка                 | 13. | Штуцер  |
| 5. | Отвір статичного тиску | 14. | Отвори в трубці повного тиску                   |
| 6. | Елемент для підігріву  | 15. | Дренажний отвір                                 |
| 7. | Кожух                  | 16. | Засувка   |
| 8. | Трубка повного тиску   |     |   |
| 9. | Отвір статичного тиску |     |   |

Рис. 1.18. Конструкція приймача повітряних тисків ПВД-7

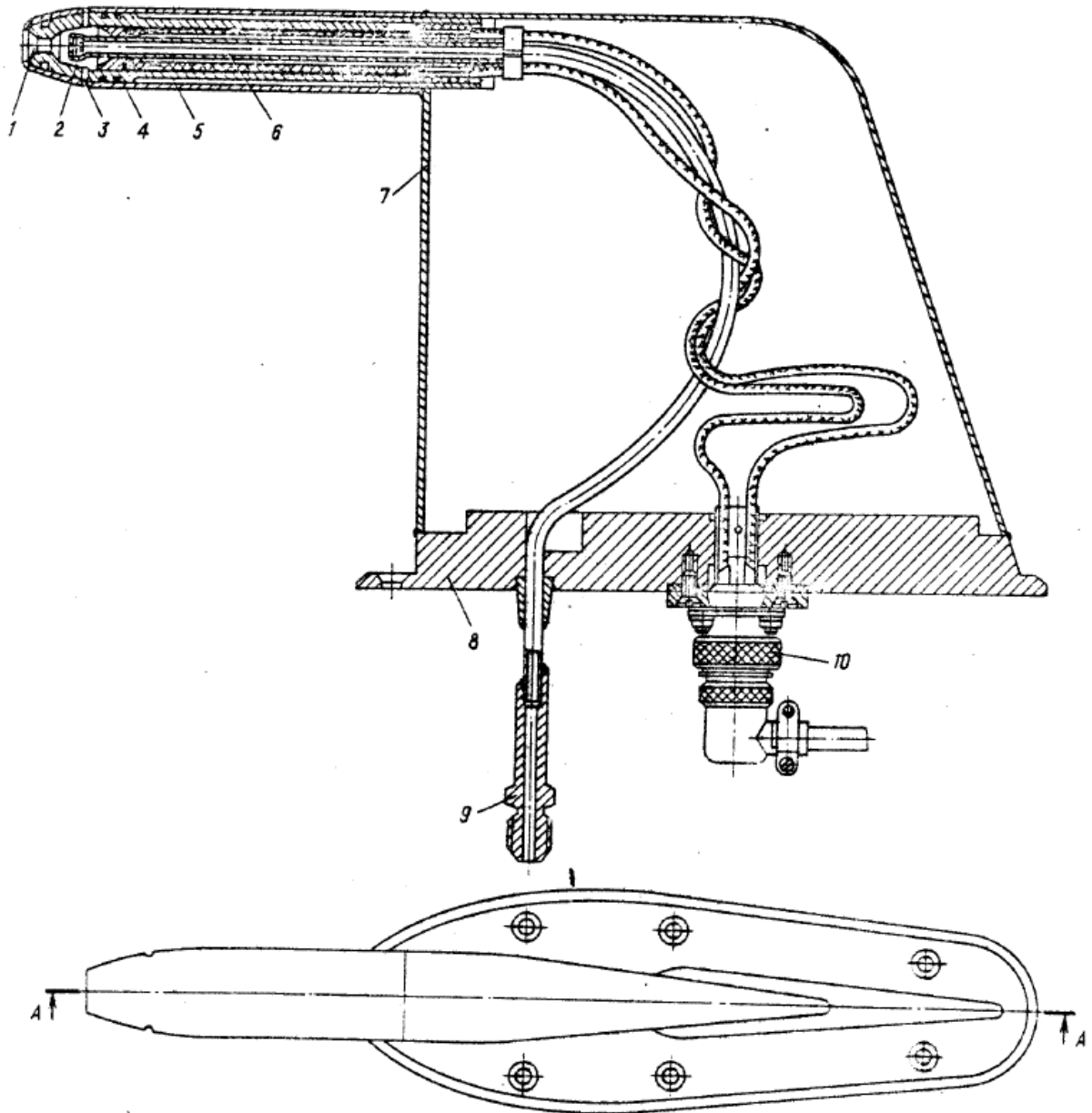
Подача повного та статичного тисків відбувається чотирма трубопроводами, які закінчуються штуцерами з маркуваннями "П" – повний тиск і "С1", "С2", "С3" – статичний тиск.

Всередині передньої частини приймача розміщений елемент для підігріву. Конструкція приймача – нерозбірна і заміна електрообігрівача неможлива.

Приймач повного тиску ПВД-1 призначений для сприйняття повного тиску, що створюється при русі літака і передачі цього тиску приладам: датчику повітряної швидкості ДВС з комплекту АНУ-1, показчику швидкості КУС-730/1100К

штурмана, датчику приладової швидкості ДПСМ-2 із комплекту "Тестер- УЗ", до приладів командира при встановленні крана ДИНАМІКА в положення РЕЗЕРВ.

У приймачі використовується повне гальмування зустрічного потоку повітря в торці наконечника приймача, внаслідок чого енергія руху повітря перетворюється в повітряний тиск – динамічний, що характеризує швидкість зустрічного потоку повітря. В камері приймача встановлюється повний тиск, що дорівнює сумі динамічного та статичного тиску повітря.



- |    |                       |     |                    |
|----|-----------------------|-----|--------------------|
| 1. | Приймальний отвір     | 6.  | Трубка             |
| 2. | Камера повного тиску  | 7.  | Кожух              |
| 3. | Дренажний отвір       | 8.  | Фланець            |
| 4. | Наконечник            | 9.  | Штуцер             |
| 5. | Обігрівальний елемент | 10. | Електричний роз'єм |

Рис. 1.19 Конструкція приймача повного тиску ППД-1

В наконечнику є приймальний отвір, що з'єднується з камерою повного тиску. З камери тиск передається по трубці зі штуцером в трубопровід, який з'єднується з манометричними коробками відповідних приладів. Для запобігання потрапляння вологи в трубку її кінець виконано у вигляді закритого ковпачка, в якому є отвори, через які тиск із камери подається в трубку. Волога, що потрапляє в камеру повного тиску з атмосфери, стікає через чотири дренажних отвори в стінці наконечника.

Для запобігання камери повного тиску та поверхні наконечника від обмерзання є електричний обігрівальний елемент.

Статичні камери приймачів ПВД-7 на лівому та правому бортах попарно за-кольцовані та утворюють три автономні магістралі статичного тиску: "С1" – ЛІВІЙ ЛЬОТЧИК, "С2" – ПРАВІЙ ЛЬОТЧИК, "С3" – САМОПИСЦІ – ШТУР-МАН. Кільцювання магістралей дозволяє осереднювати істинний статичний тиск, який при польоті зі зносом та еволюціях літака може бути різним для лівого та правого бортів.

Два резервних приймачі статичного тиску представляють собою відкриті штуцера, що передбачені на випадок відмови лівої і правої статичних камер приймачів ПВД-7. Один приймач підключений до крану статичної магістралі живлення приладів лівого льотчика, другий – до магістралі правого льотчика.

Крани 623700-3 призначені для перемикання живлення приладів з основних магістралей на резервні.

Для підключення живлення приладів до резервних магістралей крани СТАТИКА і ДИНАМІКА переводяться з положення ОСНОВН. в положення РЕЗЕРВН. Схема роботи кранів показана на Рис. 1.20.

Магістралі повного та статичного тисків виконані у вигляді трубопроводів із магнієвого сплаву. Трубопроводи магістралі повного тиску мають переріз 6x1 мм і пофарбовані в чорний колір. Трубопроводи магістралі статичного тиску перерізом 8x1 мм пофарбовані в білий колір. В місцях підвода статичного і повного тисків до приладів використовуються резинові шланги з внутрішнім діаметром 4 мм.

Монтаж трубопроводів магістралей статичного та повного тисків виконано з нахилом, що забезпечує злив конденсату у відстійники.

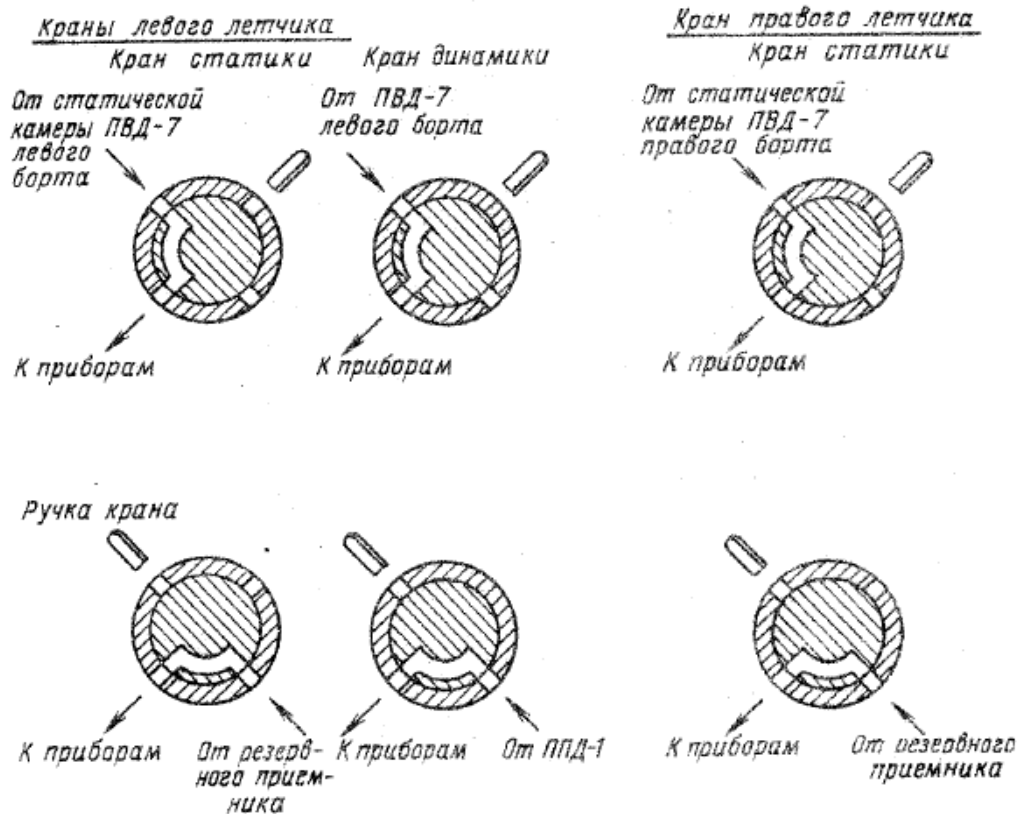


Рис. 1.20. Схема работы кранів повного та статичного тисків

#### 1.4. Принцип вимірювання висоти.

Висотомір - це манометр, тарований у відповідності до законів стандартних значень тиску і температури. Навколишній атмосферний тиск є єдиним вхідним параметром, що використовується у висотомірі.

Беручи до уваги, що умови стандартні, «приладова висота» (ІА) – це відстань по вертикалі між наступними двома поверхнями тиску:

- Поверхня тиску, на якій вимірюється атмосферний тиск (фактичне місцезнаходження повітряного судна),
- Еталонна поверхню тиску, що відповідає тиску, встановленому пілотом за допомогою ручки установки тиску на висотомірі.

$$IA = f(P_{amb}) - f(P_{set})$$

$$IA = PA_{amb} - PA_{set}$$

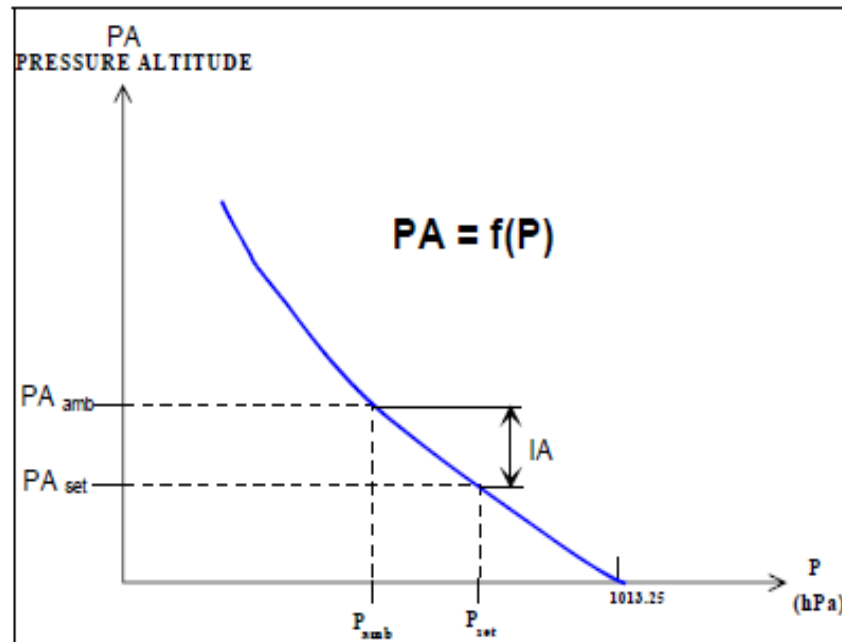


Рис.1.20. Встановлення барометричного тиску

Встановлений тиск і приладова висота змінюються прямо пропорційно: будь-яке збільшення встановленого тиску призводить до відповідного збільшення приладової висоти (IA).

Завданням визначення висоти є забезпечення належного запасу висоти над земною поверхнею і між повітряними судами. З цієї метою можуть вибиратися різні експлуатаційні значення тиску за допомогою ручки установки тиску на шкалі висотоміра (Рис.1.21):

- QFE - тиск в контрольній точці аеропорту. При встановленому QFE висотомір показує висоту щодо контрольної точки аеропорту (при стандартній температурі).

- QNH - це тиск на середньому рівні моря. QNH обчислюється по тиску, виміряного в контрольній точці аеропорту та наведеним до середнього рівня моря з урахуванням закону стандартного тиску. При встановленому QNH висотомір показує висоту щодо середнього рівня моря (при стандартній температурі). Отже, на рівні аеропорту в умовах MSA висотомір показує топографічну висоту місцевості.

- Стандартний тиск відповідає 1013 гПа. При встановленому стандартному тиску висотомір показує висоту щодо ізобаричної поверхні з тиску 1013 гПа (при стандартній температурі). Мета полягає в тому, щоб забезпечити вертикальне ешелонування між повітряними суднами незалежно від місцевих коливань тиску протягом польоту. Після зльоту і перетину висоти переходу встановлюється стандартне тиск.

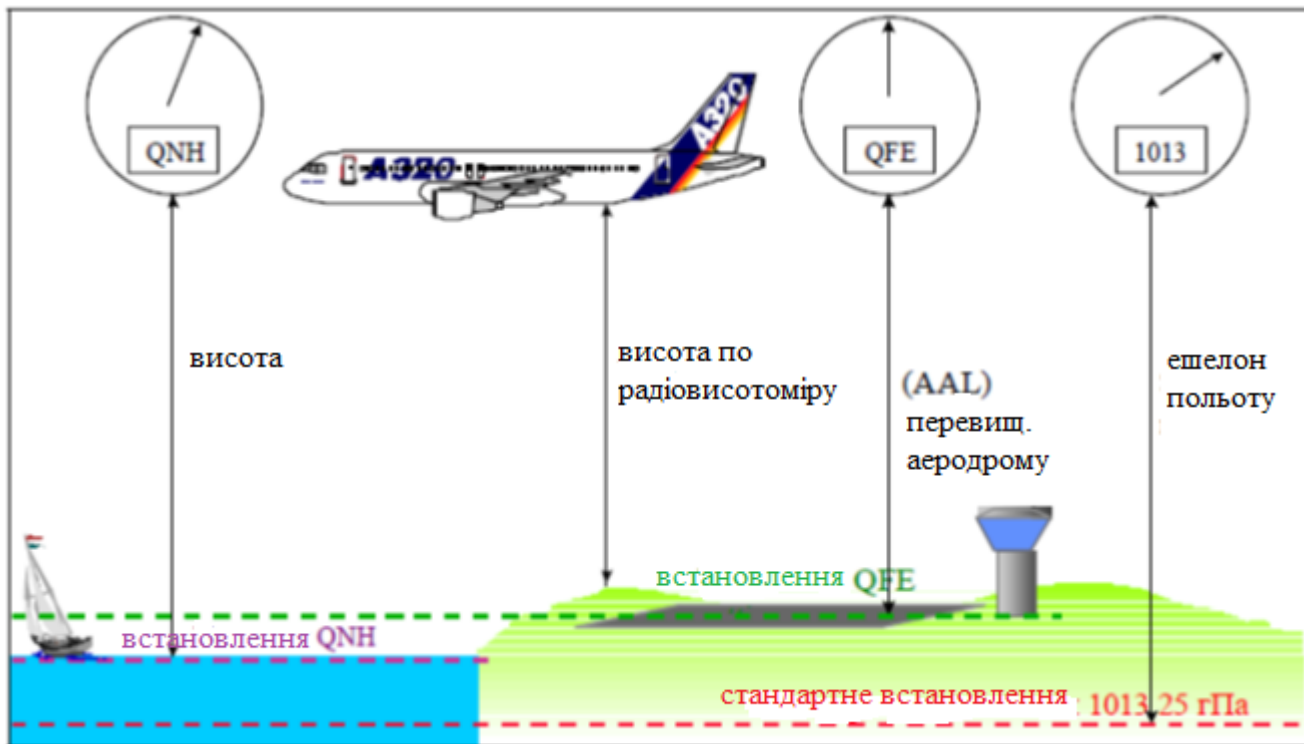


Рис.1.21. QNH і барометрична висота.

- Ешелон польоту відповідає приладовій висоті у футах, поділений на 100, за умови, що встановлено стандартний тиск.

- Висота переходу - це приладова висота, вище якої екіпажем має бути встановлено стандартний тиск.

- Ешелон переходу - це перший наявний ешелон польоту вище висоти переходу.

Зміни встановлених значень QNH і стандартного тиску відбуваються на висоті переходу в процесі набору висоти і на ешелоні переходу в процесі зниження (Рис.1.22).

Висота переходу зазвичай дається на картах-схемах стандартних маршрутів вильоту за приладами (SID), тоді як ешелон переходу зазвичай повідомляється органом управління повітряним рухом (УПР).

Справжня висота польоту повітряного судна рідко збігається з приладової

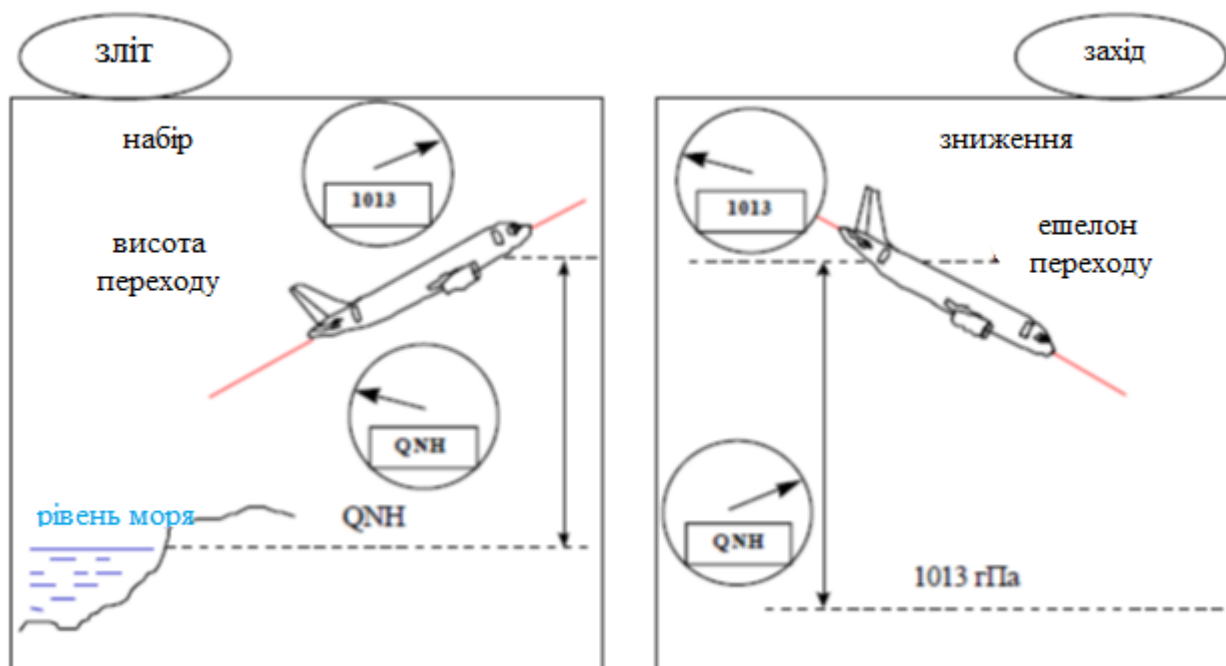


Рис.1.22. Висота переходу та ешелон переходу

висотою, якщо висотомір встановлений на 1013 гПа. Це в основному відбувається в силу того факту, що тиск на рівні моря зазвичай не відповідає 1013гПа і / або що температура не відповідає ISA.

При наявності температурних умов ISA і при встановленому на висотомірі стандартному тиску справжню висоту польоту повітряного судна можна отримати з приладової висоти, якщо відомо місцеве значення QNH.

$$\text{Істинна висота} = \text{Приладова висота} + 28 \times (\text{QNH [гПа]} - 1013)$$

При польоті на даній приладової висоті справжня висота зростає з збільшенням температури (Рис.1.23.). Наближено взаємозв'язок між істинною висотою і приладової висотою може бути представлений :



$$TA = IA \frac{T}{T_{ISA}}$$

TA = Істинна висота

IA = Приладова висота

T = Фактична температура (в кельвінах)

T<sub>ISA</sub> = Стандартна температура (в кельвінах)

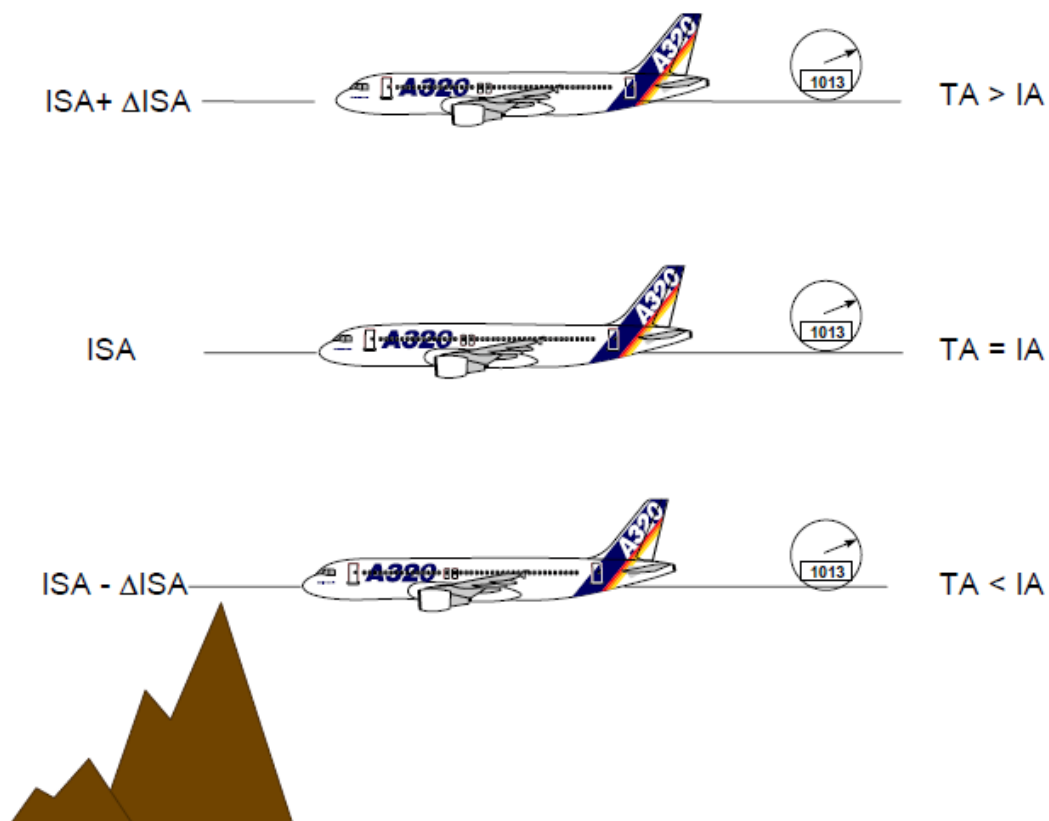


Рис.1.23. Вплив температури на істинну висоту при постійній приладовій висоті.

При постійній приладовій висоті (IA) справжня висота (TA) , якщо статична температура повітря (SAT) .

#### Висновок:

Чим вище температура, тим вище потрібно летіти, чим нижче температура, тим нижче потрібно летіти.

### **1.5. Система вимірювання експлуатаційних швидкостей.**

Типи швидкостей, що використовуються при експлуатації повітряного судна, різні. Деякі з них забезпечують екіпажу можливість виконувати політ, уника-

ючи області критичних режимів, в той час як інші в основному використовуються з метою навігації та оптимізації функціональних характеристик. В силу цього розглянемо різні типи швидкостей, що використовуються в авіації.

**Індикаторна земна швидкість (CAS).** Індикаторна земна швидкість (CAS) відповідає різниці між повним тиском ( $P_t$ ) і статичним тиском ( $P_s$ ). Ця різниця називається динамічним тиском ( $q$ ). Оскільки динамічний тиск не може бути виміряна безпосередньо, воно вимірюється за допомогою двох приймачів повітряного тиску (Рис.1.24.).

$$q = P_t - P_s$$

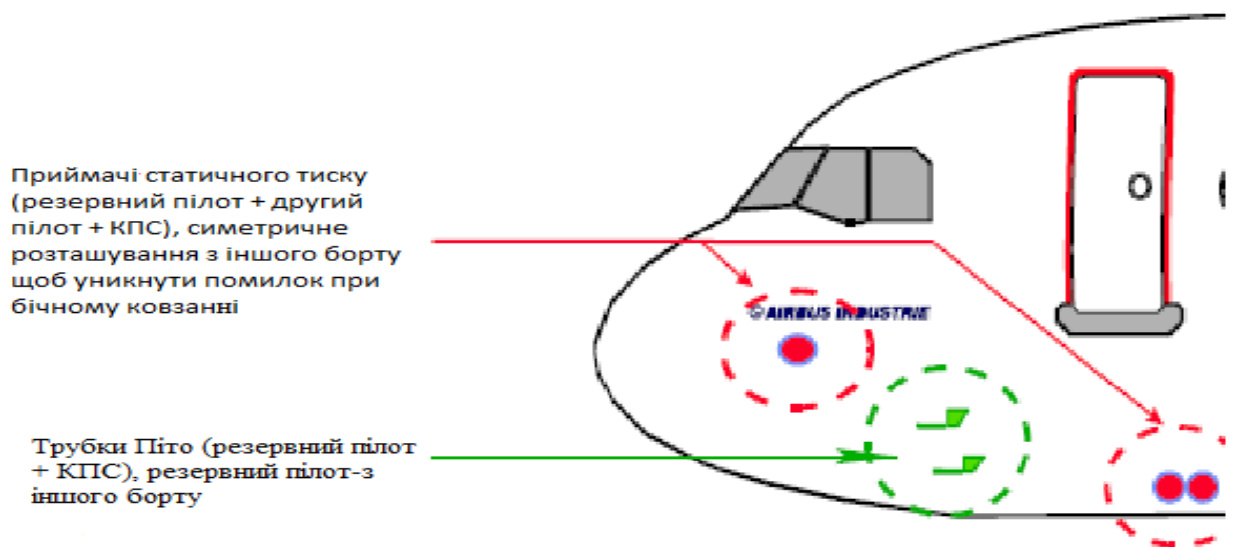


Рис.1.24. Трубки Піто і приймачі статичного тиску.

Для отримання повного тиску  $P_t$  повітряний потік, що набігає, затримується у винесеній вперед трубці, званої трубкою Піто (Рис.1.25.), яка заміряє швидкісний натиск. Цей вимір напору враховує навколишній тиск (статичний аспект) на даній висоті польоту плюс переміщення повітряного судна (динамічний аспект).

Статичний тиск  $P_s$  вимірюється за допомогою декількох симетричних приймачів статичного тиску, розташованих під прямим кутом до потоку повітря, що набігає. Такий вимір являє собою тиск доквілля на даній висоті польоту (статичний аспект).

$$CAS = f(P_t - P_s) = f(q)$$

Політ з постійною CAS на ділянці набору висоти забезпечує такий ж аеродинамічний вплив, як і на рівні моря, і, отже, дозволяє усунути варіації швидкості.

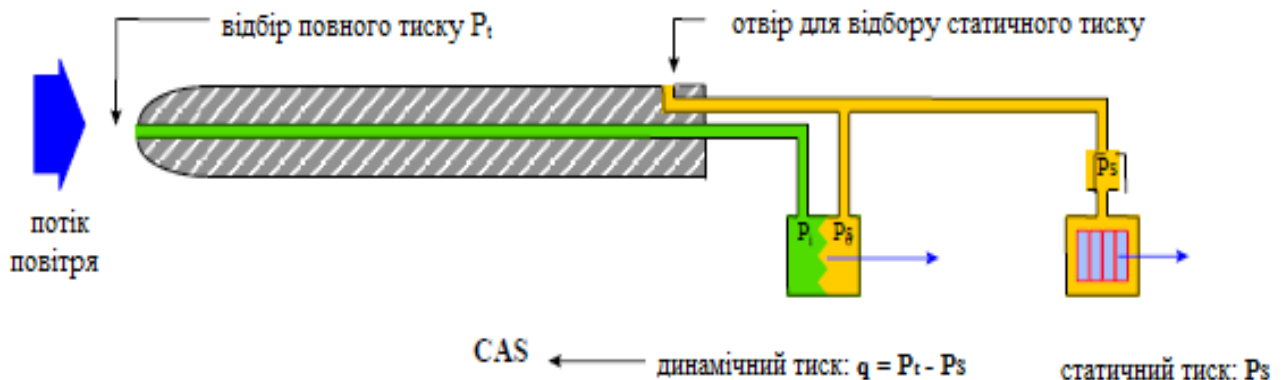


Рис.1.25. Техніка визначення індикаторної земної швидкості (CAS).

**Приладова повітряна швидкість (IAS)** - це швидкість, що відображається на показчику швидкості. Незалежно від умов польоту, якщо вимірювання швидкості точні, то в ідеалі IAS повинна дорівнювати CAS. Проте, в залежності від кута атаки повітряного судна, конфігурації крил, близькості земної поверхні (наявності або відсутності ефекту землі), напрямку вітру та інших параметрів, здатних вплинути, можуть мати місце помилки виміру, в основному це стосується статичного тиску. Це призводить до невеликої відмінності між значеннями CAS і IAS. Ця різниця називається інструментальною поправкою або антеною помилкою ( $K_i$ ).

$$IAS = CAS + K_i$$

**Справжня (істинна) повітряна швидкість (TAS).** У процесі польоту повітряне судно переміщується в повітряній масі, яка сама перебуває в русі щодо землі. Справжня повітряна швидкість (TAS) є швидкістю повітряного судна в рухомій системі відліку, пов'язаної з цією повітряною масою, або, простіше кажучи, швидкістю повітряного судна в повітряному потоці. Вона може бути отримана з CAS, використовуючи значення щільності повітря ( $\rho$ ) з поправкою на стисливість (K).

$$TAS = \sqrt{(\rho_0/\rho)} K CAS$$

**Шляхова швидкість (GS)** являє собою швидкість повітряного судна в фіксованій земній системі відліку. Вона дорівнює TAS з поправкою на складову вітру (рис.1.26).

**Шляхова швидкість = Справжня повітряна швидкість + складова вітру**

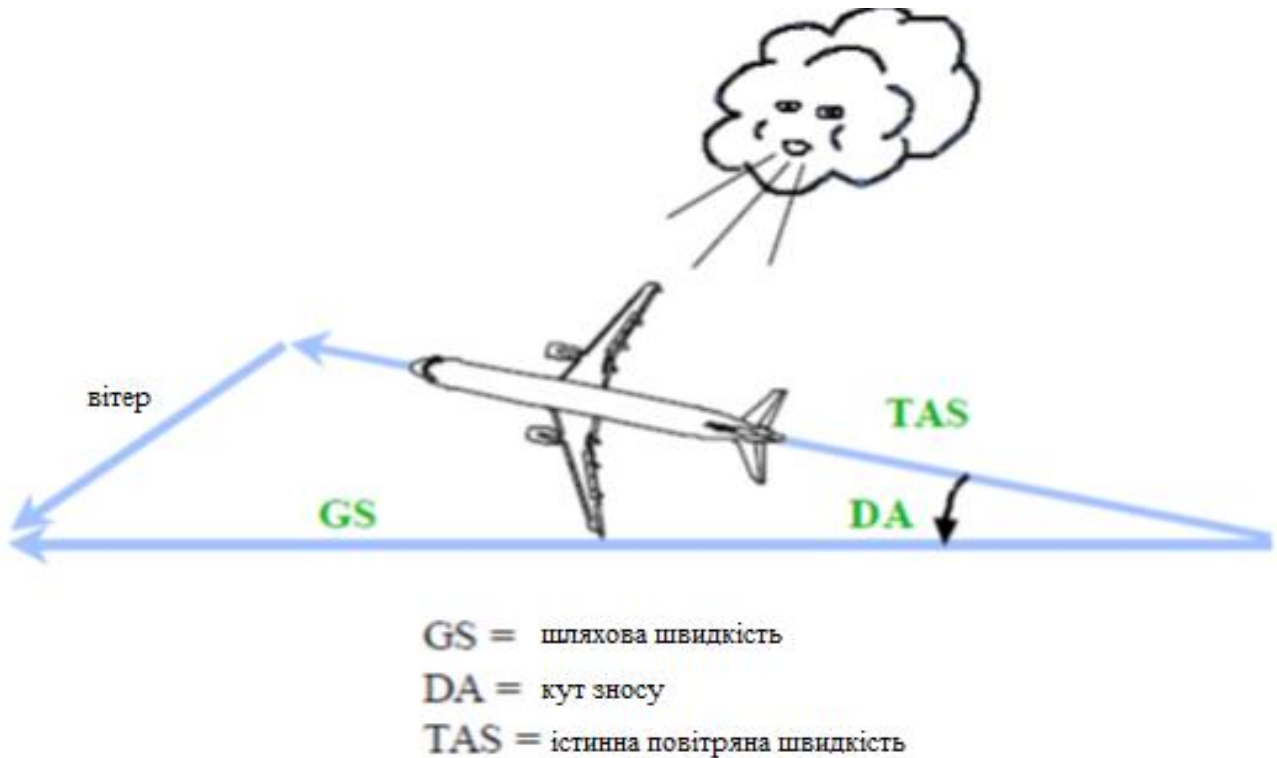


Рис.1.26. Шляхова швидкість та кут зносу

**Число Маха М** показує співвідношення між справжньою повітряною швидкістю TAS і швидкістю звуку.

$$M = \frac{TAS}{a}$$

Де : TAS - справжня повітряна швидкість

a - швидкість звуку на висоті польоту

Швидкість звуку в вузлах дорівнює:

$$a(kt) = 39 \sqrt{SAT(K)}$$

Де SAT - статична температура повітря (навколишня температура) в кельвінах.

Швидкість звуку залежить тільки від температури. Отже, число Маха може бути виражене в такий спосіб:

$$M = \frac{TAS (kt)}{39 \sqrt{273 + SAT(^{\circ}C)}}$$

При польоті з даними числом Маха в тропосфері: зі збільшенням барометричної висоти зменшується SAT і відповідно справжня повітряна швидкість (TAS).

$P_t$  і  $P_s$ , що заміряли відповідно трубкою Піто і приймачами статичного повітряного тиску, також використовуються при визначенні числа Маха:

$$M = f\left(\frac{P_t - P_s}{P_s}\right) = f\left(\frac{q}{P_s}\right)$$

Потім з числа Маха виходить TAS для відображення на індикаторах сучасних повітряних суден:

$$TAS(Kt) = 39M \sqrt{273 + SAT(^{\circ}C)}$$

### Зміни істинної швидкості (TAS).

Нищенаведений графік показує варіації TAS як функцію барометричної висоти для профілю набору висоти з постійною CAS (300 вузлів) і постійним числом Маха ( $M=0.78$ ). Висота, на якій дана CAS дорівнює даному числу Маха називається висотою сходження (cross-over altitude).

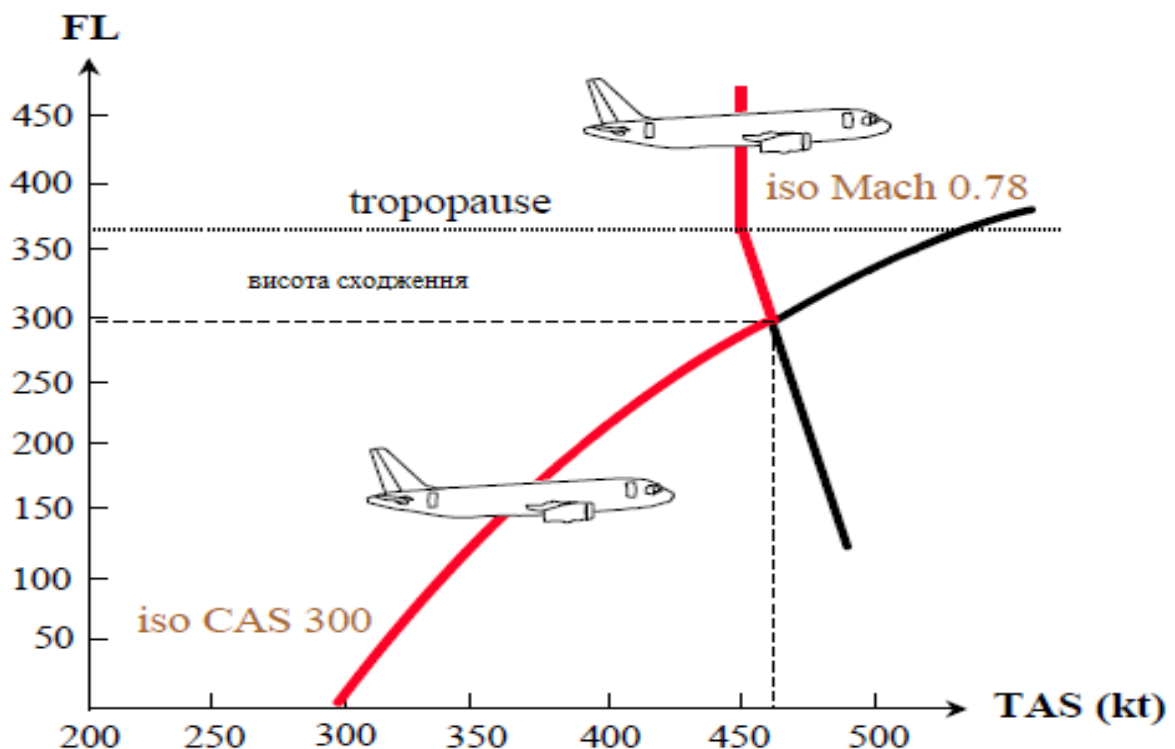


Рис.1.27. Варіації істинної повітряної швидкості - профіль набору висоти на швидкості 300 вузлів / $M=0.78$

## Висновок до розділу 1

Таким чином, величинами, що вимірюються датчиками повітряних параметрів приладного обладнання літака є динамічний та статичний тиск, температура повітряного потоку та кут атаки. Щоб визначити ці величини необхідно мати датчики тиску, температури та аеродинамічних кутів.

Основними параметрами для визначення місцеположення літака в просторі є висота і його швидкість руху. Вони можуть визначатися як окремими приладами, так і комплексними системами висотно-швидкісних параметрів на основі вимірювання повного (динамічного) та статичного тисків.

Від наявності великої мережі магістральних трубопроводів, система має типові несправності та недоліки, властиві системам з пневмопроводами. Такими несправностями є:

- негерметичність магістральних трубопроводів;
- можливість закупорювання трубопроводів;
- негерметичність та заповнення водою відстійників вологи;
- забруднення отворів приймачів повітряного тиску.

Для усунення цих недоліків автором пропонується застосувати в системі повітряних параметрів електронні датчики тиску, які мають маленькі розміри і можуть бути розміщені безпосередньо на приймачах повного та статичного тиску.

## РОЗДІЛ 2

### ДАТЧИКИ, ЩО ВИМІРЮЮТЬ АЕРОМЕТРИЧНІ ВЕЛИЧИНИ

Основні аерометричні величини, які характеризують висотні та швидкісні параметри польоту ПС, належать динамічний тиск та статичний тиск. За допомогою їх визначають барометричну висоту та приладну швидкість польоту ПС. Вимірювання динамічного тиску та статичного тиску на борту повітряного судна виконується за допомогою датчиків тиску, які знаходяться в модулях повітряних параметрів СПС (системи повітряних сигналів).

#### 2.1. Характеристика датчиків тиску

Для сприйняття на ПС системою повітряних сигналів повного  $P_{п}$  та статичного  $P_{ст}$  тисків, використовують датчики тиску. Вони перетворюють  $P_{п}$  та  $P_{ст}$  в електричні сигнали, які з метою обчислення параметрів руху ЛА поступають у обчислювач ПС.

Датчики тиску - це датчики первинної інформації для системи повітряних сигналів. Функціями (однозначними) статичного тиску і повного тиску є параметри руху. Більшість метрологічних і технологічних характеристик системи повітряних сигналів визначають датчики тисків. Це такі характеристики:

- точність,
- надійність,
- довговічність,
- діапазони вимірювання,
- габаритні розміри,
- якість вихідної інформації системи,
- зручність обслуговування.

Тому фахівці авіаційної науки приділяють датчикам тиску велику увагу.

Так як ці датчики володіють надвисокими метрологічними характеристиками, це вимагає значних матеріальних ресурсів.

<b>КАФЕДРА АВІОНІКИ</b>				<b>НАУ 20 112 84 000 ПЗ</b>			
Виконав.	Павленко О.М.			<b>Датчики, що вимірюють аерометричні величини</b>	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник	Чужа О.О.						39
Консульт.					173 201		
Н. Контр.	Левківський В.В.						
Зав. каф.	Павлова С.В.						

Стоять датчики тиску на авіаційному ринку теж дорого - 50 тисяч доларів .

Фірми, що займаються розробкою авіаційних датчиків тисків :

- УКБП Схід (Росія),

- Роземаунт (Rosemount Engineering), Сперрі (Sperry Rand. Corp.), Хонеувелл (Honeywell Corp.) - США,

- Солатрон (Solatron Transducer Ltd.), Марконі (Marconi Avionics ) - Англія,

- Кроузет (Crouzet), Бадін-Кроузет (Badin-Crouzet), Жежер (Jaeger) - Франція.

Ці фірми розробляють і поставляють високоточні датчики для системи повітряних сигналів, та встановлюють їх на цивільні , військові літаки, гелікоптери та інші ЛА.

Щоб датчики тиску було зручніше досліджувати, їх представляють у вигляді блок-схеми (Рис. 2.1.).



P - вимірюваний тиск; 1-первинний перетворювач; 2 - вторинний перетворювач, 3 - блок обробки сигналів; X - переміщення; U- електричний сигнал

Рис.2.1. Структурна блок-схема датчика тиску.

Найбільше застосування у авіації знайшли такі типи датчиків тиску:

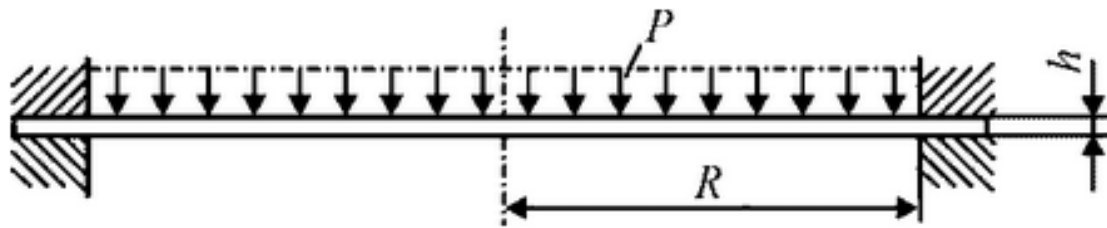
- потенціометричні,
- індуктивні,
- ємнісні,
- вібраційно-частотні,
- компенсаційні,
- тензометричні.

Важливо, що тип датчика визначається видом другої ланки в структурній схемі (Рис. 2.1.), або яким способом сприймає корисну інформацію первинний перетворювач.

Для всіх типів датчиків спільним є те, що у них є первинний перетворювач(чутливий елемент по тиску), котрий тиск, що вимірюється, перетворює в пе-

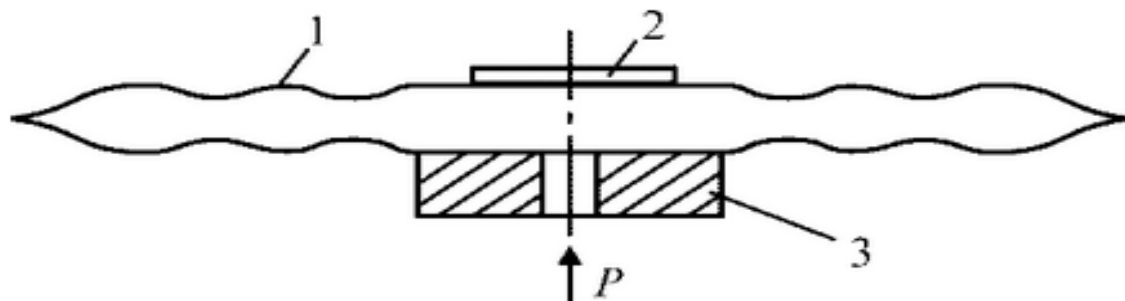


реміщення, за винятком компенсаційного датчика, в якому тиск, що вимірюється, перетворюється в силу. Первинний перетворювач, в більшості випадків, це плоска пружна мембрана. (Рис. 2.2.), сильфон (набір спеціальних мембранних коробок) або мембранна коробка (Рис.2.3.).



$R$  – радіус,  $h$  – товщина,  $P$  – тиск

Рис.2.2. Плоска пружна мембрана.



1-пружна частина коробки, 2- верхній подвижник центр, 3- нижній подвижник центр.

Рис.2.3. Мембранна коробка.

Головним елементом будь-якого датчика є чутливий елемент. Основні статичні характеристики пружного чутливого елемента:

1. Залежність переміщення  $X$  від тиску  $P$ :

$$X = f(P) \quad (2.1);$$

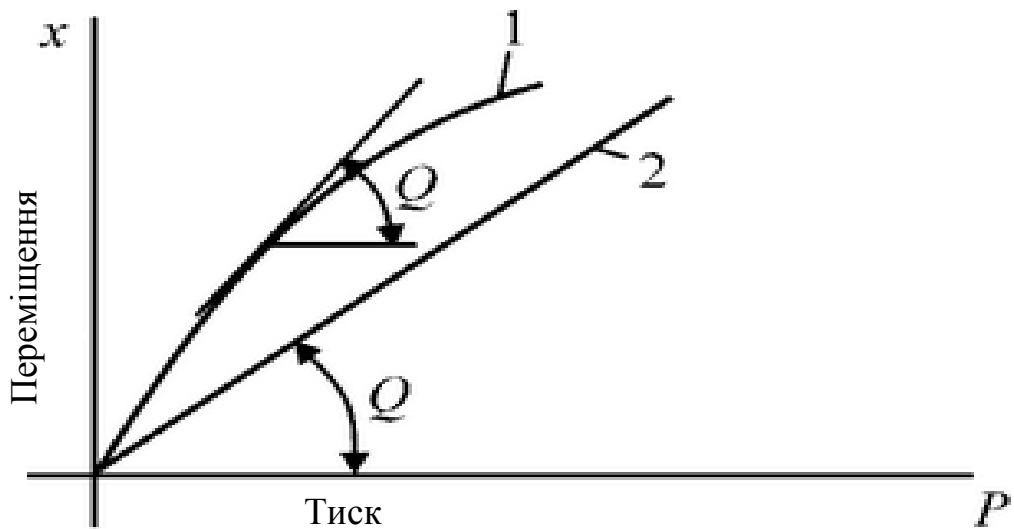
2. Залежність сили  $F$  від тиску  $P$ :

$$F = f(P) \quad (2.2);$$

На рис. 2.4 наведені тягові характеристики позиційного чутливого елемента згідно рівнянням (2.1). Залежність тягового зусилля від тиску згідно рівняння (2.2) можна вважати пропорційним:

$$F = S_{\text{еф}} * P ,$$

де  $S_{\text{еф}}$  - ефективна площа сильфона.



1 – нелінійна функція; 2 – лінійна функція;  $Q$  – кут нахилу

Рис.2.4. Характеристика пружного перетворювача тиску.

Для вібраційно- частотного датчика рівняння (2.1) не зміниться. Виходом чутливого елемента для такого типу датчика є теж переміщення, тільки у вигляді коливань. Будь-який пружний чутливий елемент працює в межах закону Гука - сила пружності прямо-пропорційна зміні переміщення матеріалу.

До похибок пружних чутливих елементів відносяться:

1. Пружна післядія. Пружна післядія, як похибка, проявляється у вигляді запізнювання інформації від швидкості наростання тиску.

2. Температура. Температурна похибка чутливого елемента викликається зміною модуля пружності його матеріалу при зміні температури. Чим більше температурний коефіцієнт матеріалу, тим більше температурна похибка ЧЕ.

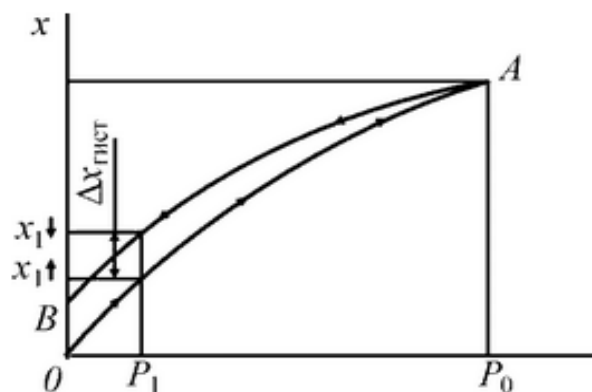


Рис.2.5. Петля Гістерезиса.

3. Гістерезис. Гістерезис проявляє себе в неоднозначній вихідній інформації при збільшенні чи зменшенні тиску (Рис.2.5.). Обидві ці похибки викликаються внутрішніми суперечками матеріалу ЧЕ.

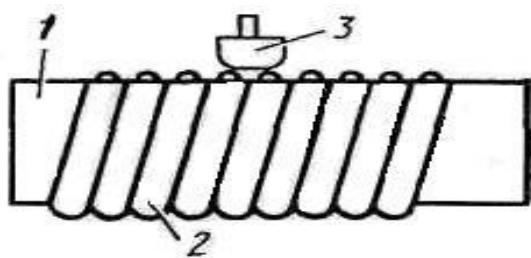
Металеві чутливі елементи, як правило, виготовляють з бронзи та нержавіючої сталі. В системі повітряних сигналів застосовують пружні чутливі елементи манометричного і анероїдного типів. В основі таких типів ЧЕ лежить принцип дії пружної деформації матеріалу під дією різниці тисків або виникнення зосередженої сили під дією різниці тисків (у сільфоні).

## 2.2. Потенціометричний датчик тиску

Потенціометричні датчики призначені для перетворення лінійних або кутових переміщень в електричний сигнал, а також для відтворення найпростіших функціональних залежностей в автоматичних пристроях .

Являє собою змінний резистор, до якого прикладена напругу живлення. Вхідною величиною його є лінійне або кутове переміщення токоз'ємного контакту, а вихідною величиною - напруга, що знімається з цього контакту, що змінюється за величиною при зміні його положення.

Конструктивно потенціометричний датчик складається з каркаса 1, на який намотана в один шар обмотка 2 з тонкого дроту (Рис.2.6.). По витках обмотки ковзає движок (щітка) 3, який механічно пов'язаний з об'єктом, переміщення якого треба виміряти. Обмотка виконана з ізольованого проводу, а доріжка, по якій ковзає движок, попередньо очищена від ізоляції (Рис.2.7.).



1-щітка, 2-провід, 3- ізоляція

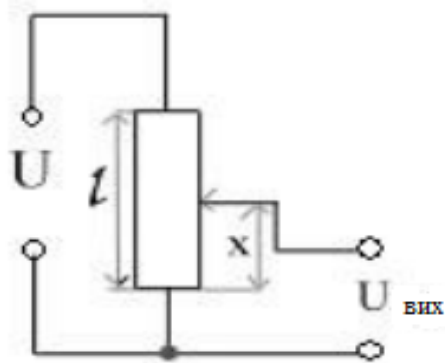
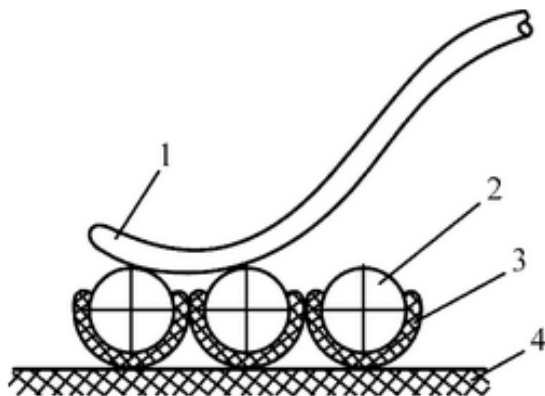


Рис.2.6. Потенціометричний перетворювач.

Напруга живлення подається на всю обмотку реостата через нерухомі виводи цієї обмотки (Рис.2.6.). Вихідна напруга, пропорційна переміщенню щітки, знімається з одного з нерухомих виводів і з рухомої щітки. Така схема включення в електротехніці називається потенціометричною або схемою дільника напруги.



1-щітка, 2-провід, 3- ізоляція, 4-каракас.

Рис. 2.7. Елементи потенціометра.

Для обмотки потенціометричного датчика найчастіше використовують провід з манганіна, константана та інших провідникових матеріалів, що мають малий температурний коефіцієнт опору.

Провід діаметром 0,1-0,3 мм використовується при великих зусиллях притискання движка, при малих зусиллях - провід зі сплавів платини, срібла, іридію, рубідію, осмію і ін. Діаметр дротів таких точних датчиків вибирається в межах 0,03-0,01 мм.

Недоліками потенціометричних датчиків є:

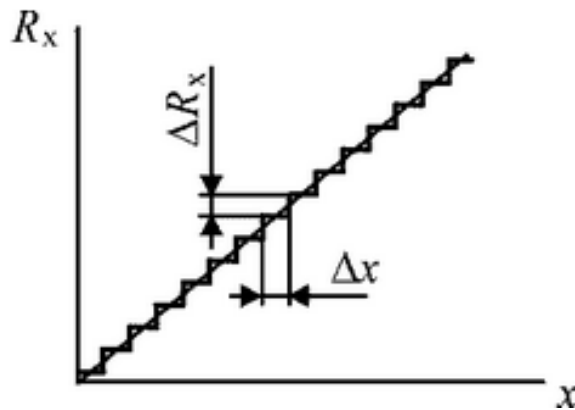
1. Наявність ковзного контакту, який може стати причиною відмов через окислення контактної доріжки, перетирання витків або відгинання повзунка;
2. Похибка в роботі за рахунок навантаження;
3. Порівняно невеликий коефіцієнт перетворення;
4. Високий поріг чутливості;
5. Наявність шумів;
6. Схильність до електроерозії під дією імпульсних розрядів

Перевагами потенціометричних датчиків є:

1. Простота конструкції;
2. Малі габарити і вага;
3. Висока ступінь лінійності статичних характеристик;
4. Стабільність характеристик;
5. Можливість роботи на змінному і постійному струмі.

Основними похибками потенціометричних датчиків є:

1. Виткова похибка;
2. Похибка від тертя.



$\Delta R_x$  – ціна одного витка;  $\Delta x$  – поріг переміщення.

Рис.2.8. . Типова характеристика потенціометра.

Типова характеристика дротяного потенціометра, яка має вигляд драбинки (Рис.2.8.). Щоб відбулася зміна опору, треба щоб щітка пересунулася на один виток  $\Delta x$ . Тобто, опір не зміниться поки щітка не пересунеться на один виток  $\Delta x$ . Так утворюється виткова похибка, яка дорівнює:

$$\Delta R_x = \frac{R_x}{2w}$$

де  $w$  – число витків потенціометра.

Похибка від тертя потенціометричного датчика тиску викликана тим, що щітка треться по проводу. Тертя через механізм датчика приводиться до нерухомого центру пружного чутливого елемента, тим самим віднімає частину корисного переміщення.

Для підвищення точності потенціометричного датчика треба збільшувати кількість витків зменшенням діаметру дроту, а також зменшенням довжини корисної частини намотування.

Діаметр дроту визначає клас точності потенціометричного датчика (високий-0,03-0,1 мм, низький 0,1-0,4 мм).

Збільшенням габаритів чутливого елемента можна досягти зменшення похибки від тертя. Це призведе до протиріччя з габаритно-масовими параметрами датчика, а саме мініатюризацією параметрів.

Щоб усунути виткову похибку застосовують безвиткові потенціометри. В таких потенціометрах замість дроту на каркасі використовується струмопровідна маса. Щоб привести виткову похибку до допустимої використовують багатооберотний потенціометр.

Потенціометричні датчики широко використовують в авіації завдяки простоті конструкції і невеликій вартості. Зокрема датчик ДАС досі застосовується в аварійних самописцях літаків. Маса їх 1,5 кг, а похибка біля 2% .

Не погані властивості потенціометричних датчиків, а також не належне освоєння інших видів датчиків змушує багато фірм вдосконалювати їх. Одна з таких, фірма з США Serkonic Instruments, Inc , яка провела велику та затратну роботу по удосконаленню потенціометричних датчиків. Її розробка – датчик L-113, при вазі 50 грам похибка 1% від діапазону. В ньому - зі сплаву платини дріт та безлюфтовий стрічковий механізм. В інших моделях датчика ця фірма досягла роздільну здатність 0,3% при точності 1% від діапазону вимірювання.

Не дивлячись на застосування різними фірмами багатьох технічних рішень, таких як надтонкий провід, стрічкова безлюфтова передача, безвитковий, плівковий або вугільний потенціометр, сучасні матеріали для проводу, щітки та чутливих елементів досягти точності краще ніж 0,5 - 1%, не вдалося.

### **2.3. Індуктивний датчик тиску**

Індуктивні датчики - перетворювачі параметрів. Їх робота полягає в зміні індуктивності шляхом зміни магнітного опору датчика.

Велику популярність індуктивні датчики отримали на виробництві для вимірювання переміщень в інтервалі від 1 мікрометра до 20 мм. Індуктивний датчик можна застосовувати для виміру рівнів рідин, газоподібних речовин, тисків, різних сил. У цих випадках параметр, що вимірюється перетворюється чутливими компонентами в переміщення, далі ця величина надходить на індуктивний перетворювач.

Для виміру тиску застосовуються чутливі елементи. Вони відіграють роль датчиків наближення, які призначені для виявлення різних об'єктів безконтактним методом.

В залежності від схеми індуктивні датчики поділяються на 2 види:

- одинарні датчики,
- диференціальні датчики.

Одинарний має одну гілку вимірювання, диференціальний датчик - дві вимірювальні гілки.

У диференціальної моделі при зміні параметра, що вимірюється змінюються індуктивності 2-х котушок. При цьому зміна здійснюється на однакове значення з протилежним знаком.

Принцип дії індуктивного перетворювача: зміна коефіцієнта самоіндукції дроселя внаслідок зміни повітряного зазору магнітопроводу при переміщенні якоря або сердечника щодо обмотки.

Коефіцієнт самоіндукції дроселя визначається виразом:

$$L = \frac{0,4\pi\omega^2}{R_o + R_{ж}} \cdot 10^{-8},$$

де  $\omega$  – число витків обмотки;  $R_o$  – магнітний опір повітряного зазору;

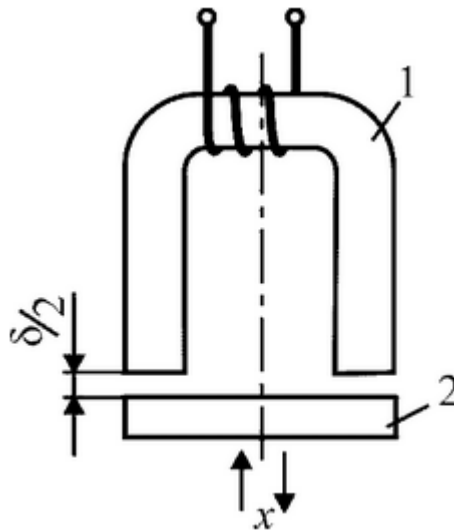
$R_{ж}$  – магнітний опір магнітопроводу.

З цієї формули видно, що залежить коефіцієнт самоіндукції від трьох параметрів : числа витків обмотки, магнітного опору повітряного зазору та магнітного опору магнітопроводу. Якщо змінюється будь-який параметр з цих трьох, то змінюється загальний опір котушки з сердечником.

Індуктивні перетворювачі поділяються на перетворювачі зі змінним опором повітряного зазору, перетворювачі зі змінним опором магнітопровода та зі змінним числом витків.

Принципова схема індуктивного перетворювача з перемінним повітряним зазором, представлена на Рис.2.9.

На Рис. 2.10. показана його характеристика.



$\delta$  – зазор; 1 – сердечник; 2 – ярма

Рис.2.9. Індуктивний перетворювач переміщення

У авіаційному приладобудування найбільше застосовують індуктивні перетворювачі зі змінним повітряним зазором різних конструкцій, в тому числі

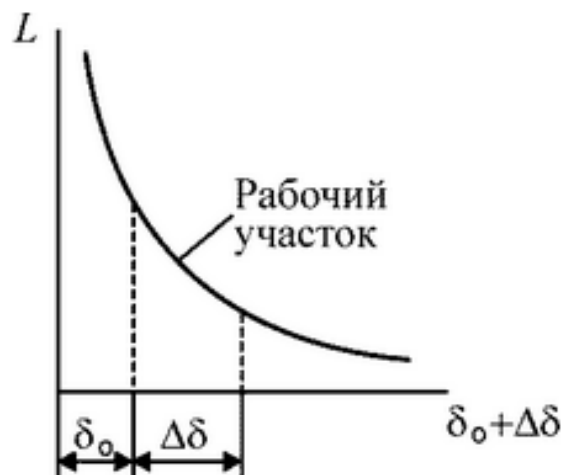


Рис.2.10. Залежність коефіцієнту самоіндукції від зазору



диференціальні. Індуктивні перетворювачі, як і багато інших, обробляються за допомогою врівноваженого моста (Рис. 2.11.).

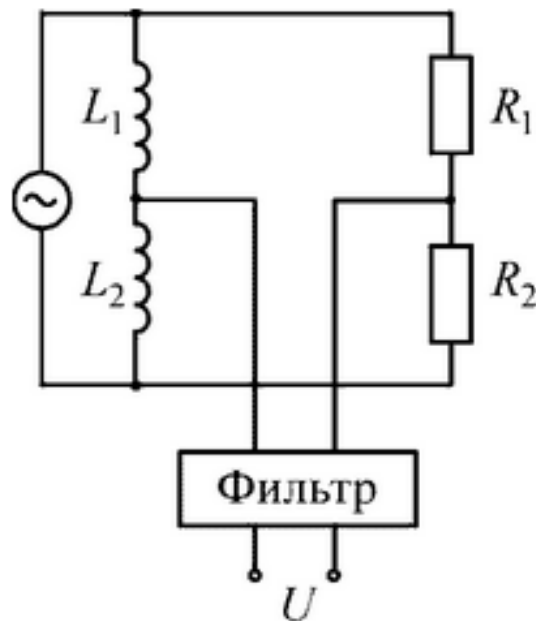


Рис. 2.11. Мостова схема підключення індуктивних перетворювачів.

Переваги індуктивних датчиків:

- простота і міцність конструкції, відсутність ковзних контактів;
- можливість підключення до джерел промислової частоти;
- відносно велика вихідна потужність (до десятків Ватт);
- значна чутливість.

Недоліки індуктивних датчиків:

- точність роботи залежить від стабільності напруги живлення по частоті;
- можлива робота тільки на змінному струмі.

Можна виділити наступні похибки індуктивного датчика:

1. Похибка від не лінійності характеристики. Мультиплікативна складова загальної похибки. Через принцип індуктивного перетворення вимірюваної величини, що лежить в основі роботи індуктивних датчиків, є суттєвою і в більшості випадків визначає діапазон виміру датчика.

2. Температурна похибка. Випадкова складова. Зважаючи на велике число залежних від температури параметрів складових частин датчика складова похибка може досягти великих величин і є суттєвою.

3. Похибка від впливу зовнішніх електромагнітних полів. Випадкова складова загальної похибки. Виникає через індукування ЕРС в обмотці датчика зовнішніми полями і через зміну магнітних характеристик магнітопровода під дією зовнішніх полів.

4. Похибка від магнітопружного ефекту. Виникає через нестабільність деформацій магнітопровода при складанні датчика (адитивна складова) і через зміну деформацій в процесі експлуатації датчика (випадкова складова).

5. Похибка від тензометричного ефекту обмотки. Випадкова складова. При намотуванні котушки датчика в проводі створюються механічні напруги. Зміна цих механічних напружень в процесі експлуатації датчика веде до зміни опору котушки постійному струму і, отже, до зміни вихідного сигналу датчика.

6. Похибка від з'єднувального кабелю. Виникає через нестабільність електричного опору кабелю під дією температури або деформацій і через наведень ЕРС в кабелі під дією зовнішніх полів. Є випадкової складової похибки.

Характеристики індуктивних датчиків тиску зарубіжних і вітчизняних фірм:

- основна похибка  $\pm 0,5\%$  від діапазону,
- гістерезис  $\pm 0,1\%$ ,
- робочий діапазон частоти вимірювання тиску 0 - 1000 Гц,
- маса 100 - 150 грам,
- вихідний сигнал 0 - 5 вольт.

#### **2.4.Ємнісний датчик тиску**

Ємнісні перетворювачі використовують метод зміни ємності конденсатора при зміні відстані між обкладинками.

Існують керамічні або кремнієві ємнісні первинні перетворювачі тиску а також перетворювачі, виконані з використанням пружної металевої мембрани.

При зміні тиску мембрана з електродом деформується і відбувається зміна ємності. В елементі з кераміки або кремнію простір між обкладинками зазвичай заповнене маслом або інший органічної рідиною (Рис.2.12.).



Рис.2.12. Ємнісний керамічний перетворювач тиску, виконаний методами мікромеханіки.

При використанні металевої діафрагми (рис.2.13) ячейка поділяється на дві частини, з одного боку якої розташовані електроди. Електроди з діафрагмою утворюють дві змінні ємності, включені в плечі вимірювального моста.

Коли тиск по обидва боки однаковий, міст збалансовано. Зміна тиску в одній з камер призводить до деформації мембрани, що змінює ємності, таким чином розбалансовується міст.

В даний час сенсори виготовляються з електродами, розташованими з одного боку від діафрагми. Газ буде контактувати тільки з камерою, виконаної з нержавіючої сталі або інконеля. Це дозволяє проводити вимірювання тиску забруднених, агресивних, радіоактивних газів і сумішей невідомого складу.

В абсолютній моделі опорний тиск становить  $10^{-7}$  -  $10^{-8}$  мм рт.ст., яке підтримується протягом тривалого часу хімічним геттером.

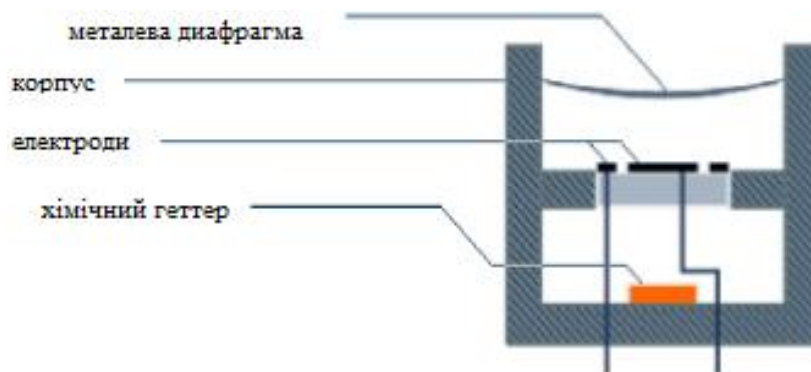


Рис.2.13. Ємнісний перетворювач тиску. В даному варіанті роль рухомий обкладки конденсатора виконує металева діафрагма.

До переваг чутливого ємнісного елемента можна віднести простоту конструкції, високу точність та тимчасову стабільність, можливість вимірювати низькі тиски та слабкий вакуум. У цілому дозволяє досягти високу точність датчика тиску порядку 0,01 - 0,02% від вимірюваної величини.

До недоліку можна віднести нелінійну залежність ємності від прикладеного тиску.

Особливості ємнісних датчиків:

1. Наявність великих, якщо порівнювати з власною ємністю датчика, приєднувальних ємностей, залежних від зовнішніх умов.

2. Необхідно ретельно ізолювати електроди один від одного і, як правило, від землі. Будь-яке порушення ізоляції призводить до спотворень початкових ємнісних зв'язків, порушення градування і дрейфу нуля.

3. Матеріали для електродів і корпусу необхідно ретельно підбирати.

4. При конструюванні датчиків тиску необхідно дотримуватись суперечливих вимог: малі габарити і велика початкова ємність, при якій зменшується вихідний опір датчика і полегшуються вимоги, що пред'являються до ізоляції датчика і до параметрів вимірювальної ланцюга.

## **2.5. Вібраційно-частотний датчик тиску**

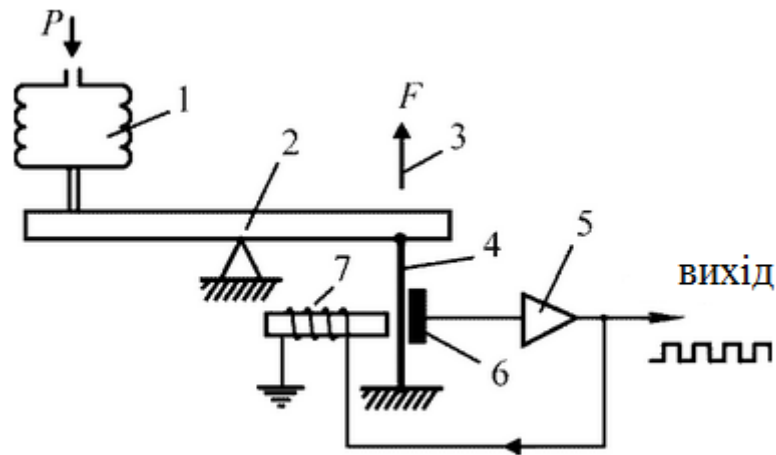
Для вимірювання статичного тиску  $P_{ст}$ , повного тиску  $P_{п}$  та динамічного тиску у складі системи повітряних сигналів ПС широке застосування знайшов вібраційно-частотний датчик тиску. Особливістю цього виду датчика є оригінальність вторинного перетворювання тиску безпосередньо в частоту. Принцип дії перетворювача полягає у функціональній залежності частоти резонансних коливань пружного чутливого елемента від величини вимірюваного тиску:

$$f = F(P)$$

Пружним чутливим елементом може бути вибрана:

- струна,
- мембрана,
- тонкостінний циліндр,
- п'єзоелементи.

Вторинний перетворювач у всіх цих випадках представляє коливальну систему, яка містить інерційний елемент у вигляді маси, що здатна накопичувати кінетичну енергію, і елемент, що здатний накопичувати потенційну енергію - пружний елемент.



1 – сільфон; 2 – балка з опорою; 3 – сила натягу струни; 4 – струна; 5 – підсилювач;  
6 – ємність; 7 – котушка збудження коливань струни.

Рис.2.14. Принципова схема частотного струнного датчика тиску.

Датчик надлишкового тиску з віброуючою струною представлений на Рис. 2.14. Струна має первинний натяг  $F_0$ , коли відсутній надлишковий тиску  $P$ . В цьому випадку струна матиме вихідну власну частоту  $f_0$ . Якщо збільшити тиск  $P$ , то жорсткість струни теж збільшиться. Відповідно частота зростатиме відповідно залежності:

$$f = \frac{n}{2l} \sqrt{\frac{F}{\rho S}};$$

де  $l$  – довжина струни в м;  $F$  – сила натягу струни в Ньютонах;  $\rho$  – об’ємна густина матеріалу струни в  $\text{кг/м}^3$ ;  $n$  – номер гармоніки коливань ( $n=1$ );  $S$  – перетин струни в  $\text{м}^2$ .

Дія струнних перетворювачів тиску заснована на залежності власної частоти  $f$  поперечних коливань балки (струни) від величини сили, що її розтягує.

Прилади, засновані на даному способі перетворення, добре себе зарекомендували, однак не отримали подальшого розвитку через чутливість до ударів, вібрації і низької технологічності виробництва. Технологія вирощування кристалічних структур дозволила японській фірми Yokogawa реалізувати принципово новий частотно-резонансний сенсор Н - подібної форми (Рис. 2.15.).

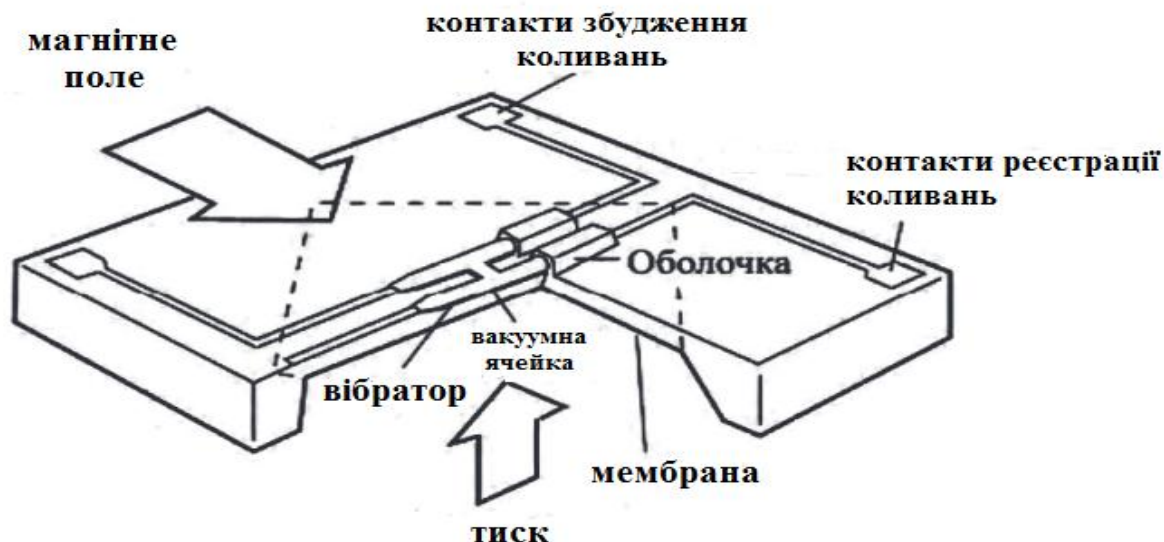


Рис. 2.15. Частотно - резонансний сенсор.

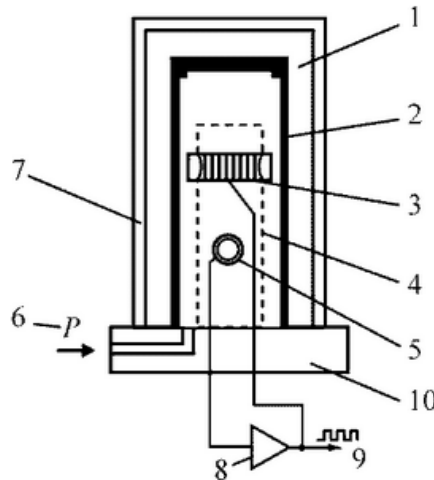
Дві балки розміром кілька десятків мікрон, з'єднані перемичкою і виконані у вигляді єдиного монокристала кремнію. Одна з балок служить для збудження коливань, а інша для реєстрації. При подачі змінної напруги і дії магнітного поля постійного магніту відповідно до принципу електромагнітної індукції балка починає коливатися. Коливання через перемичку передаються на другу балку, при цьому на виході виникає електрорушійна сила (ЕРС), яка посилюється і повертається назад на вхід схеми, що призводить до само резонансу (автоколиванням) системи. Для підвищення добротності коливань і збільшення рівня вихідного сигналу балка поміщена в вакуумну порожнину. Вихідною величиною перетворювача є власна частота коливань балки, яка в разі кремнієвого резонатора визначає лише два параметри: її маса, геометричні розміри, і форма. Маса резонатора змінитися не може, а геометричні розміри і форма жорстко зафіксовані пружною кристалічною решіткою. Все це в сукупності дозволяє гарантувати стабільність характеристик у всьому діапазоні робочих умов.

Фірма Бендикс (Bendix Corp., USA) виробляє такий мембранний вібраційно-частотний датчик. Він має наступні характеристиками:

- похибка - не більше 0,01% від тиску,
- гістерезис 0,1 мм рт. ст.,
- діапазон абсолютного тиску від 0 до 750 мм рт. ст.,

- частота вихідного сигналу від 2,5 до 5кГц.

Принцип дії вібраційно-частотного датчика тиску з циліндровим резонатором полягає в залежності власної частоти пружного елемента від величини її внутрішньої механічної напруги, що викликано дією вимірюваного тиску.



1 - опорний вакуум; 2 - циліндр; 3 - котушка збудження; 4 - елементи системи самозбудження;  
5 – котушка знімання сигналу; 6 - тиск; 7 - корпус, 8 - підсилювач; 9 - вихід; 10 – основа.

Рис. 2.16. Принципова схема частотного датчика з циліндричним резонатором.

Такий датчик забезпечує вимірювання статичного або повного тиску. Тиск  $P_{ст}$ , що вимірюється, подається у внутрішню порожнину резонатора, при цьому резонансні коливання стінки резонатора збуджуються за допомогою індуктивного перетворювача. У такому перетворювачі наводиться невелика ЕРС, яка с надходить на підсилювач, далі по каналу зворотного зв'язку подається на котушку збудження. Таким чином встановлюються незгасаючі коливання стінок циліндричного резонатора на власній частоті. Величина частоти залежить від вимірюваного тиску:

$$f = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{2Eb\delta^3}{ml^3} \left[ 1 + \left( \frac{b}{\delta} \right)^8 \left( \frac{P}{E} \right)^2 \cdot 15 \cdot 10^{-3} \right]}$$

де  $E$  - модуль пружності матеріалу циліндра;  $m$  - маса в кг;  $\delta$  - товщина стінки в см;  $l$  - довжина циліндра в см;  $b$  - діаметр циліндра в см;  $P$  - тиск у кг/см<sup>2</sup>.

Перевагою вібраційно-частотних перетворювачів є:

- підвищена точність - 0,01%, включаючи вплив не лінійності, повторюваності, гістерезиса і стабільність вихідного сигналу (0,1% протягом 10 років);

- висока роздільна здатність, частотний сигнал може бути лічений безпосередньо мікропроцесорним пристроєм.

Датчиками тиску з циліндричними резонаторами з 60-х років ХХст. займається англійська фірма Солатрон (Solatron). На теперішній час вона виробляє серію таких датчиків для СПС цивільних та військових літаків. Датчик типу NT 3082 є базовим (використовується на літаку Торнадо), та має такі характеристики:

- похибка -  $\pm 0,01\%$  від тиску,
- діапазон тисків ( $P_n$ ) - від 0 до 2600 мм рт. ст.,
- гістерезис - 0,001 - 0,005% від діапазону,
- вихідний сигнал - цифровий код,
- напруга живлення -  $\pm 28$  В,
- споживана потужність - 1 Вт,
- маса - 0,24 кг,
- габаритні розміри – довжина - 62,8 см, діаметр - 24,5см.

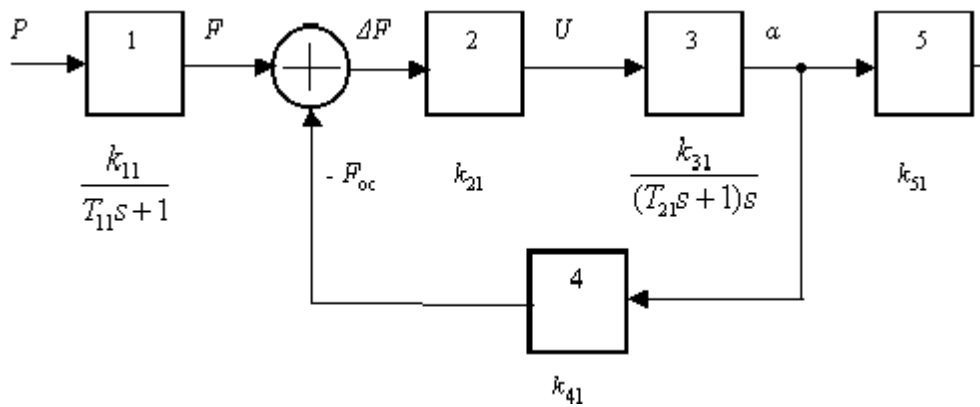
Незважаючи на те, що прилади, засновані на даному способі перетворення, добре себе зарекомендували проте не отримали подальшого розвитку через підвищену чутливість до ударних навантажень, вібрації, що істотно обмежує сферу застосування цих датчиків в промисловості, транспорті, об'єктах енергетики, і низькою технологічністю виробництва, що веде до високої собівартості виробу.

## **2.6. Компенсаційний датчик тиску**

Компенсаційний датчик тиску працює на основі метода силової компенсації вхідного впливу. Сильфон перетворює вимірюваний тиск в силу, яка в свою чергу порівнюється з еталонною силою (зберігається в елементі - основний зворотній зв'язок (Рис. 2.17)).

Компенсаційну схему називають схемою силової компенсації в зв'язку з тим, що при вимірюванні тиску мають справу з силами. Видів і конструкцій схем може бути багато, але основні елементи такі: чутливий елемент - сильфон, нуль-орган, підсилювач, зворотний зв'язок (еталон), вихідний пристрій.





1 - чутливий елемент; 2 - нуль-орган, 3 - підсилювач з двигуном; 4 - основний зворотній зв'язок (пружина), 5 - вихідний пристрій

Рис.2.17. Структурна схема датчика тиску, побудованого на схемі силової компенсації

Принципова різниця між схемою компенсаційного датчика тиску і схемою позиційного датчика тиску полягає в тому, що у компенсаційній схемі зворотним зв'язком охоплено більше число елементів. Рівняння схеми, що зображена на Рис. 2.18, має вигляд:

$$y_1 = \frac{k_{11}k_{21}k_{31}k_{51}}{(T_{11}s + 1)[(T_{21}s + 1)s + k_{21}k_{31}k_{41}]} P(s)$$

Встановлене значення вихідної величини  $y_{10}$  має вигляд ( $t \rightarrow \infty$ ):

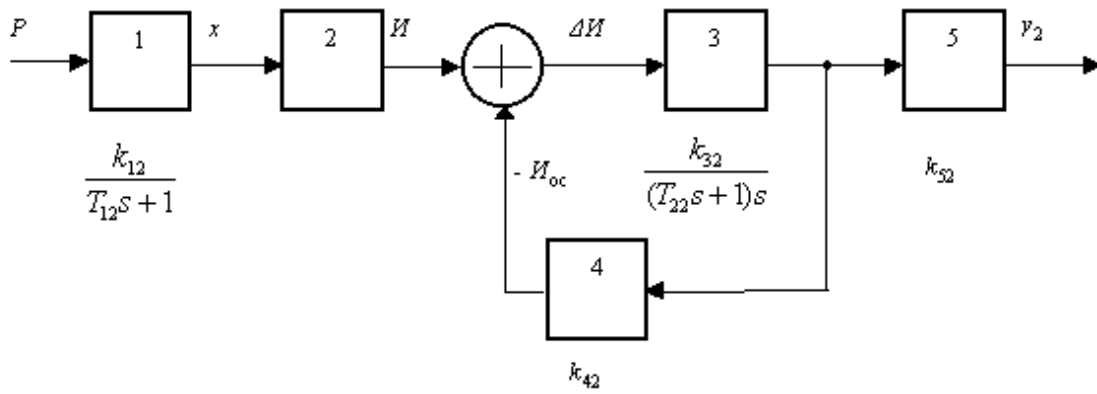
$$y_{10} = \frac{k_{11}k_{51}}{k_{41}} P$$

Повне рівняння руху по схемі Рис. 2.19 має вигляд:

$$y_2(s) = \frac{k_{12}k_{22}k_{32}k_{42}}{(T_{21}s + 1)[(T_{22}s + 1)s + k_{32}k_{42}]} P(s)$$

Встановлене значення вихідної величини  $y_{20}$ :

$$y_{20} = \frac{k_{12}k_{22}k_{52}}{k_{42}} P$$



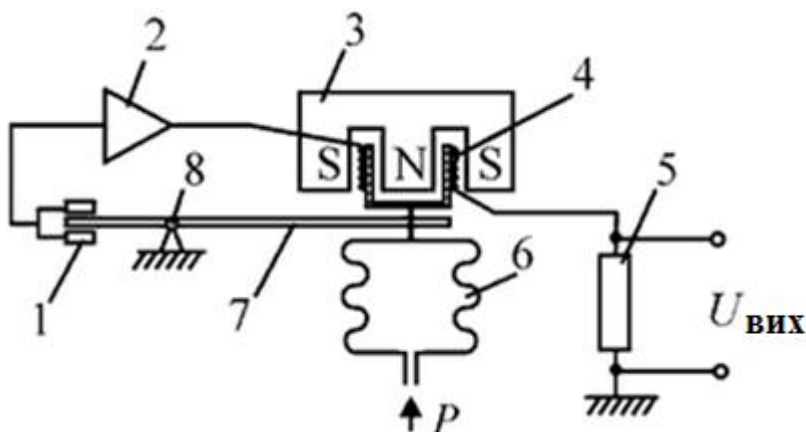
1 - чутливий елемент, 2 - вторинний перетворювач, 3 - підсилювач з двигуном, 4 - основна зворотний зв'язок (електрична), 5 - вихідний пристрій.

Рис. 2.18. Структурна схема електромеханічного датчика тиску, побудованого на схемі з використанням ходу чутливого елемента.

Порівнюючи рівняння для  $y_{10}$  і  $y_{20}$ , бачимо властивість схеми силової компенсації - в ній на результат вимірювання впливає менше число елементів, параметри нуля - органу в лінійному наближенні не впливають на точність вимірювання.

На практиці ця властивість реалізується точніше, чим більш модель датчика наближається до лінійної. В ідеальному випадку це означає - в вимірювальному ланцюзі датчика не має бути елементів в котрих є зона нечутливості, а замкнутий ланцюг слідкуючої системи, в свою чергу, повинен бути астатичним.

Для систем повітряних сигналів у сучасних датчиках тиску, як еталон сили, використовується котушка з намотуванням, яка поміщається в поле постійного магніту (Рис. 2.19).



1 - нуль-орган; 2 - підсилювач; 3 - постійний магніт, 4 - силова котушка, 5 - резистор; 6 - сифлон; 7 - коромисло; 8 - безлюфтовий пружний шарнір.

Рис. 2.19. Принципова схема компенсаційного датчика тиску.

В таких датчиках чутливим елементом є сільфон. Тиск, що вимірюється, надходить у сільфон, викликає незначну деформацію. При цьому коромисло повертається, змінюючи індуктивний опір котушок, що включені в схему моста. Сигнал розбалансу надходить в підсилювач-демодулятор, де підсилюється і далі вже надходить у вигляді постійного струму в котушку. Котушка жорстко пов'язана з коромислом.

Електричний струм котушки взаємодіє з полем магніту, що призводить до появи сили врівноваження сільфона. Котушка нуль-органу ввімкнена протилежно дії сили сільфона.

Коли деформації сільфона малі, його жорсткість практично не змінюється. Це означає, що струм, який протікає в котушці, пропорційний тиску, що вимірюється. Вихідний сигнал датчика - це напруга постійного струму, що знімається з резистора, що включений послідовно з котушкою.

Виробництвом датчиків тиску для системи повітряних сигналів, що зроблені по схемі силової компенсації, займаються декілька фірм. Найкращі результати в цьому показала фірма Кроузет (Crouzet), Франція. Датчики тиску, що випускає ця фірма (типу 43 і 44), для вимірювання статичного тиску та диференціального тиску мають характеристики:

- похибка від діапазону  $\pm 0,01\%$ ,
- роздільна здатність 0,00075 мм рт. ст.,
- гістерезис менш 0,0075 мм рт. ст.,
- напруга живлення  $\pm 15\text{В}$ ,
- споживана потужність 1 - 2 Вт,
- маса 0,26 кг.

Недоліком компенсаційних датчиків тиску є те, що вихідним сигналом його є безперервний аналоговий сигнал. Щоб його використати в цифрових СПС, треба застосовувати додаткові високо-розрядні АЦП. Це в свою чергу призведе до того, що система втратить точність і підвищиться вартість.

## **2.7. Похибки датчиків тиску**

До основних джерел похибок датчиків тиску відносять:

1. Інструментальні,
2. Температура і тертя,
3. Аеродинамічні.

Інструментальні похибки датчиків тиску:

1. Похибка шкали,
2. Похибки викликані тертям,
3. Похибки від невірноваженості деталей передавально-розмножувального механізму,
4. Температурні,
5. Похибки гістерезису.

Інструментальні похибки виникають:

- внаслідок недосконалості виготовлення механізму датчика,
- через знос деталей,
- через зміну пружних властивостей ЧЕ.

Ці похибки визначаються в лабораторіях. За отриманими результатами лабораторної перевірки складаються таблиці. В цих таблицях вказують значення інструментальних поправок для різних висот польоту.

В той же час головними перевагами кремнієвих датчиків, якщо їх порівняти з аналогічними приладами на основі металевих мембран є довготривала стабільність параметрів. Кристал кремнію - ідеальний матеріал для прийому зусиль. Цим він завдячує своїй еластичності, що не змінюється навіть при екстремальних навантаженнях. В порівнянні зі сталевими діафрагмами він не змінює форму після зняття зусилля - він або зберігає свою первинну геометрію, не залежно від величини докладеного зусилля, або руйнується у разі гранично допустимої деформації.

Самі великі похибки викликає тертя та температура.

Тертям в механізм викликається похибка, тому що є сили тертя в деталях кінематичного вузла (осі, шарніри, зубчасті пари, тертя між щіткою і потенціометром).

Похибки, що викликані зміною температури навколишнього середовища в порівнянні з температурою градування:

1. Зміна модуля пружності матеріалу, з якого виготовлений пружний чутливий елемент;
2. Неоднакове лінійне розширення деталей з різних матеріалів при зміні температури;
3. Зміна опорів рамок логометра.

При зміні модуля пружності величина похибки різна по всій шкалі: коли різниця тисків рівна нулю, то і похибка рівна нулю. Чим більша різниця тисків тим більша похибка.

Температурна похибка пов'язана зі зміною модуля пружності. Зміна температури призводить до різного лінійного розширення деталей. Це в свою чергу викликає додаткове переміщення передавально-розмножувального механізму і як наслідок виникає зміщення стрілки приладу. Похибка, що виникає при цьому, пропорційна величині зміни температури. Вона не залежить від вимірюваного тиску і тому однакова за величиною по всій шкалі. Для уникнення цієї похибки підставку і тягу механізму треба виготовляти з одного матеріалу. Для усунення тертя щіток потенціометра використовують безконтактні перетворювачі, а саме, індуктивний датчик переміщення, якір якого пов'язаний з жорстким центром мембрани.

Аеродинамічні помилки виникають через неточність виміру атмосферного тиску на висоті польоту, так як повітряний потік в місці прийому спотворюється (особливо на великих швидкостях). Аеродинамічні помилки залежать від швидкості, типу приймача повітряного тиску, а також місця його розташування.

## **2.8. Шляхи вдосконалення датчиків тиску**

Шляхи вдосконалення датчиків тиску для СПС такі:

- Підвищувати точність вимірювання при дестабілізуючих чинниках (вібрація, удари, прискорення, температура і т.д.).
- Підвищувати стабільність інформації за часом. Це означає здатність зберігати первинне тарування датчиків тривалий період часу.
- Підвищувати надійність датчиків.
- Розширювати діапазони вимірювання датчиків.
- Зменшувати споживну потужність.

- Удосконалювати чутливість елементів датчиків.
- Перехід від аналогових до цифрових датчиків, застосовуючи в датчиках тиску мікропроцесори і мікроелектроніку.

Виробники датчиків тиску не тільки постійно підвищують точність параметрів, що вимірюються, а також знижують вплив дестабілізуючих факторів на показники. Так міжнародні вимоги до похибки вимірювання - не більше 0,01 - 0,1% від діапазону вимірювання.

Також велика увага приділяється розширенню діапазону лінійності характеристик вимірювання, тобто можливості вимірювання найменших значень із можливістю вимірювання великих величин, так як датчики налаштовані на вузько направлений діапазонів вимірювання.

Високі вимоги висуваються і до енергоспоживання бортових систем. Так як енергоспоживання бортових систем вимагає зменшення споживаної потужності датчиків в межах 5-10 Вт, то з цією задачею можуть справитися лише напівпровідникові датчики тиску.

Завдяки використанню напівпровідникових матеріалів, які замінили сталь та бронзу, стало можливим підвищення вимірювальних характеристик чутливих елементів датчиків. Кремній є таким напівпровідником. Застосування кремнію дозволяє робити чутливі елементи:

- з не великими габаритами,
- з високою чутливістю,
- надійністю і стабільністю,
- підвищеною вібростійкістю,
- високим терміном служби.

Бурхливий розвиток мікроелектроніки і мікропроцесорної техніки має велике значення у застосуванні напівпровідникових матеріалів для виготовлення чутливих елементів. Це дозволило виготовляти чутливі елементи датчиків на основі технології інтегральних мікросхем. Тобто весь датчик складається з одного чіпу. В таких датчиках тиск сприймається кристалом з товщиною близько 0,25 мм і площею від 0,08 до 0,1 м<sup>2</sup>. Одним з таких датчиків - датчик ST3000 фірми Honeywell Corp. (США), в якого похибка вимірювання  $\pm 0,1\%$ .

Використання інтегральних мікросхем дозволила інформацію щодо тиску перетворювати в електричний сигнал. Також використання інтегральних мікросхем дає можливість видавати інформацію у формі цифрового сигналу.

## 2.9. Багатофункціональний приймач повітряних тисків

Приймачі повітряних тисків розроблені таким чином, щоб було забезпечене сприйняття повного тиску та статичного тиску з мінімальним відхиленням від реальних значень. Саме це і визначило зовнішній вигляд приймачів повітряних тисків, який повинен мати:

- для сприйняття повного тиску - подовжене тіло з отвором в спереду,
- для сприйняття статичного тиску - групу отворів на бічній поверхні.

Проте прямі виміри не обов'язкові. Достатньо виміряти набір тисків  $P_1 \dots P_n$  ( $n \geq 4$ ), котрий забезпечить вирішення системи рівнянь відносно параметрів потоку, що набігає, з достатньою точністю в потрібному діапазоні режимів польоту

$$P_1 = F_1(\alpha, \beta, M, P_{ст}),$$

.....

.....

$$P_n = F_n(\alpha, \beta, M, P_{ст}), \quad \text{де}$$

$\alpha$  - кут атаки,  $\beta$  - кут ковзання,  $M$  – число Маха (замість числа Маха може використовуватися повний тиск),  $p_{ст}$  - статичний тиск.

Для визначення повного набору висотно-швидкісних параметрів польоту якраз і достатньо цих чотирьох параметрів потоку, що набігає. Винятком слугує істинна повітряна швидкість, так як для її розрахунку необхідна ще й температура повітря.

Тому завданням аеродинамічного проектування ІКВШП і є створення такого датчика – приймача повітряних тисків, який би при установці на ЛА (одного або декількох) дозволив отримати добре обумовлену систему рівнянь. Прикладом вирішення цієї задачі може служити ПВД-43. Цей багатофункціональний приймач повітряних тисків (БФППТ) (Рис. 2.20.), розроблений спільно ФГУП «ЦАГІ» і ВАТ «Аэроприбор-Восход» [5].



Рис.2.20. Багатофункціональний приймач повітряних тисків ПВД-43.

Призначений цей БФППТ для встановлення в носовій частині фюзеляжу. Призначений для визначення місцевих параметрів плоского (близького до плоского) потоку, що набігає, в діапазоні кута атаки  $\alpha = 64^\circ$  та при швидкостях потоку від малих дозвукових до надзвукових :

- кута атаки,
- статичного тиску і повного тиску (або числа Маха).



Рис.2.21. БФППТ ПВД-43 на літаку Су-35, Росія.

Висока чутливість до зміни кута атаки і числа  $M$ , незалежно від показань числа Рейнольдса і траєкторії руху ЛА – ось чим володіє БФППТ. Високі



метрологічні характеристики досягаються завдяки: спеціальній аеродинамічній формі та наявності приймального отвору на донному зрізі, що обмежений гострими кромками.

Приймач сприймає чотири тиски  $P_n$ , ( $n=1,..,4$ ), які залежать від значень параметрів потоку, що набігає. За результатами випробувань в аеродинамічних трубах, були побудовані спеціальні алгоритми для визначення значень цих параметрів.

Для захисту від обмерзання БФППД має нагрівальні елементи. Споживана потужність - не більше 150 ВА. Маса приймача - 0.5 кг Середній час на працювання на відмову - не менше 15000 годин.

Але, так як це приймачі повітряних сигналів, то вони мають зв'язок з модулями повітряних параметрів через трубопроводи. Якраз це і призводить до спотворення вхідної інформації.

## **Висновок до розділу 2**

Інструментальні похибки вимірювальних величин в більшості авіаційних датчиків тиску виникають через застосування механічних переміщень чутливих елементів. Тому, щоб підвищити точність вимірювання повітряних сигналів, необхідно - механічні датчики на основі сільфонів та мембранних коробок замінити на мікромеханічні датчики на основі кремнієвих чутливих елементів.

Основними перевагами кремнієвих датчиків є:

- довготривала стабільність параметрів,
- стала еластичність кристалу при екстремальних навантаженнях,
- відсутність механічних рухомих елементів.

## РОЗДІЛ 3

### ПЕРСПЕКТИВНІ ДАТЧИКИ ТИСКУ ПОВІТРЯНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРИЛАДНОГО ОБЛАДНАННЯ ЛІТАКА

Анероїдно – мембранні прилади, що використовуються при визначенні висотно-швидкісних параметрів ПС, мають великі розміри та масу, до того ж вони є аналоговими приладами. Як відомо, ці прилади, зі стрілочними індикаторами, мають невелику точність, їх важко налаштувати. Щоб врахувати температурну похибку цих приладів, треба мати додаткове устаткування.

Зменшити масу та розміри приладів, при цьому збільшити їх точність, допомогла мікросистемна техніка МСТ. Саме поява МСТ дала можливість створити датчики тиску з кремнію.

#### 3.1. Напівпровідникові мікромеханічні датчики тиску

У існуючих датчиків тиску точність вимірювань залежить від наявних інструментальних та аеродинамічних похибок. Ці похибки не властиві датчикам тиску з напівпровідників, тому що чутливий елемент напівпровідникового датчику тиску виготовляється з напівпровідникового матеріалу – кремнію або сапфіру.

Датчик тиску складається із:

1. Чутливого елемента, що сприймає тиск. ЧЕ датчика тиску є тонка кремнієва пластина, яку можна назвати умовно мембраною, прямокутної або круглої форми. Ця пластина може бути однаковою за товщиною або з твердим центром, що не деформується, що має по контуру пружну перемичку.

2. Перетворювачів (переміщень, деформації, сили), що зібрані у корпусі.

До основних технічних характеристик мікродатчиків тиску (МДТ) відносяться:

- робочий діапазон виміру,
- чутливість до вимірюваного тиску,
- вихідна напруга.

*КАФЕДРА АВІОНІКИ*

НАУ 20 112 84 000 ПЗ

<i>Виконав.</i>	<i>Павленко О.М.</i>			<i>Перспективні датчики тиску системи повітряних параметрів приладного обладнання літака</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Чужа О.О.</i>						
<i>Консульт.</i>	<i>Чужа О.О.</i>						66
<i>Н. Контр.</i>	<i>Левківський В.В.</i>				173 201		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

Також датчики тиску характеризуються складовими похибк:

- не лінійністю характеристики,
- гістерезисом при зміні температури й тиску,
- температурним дрейфом початкового зсуву й чутливості.

Датчики тиску діляться на види:

1. В залежності від виду тиску, що вимірюється – абсолютні (для виміру абсолютного тиску), диференціальні (для виміру різниці тисків), відносні (для виміру надлишкового тиску над атмосферним) і вакуумні (для виміру ступеня розрідження) (Рис. 3.1.) [9].

2. За принципом дії - прямого і компенсаційного виміру (перетворення). У датчиках прямого виміру, які ще називають пристроями розімкнутої конфігурації, перетворення вимірюваного тиску в електричний сигнал прямо залежить від властивостей матеріалу, з якого зроблені мембрани. Внаслідок цього подібні пристрої повинні індивідуально калібруватися, що приводить до збільшення їх вартості. У датчиках компенсаційного виміру, якщо виконавчий елемент датчика сили (актюатор) не залежить від властивостей матеріалу, прилад буде менш сприйнятливий до зміни характеристик матеріалу.



Рис. 3.1. Зовнішній вигляд напівпровідникових датчиків тиску.

Існують мембрани датчиків тиску прямого перетворення з твердим центром і без нього.

У мембранах із твердим центром застосовують ємнісні, магниторезистивні та інші перетворювачі переміщень. Наприклад, у датчиках тиску компенсаційного перетворення, використовуються мембрани із твердим центром. На твердому центрі розміщуються елементи перетворювача переміщень і силові елементи ланцюга зворотного зв'язку, які можуть бути двох типів : електростатичного або магнітоелектричного

У мембранах без твердого центру в якості перетворювачів деформацій застосовують дифузійні або епітаксціальні тензорезистори.

У якості перетворювачів переміщень або деформацій мембран найчастіше використовуються напівпровідникові перетворювачі (НП). Напівпровідникові перетворювачі окрім своїх переваг мають також і недоліки - це суттєва залежність від технології їх виготовлення.

Якщо НП виконані за технологією об'ємного кремнію , тоді наявність р-п- переходів обмежує температурний діапазон використання датчиків тиску (температура не повинна перевищувати 100<sup>0</sup> С).

Напівпровідниковому перетворювачу, що виготовлений з полікремнію, який володіє низькою тензочуттєвістю, або НП на основі структур "кремній на сапфірі" властиві недоліки, обумовлені розбіжністю кристалічних ґрат цієї пари, високою вартістю й складністю обробки сапфіру.

Найбільш прогресивними, за своїми потенційними можливостями, вважаються датчики тиску, в яких напівпровідникові перетворювачі виготовляються методом формування структур "кремній на діелектрику". Сучасні технології можуть забезпечити створення мікродатчиків тиску здатних працювати при температурі вище за 100 °С, та відрізняються поліпшеною стабільністю характеристик і стійкістю стосовно впливу різних фізичних полів.

Створення датчиків для вимірювання малих тисків, а це в діапазоні від одиниць до десятків паскаль, і датчиків пульсацій малих тисків є найбільш складною задачею.

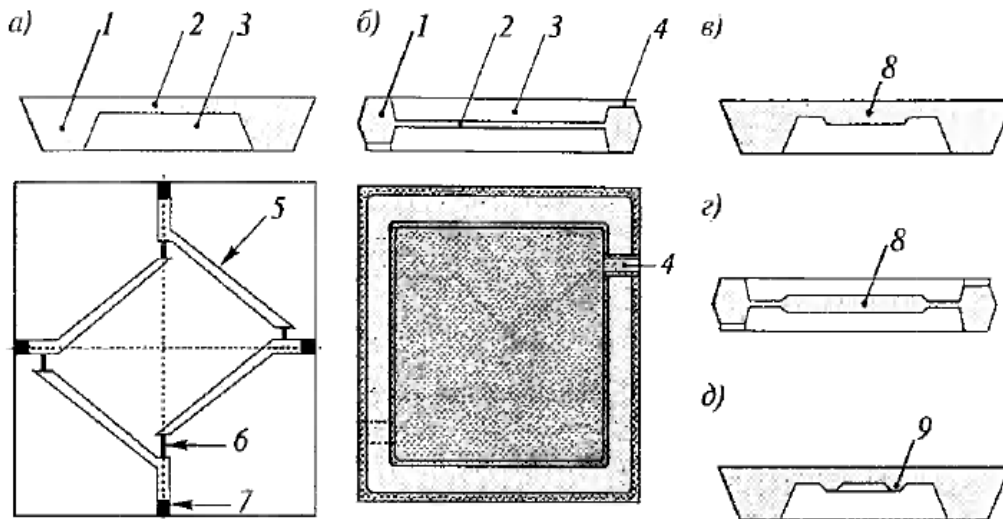
Датчики тиску виготовляють як у вигляді автономних приладів контролю й керування, так і як пристрої, що використовуються в складі інших приладів, таких як витратоміри, показчики повітряної швидкості, висотоміри, варіометри і інші.

### 3.2. Чутливі елементи мікромеханічних датчиків тиску

Чутливим елементом мікромеханічних датчиків тиску (ЧЕ МДТ) є мембрана:

- з тензорезисторними або іншими напівпровідникові перетворювачі ,
- з ємнісними або іншими перетворювачами переміщень мембрани.

На Рис. 3.2. наведені розповсюджені форми ЧЕ МДТ.



корпусна пластина;

1- мембрана з жорстким закладенням по контуру;

2- підмембранна камера;

3- канали підводу тисків;

5- доріжка, що проводить;

6- інтегральний тензорезистор;

7- контактна площадка;

8- жорсткий центр;

9- жорстке кільце.

Рис. 3.2. Чутливі елементи датчиків тиску: а) асиметрична мембрана; б) симетрична мембрана; в) і г) мембрани зі жорстким центром; д) подвійна мембрана зі жорстким кільцем.

На Рис.3.2.а) зображена плоска інтегральна мембрана з повним тензорезисторним мостом. Найчастіше цю мембрану виконують із «п-кремнію» в площині (100), прямокутної в плані, а дифузійні (імплантовані) або епітаксильні тензорезистори n-p-провідності.

З такими чутливими елементами можлива побудова датчиків для виміру абсолютних, надлишкових і різницевих тисків. Чутливі елементи з'єднують з корпусними деталями за допомогою проміжних боросилікатних скляних пластин дифу-

зійним зварюванням в електричному полі. Верхня межа вимірюваних тисків поширюється до 250 МПа, а точність виміру перебуває на рівні 1 %.

Варіант , що зображений на Рис. 3.2. б) є різновидом варіанта Рис. 3.2. а). Він представляє собою симетрично розташовану, відносно корпусної пластини, плоску мембрану. Використовується цей варіант з диференціальними ємнісними датчиками переміщень. Пружні характеристики симетричної мембрани, а також технологічні процеси її виготовлення аналогічні попередньому варіанту.

Варіанти зображені на Рис. 3.2. в) і г) представляють собою мембрани із твердим центром. Варіант зображений на Рис. 3.2. д) - мембрана із твердим кільцем. Ці два варіанти значно розширюють можливості чутливих елементів.

Призначення твердого центру залежить від того, який тип перетворювача деформації (або переміщення) в електричний сигнал застосовується. Якщо використовується тензорезистивний перетворювач для інтегральної мембрани із твердим центром, то підвищується концентрація напруги в тонкій перемичці і тим самим суттєво поліпшується лінійність характеристики. При використанні ж ємнісного перетворювача переміщень твердий центр буде відіграє роль рухливого електрода диференціального ємнісного датчика.

Застосування твердого центру має свої недоліки. Так датчик тиску стає чутливим до лінійного й кутового прискорення. Щоб повністю виключити вплив прискорення роблять два ідентичні датчики тиску на одній корпусній пластині. Тоді другий датчик, який закритий від впливу тиску, реагує тільки на прискорення, а корисний сигнал у вигляді різницевого значення виділяється за допомогою електронної схеми.

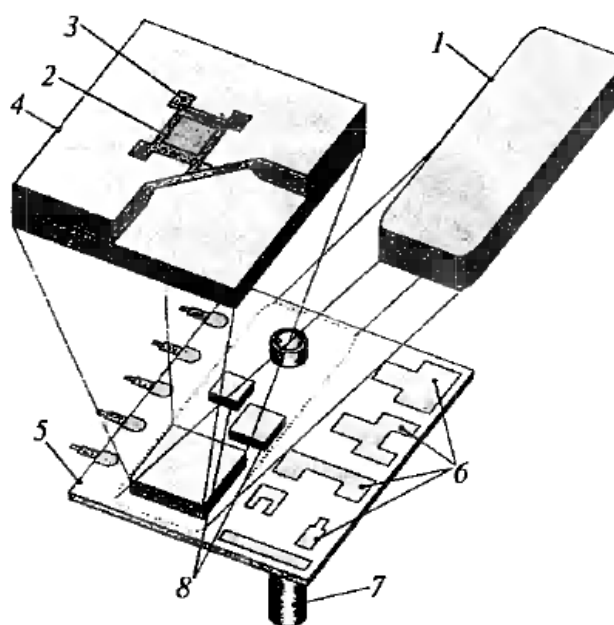
Мембрани з подвійною оправою (Рис. 3.2. д) призначені для виключення температурної напруги, що виникає в місці з'єднання зовнішньої оправи з металеву корпусною деталлю. Гасить температурну напругу перемичка між зовнішньої й внутрішньої оправами. Робочою є внутрішня мембрана. Оправою для неї служить плаваюче тверде кільце, а тензорезисторний перетворювач розміщують на внутрішній мембрані аналогічно варіанту на Рис. 3.2. а).

### 3.3. Базові конструкції мікромеханічних датчиків тиску

#### 3.3.1. Гібридна схема мікромеханічного датчик тиску

Гібридна схема мікромеханічного датчик тиску (МДТ) зображена на Рис. 3.3. Вона складається з базових елементів, щоб здійснювати повну функцію перетворення:

1. Вакуумну. Щоб створити еталонний тиск мембрани з підставкою;
2. Повну мостову тензорезисторну схему;
3. Електронну схему на інтегральних операційних підсилювачах. Призначена для одержання стандартного вихідного сигналу, температурної компенсації, балансування і т.д.



1-кришка; 2- термочуттєвий і нагрівальний елемент; 3- тензорезисторна мостова схема; 4- кремнієва мембрана; 5- керамічна підкладка; 6-товстоплівкові резистори, що налаштовуються; 7- трубка подачі тиску; 8- підсилювачі.

Рис. 3.3. Конструкція гібридного датчика тиску.

Гібридний датчик тиску складається із кришки 1, трубки для подачі тиску 7 і керамічної підкладки 5 з товстоплівковими резисторами 6, що підлаштовуються лазером. На підкладці 5 також розташовано один або два операційні підсилювачі 8, виконаних на окремих напівпровідникових пластинах, і мембранний ЧЕ 4, ви-

готовлений у вигляді окремого елемента. Такий же підхід використовується при виробництві перетворювачів температури й інших параметрів.

Чутливий елемент перетворювача тиску являє собою кремнієвий кристал розміром 4,2x2,9 мм. В цьому кристалі виконана прямокутна кремнієва мембрана розміром 2,3x1,65 мм. Площі, яка залишилась, достатньо для розміщення діодної схеми термокомпенсації, що балансують міст резисторів, стабілізатору напруги на опорному діоді.

На кристалі залишається ще досить площі для розміщення буферних і вихідного підсилювачів на той випадок, якщо подібна інтеграція виявиться економічно вигідною. У центрі мостової тензорезисторної схеми, що представляє собою квадратну рамку, розташований потужний транзистор, який використовується для нагрівання й підтримки температури перетворювача в процесі випробувань і настроювання. Еміторно-базовий перехід цього транзистора є стабільним термочутливим елементом. У результаті забезпечуються одночасні виміри температури й тиску. Цей же потужний транзистор можна використовувати в якості нагрівача в термостатичних перетворювачах.

Датчики тиску для виміру в діапазоні 0,01...40 МПа розроблені в ГНЦ "НПК "Технологічний центр" ( м. Москва, Зеленоград).

### **3.3.2. Чутливі елементи інтегральних перетворювачів тиску**

Два базові кристали інтегральних перетворювачів тиску (ІПТ), які розроблено на сьогоднішній день. Це ІПТ-1 і ІПТ-2 - з плоскими мембранами, що забезпечують можливість виміру тиску в діапазоні 0,1...40 МПа, з одно- і двостороннім розташуванням контактних майданчиків.

Кристали ІПТ-4 і ІПТ-9 містять мембрану із твердим центром.

Кристал ІПТ-4 (Рис.3.4.) має розмір 6x6 мм. Розмір мембрани розміром 3,5x3,5 мм. Дана конструкція дозволила в 3 рази збільшити чутливість при вимірі малого тиску, якщо порівнювати із плоскою мембраною при однаковій товщині мембран. Конструкція забезпечує також кращу симетрію топології тензорезисторів.

Кристал ІПТ-9 має розмірами 4x4 мм і є аналогом ІПТ-4.



Усі перетворювачі мають на кристалі транзисторну схему температурної компенсації чутливості (Рис. 3.5.) — транзистор Т і резистори R1, R2.

### тензорезистори

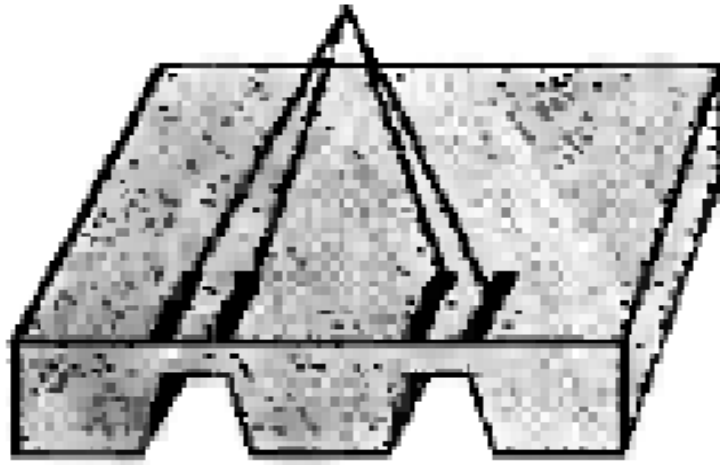
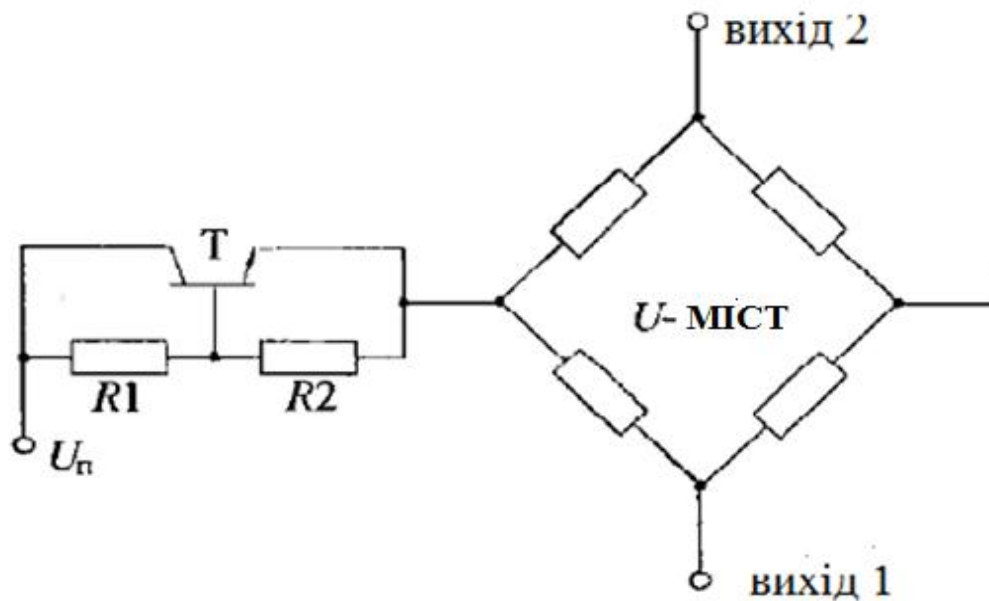


Рис.3.4. Розміщення тензорезисторів на мембрані з жорстким центром.



$U_{\text{п}}$  - напруга живлення.

Рис. 3.5. Електрична схема ППТ.

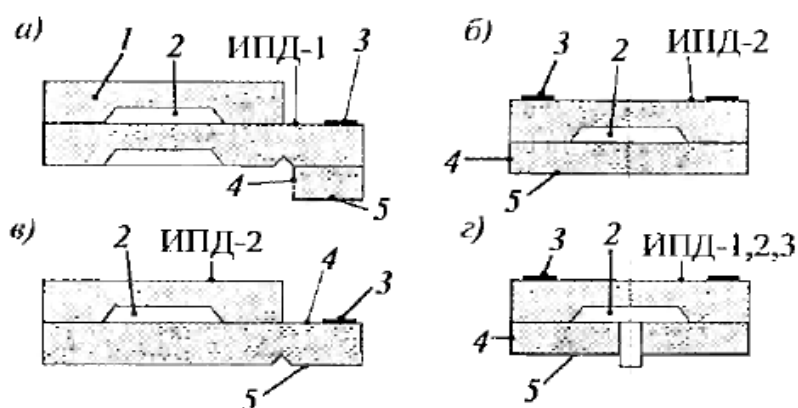
Основні характеристики інтегральних перетворювачів тиску наведені в табл. 3.1:

Таблиця 3.1.

Характеристика	ШТТ-1	ШТТ-2	ШТТ-3	ШТТ-4
Габаритні розміри, мм	4x5,7x0,43	4x4x0,43	6,2x6,2x0,43	4x4x0,43
Діапазон вимірюваного тиску ( $P_{ном}$ ), МПа	0,1...0,6	0,1...25	0,01...0,6	0,04...25
Припустимий тиск, МПа	$P_{н ом}$			
Напруга живлення, В	$(5 \pm 0,3)$			
Номинальний вихідний сигнал, мВ	50...70		20...70	50...70
Нелінійність вихідного сигналу, %	<0,3			
Початковий розбаланс мосту, % від вихідного сигналу	$\pm 10$		$\pm 3$	
Діапазон робочих температур, °С	-50...+100			
Температурний коефіцієнт, %/К: чутливості нуля		<0,03	0,03	<0,02
	0,05			

Конструкція, що складається із кристала і з'єданого з ним підставки, названа ЧЕТ - чутливий елемент тиску. Відповідно ЧЕТА - чутливий елемент абсолютного тиску, ЧЕДТ - чутливий елемент диференціального тиску.

Схеми конструкцій ЧЕТ показані на Рис. 3.6.



1- кремнієва кришка; 2- вакуумна камера; 3- контактна площадка з алюмінію; 4- кремнієва основа; 5- місце посадки.

Рис. 3.6. Принципові схеми конструкцій ЧЕТ: а,б,в – абсолютного тиску; г- диференціального (надлишкового) тиску.

Конструкція елемента ЧЕТА-1 (Рис.3.6), а) складається із двох кремнієвих кристалів, один з яких ППТ-1 - має подовжену конструкцію, на робочій поверхні ППТ-1 розташована кристал-кришка. У кришці анізотропним травленням сформоване поглиблення на 100 мкм розміром 2x2 мм, а кришка по периметру герметично з'єднується з ППТ за допомогою легкоплавкого скла й утворює над поверхнею мембрани вакуумну порожнину. Технологічні режими зварювання склом, застосовувані в ЧЕТА-1, накладають обмеження на розташування алюмінієвих доріжок, що проводять струм, на кристалах ППТ-1. Доріжки не повинні розташовуватися по краях кришки в зоні взаємодії зі склом. Поза контактом із кришкою повинен розташовуватися й транзистор. Конструкція ЧЕТА-1 забезпечує захист робочій поверхні кристала ППТ-1 від зовнішніх впливів.

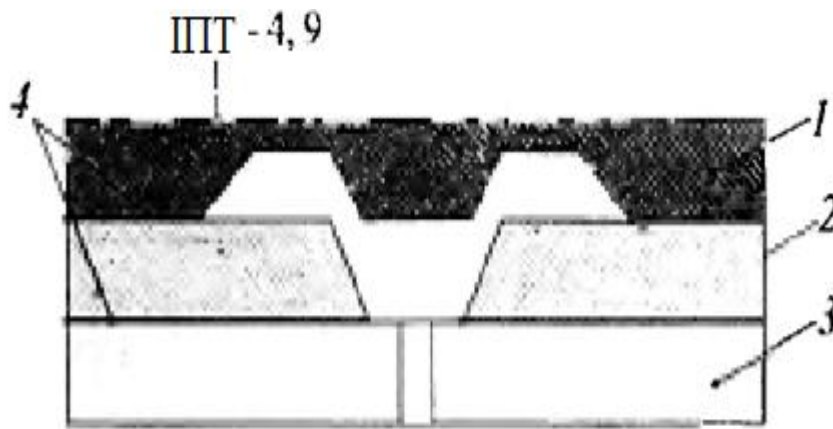
Кристал ППТ-2 застосовується у конструкції ЧЕТА-2 (Рис.3.6), б). Він через скло герметично посаджений на кремнієву підставку товщиною 2 мм, вакуумна порожнина утворена під мембраною кристала ППТ-2. Підставки габаритними розмірами 4x4x2 мм нарізають методом електроіскрової ерозії, обтравлюють і окислюють для створення ізоляції.

Конструкція ЧЕДТ-4 (Рис.3.6), г) створювалася аналогічним чином, за винятком того, що в підставці електроіскровою ерозією формувався наскрізний отвір. Він створювався для тензомодулей та датчиків надлишкового й диференціального тисків. Елемент тиску ЧЕДТ-4 був розроблений під серію кристалів ППТ-1, ППТ-2, ППТ-4, щоб забезпечити можливість вимірювати тиск в широкому діапазоні - 0,01.. 40 МПа.

Конструкція ЧЕТА-3 (Рис.3.6), в) була розроблена для застосування ППТ у мікросхемних корпусах. В ній кристал ППТ-2 через скло з'єднується із кремнієвою підставкою товщиною  $\leq 0,5$  мм, у якому є канавка для механічної розв'язки його від корпуса. Закріплення в корпус елемента ЧЕТА-3 - консольне. Таке закріплення забезпечує гарну механічну розв'язку. Висота елемента ЧЕТА-3 не перевищує 1 мм, що дозволяє застосовувати його в багатьох модифікаціях мікросхемних корпусів.

Принципова схема конструкції ЧЕТ на базі мембрани із твердим центром наведена на Рис.3.7.

Конструкція ЧЕТ із кристалами ППТ-4, ППТ-9: мембрани 1 мають тверді центри з товщиною, яка рівна товщині вихідних підкладок, додаткова рамка 2



1- кристал ППТ-4,9; 2- кремнієва рамка; 3- кремнієва основа; 4- з'єднувальні шари скла.

Рис. 3.7. ЧЕТ на базі мембрани з жорстким центром.

з монокристалічного кремнію, виготовлена за технологією об'ємної мікрообробки, у якості підставки 3 також використовується монокристалічний кремній.

Усі кремнієві елементи з'єднуються легкоплавким склом 4, яке наноситься на один з елементів. Отвори формуються електроіскровою ерозією й можуть бути виконані до поділу пластин на кристали.

Фірма Motorola (США) розробила серію датчиків тиску на базі пружного елемента у вигляді кремнієвої мембрани, у яку методом іонної імплантації впроваджена тензорезистивна структура.

Датчики тиску, в залежності від ступеню інтеграції, розділяють на такі види:

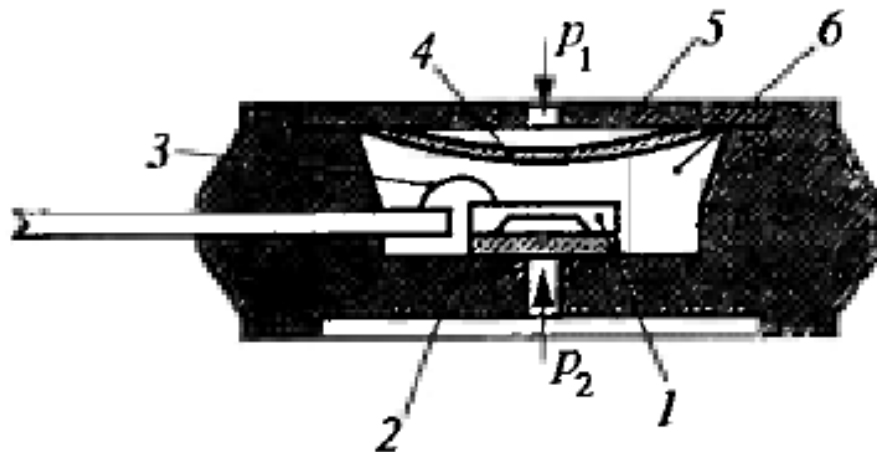
1. Некомпенсовані датчики. Ці датчики містять на кристалі тільки мембрану з тензорезистивним мостом.

2. Термокомпенсовані й калібровані датчики. В них додатково включені термістори для корекції температурної похибки нуля й чутливості. Також включені додаткові підгінні резистори, опір яких у процесі виробництва підбудовують лазером для зменшення розкиду параметрів датчиків.

3. Інтегровані датчики. Ці датчики мають додатковий підсилювач. Цей підсилювач приводить вихідну напругу датчика до стандартного вхідного діапазону інтегральних аналого-цифрових перетворювачах.

4. Медичні датчики. За структурою медичні датчики аналогічні термокомпенсованим, але їх корпус і температурні режими відповідають медичним стандартам.

Також датчики тиску розділяють і по виду корпусів, у які монтується чутливий елемент. Круглий корпус – базовий. Конструктивна схема датчика тиску з базовим круглим корпусом показана на Рис. 3.8.



1- ЧЕ (мембрана); 2-корпус; 3- з'єднувальний провід; 4-кремнієва пластина; 5-сталеві пластина; 6-гель.

Рис. 3.8. Конструктивна схема кремнієвого датчика тиску.

На Рис.3.8. бачимо: ЧЕ (мембрана) приклеєний до внутрішньої поверхні розточення корпусу 2 і захищений спеціальним гелем 6. Гель рівномірно перерозподіляє тиск на мембрану й ізолює виводи 3 від зовнішнього середовища. Деформована під дією тиску  $p_1$  кремнієва пластина 4 захищена від зовнішнього середовища сталевими пластиною 5 з отвором. Навколишнє середовище має тиск  $p_2$ .

Також поширені й інші види корпусів.

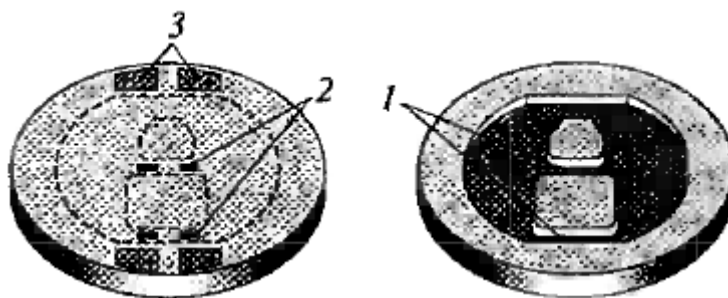
Діапазон роботи абсолютних датчиків – від 100 до 700 кПа, а диференціальних - у діапазоні від 4 до 1000 кПа.

Датчики мають лінійну характеристику перетворення зі зсувом. Інерційність їх характеризується часом відклику на скачкоподібний вхідний сигнал. Він складає 1мс.

### 3.3.3. Мікромеханічні датчики тиску з концентраторами напруги

Фірма Endevco (США) в датчиках тиску використовує в якості чутливого елемента мембрани з концентратором напруги в місці розташування тензорезисторів. Це дозволяє одержати більш високу чутливість при збереженні власної резонансної частоти або збільшити резонансну частоту при збереженні чутливості. Крім того, це значно підвищує міцність мембрани [6].

Принцип дії пристрою такого ЧЕ перетворювача тиску зображений Рис.3.9.



1- області тензорезисторів зі зворотньої сторони пластини; 2- тензорезистори; 3- контактні площадки.

Рис. 3.9. Чутливий елемент з концентраторами напруги.

Твердий центр мембрани складається із двох острівців пластини вихідної товщини. Він сформований за допомогою анізотропного травлення. Концентраторами механічної напруги, яка виникає при впливі надлишкового тиску є:

- вузька смужка між двома острівцями,
- смужка між острівцем і "берегом" - товстою кільцевою підставкою мембрани.

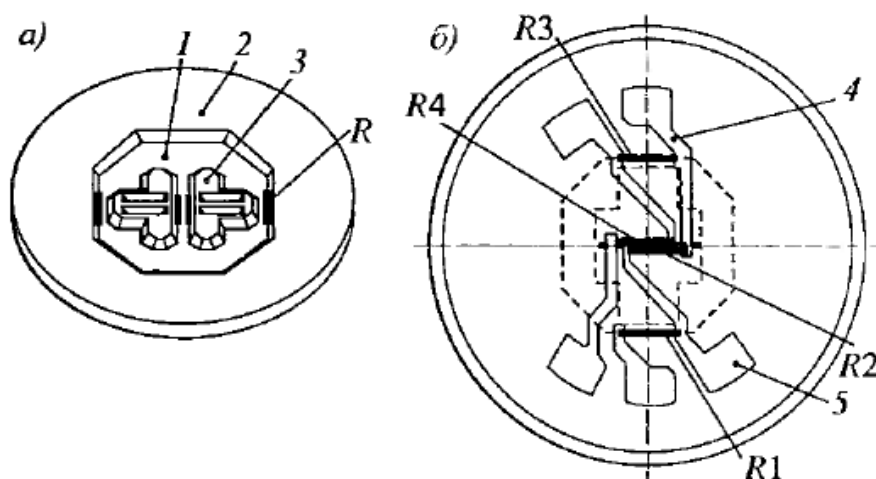
Також слід зауважити, що напруга, яка виникає в центральній і бічній смужках, має різні знаки. Якщо розташувати два тензорезистора в центрі, а два інших із краю уздовж смужки так, як показано на Рис. 3.9., то можна утворювати повну мостову тензорезисторну схему. Наприклад, якщо розглянути перетворювачі фірми Endevco, то в них мембрана орієнтована в площині (100), а напрямок смужок-концентраторів і поздовжньої осі тензорезисторів відповідає напрямку (110).

Тензорезистори поєднуються у мостову схему за допомогою металізованих струмоведучих доріжок, які виходять на периферію кристала до контактних майданчиків.

Перетворювачі з концентраторами напруги також мають кращу лінійність і суттєво більший діапазон лінійного перетворення, якщо порівнювати з перетворювачами на основі плоских мембран. Цими ж перевагами володіють і датчики тиску на базі чутливих елементів у вигляді мембран із твердим центром.

Пензенський державний технічний університет у своїй розробці використав аналогічний принцип підвищення чутливості МДТ: профілювання мембрани з концентраторами напруги і розміщення тензорезисторів аналогічно схемі чутливого елемента (Рис. 3.9.).

На Рис. 3.10. показана схема розміщення тензорезисторів та загальний вигляд профільованої мембрани високотемпературного МДТ.



а- загальний вигляд; б- розміщення тензорезисторів; 1- мембрана; 2- основа; 3- концентратор; 4- комутаційна доріжка; 5- контактна площадка.

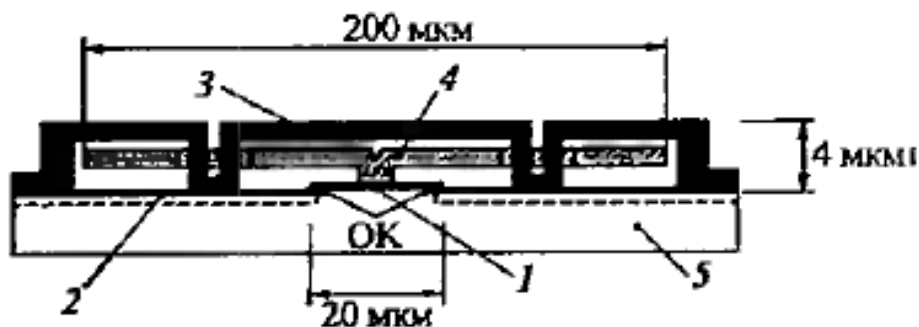
Рис. 3.10. ЧЕ МДТ з концентраторами напруги.

На Рис. 3.10., а) : мембрана 1 складається зі стовщеної периферійної підставки 2 і спеціально спрофільованих концентраторів напруги 3.

На Рис. 3.10., б): чутливий елемент містить монокремнієві тензорезистори мезатипу, що розташовані на мембрані на кромках концентраторів напруги. Висота тензорезисторів залежить від необхідних значень номіналів і може становити значення від 1мкм (мінімально досяжна товщина, що обумовлена технологією анізотропного травлення) до 6 мкм. Комутаційні доріжки 4 із кремнію p+ і алюмінію об'єднують всі тензорезистори в міст Уїнстона. Контактні майданчики 5

сформовані на кінцях. До них можна підводити живлення, а також знімати вихідний сигнал. Захищені поверхні тензорезисторів шаром діоксиду кремнію - як один від одного, так і від кремнієвої підкладки. Товщина шару діоксиду кремнію 0,1 - 2 мкм.

Принципова схема МДТ, що розроблений Мічиганським університетом, США, зображена на Рис. 3.11:



1- мембрана; 2- електрод вимірюваної ємності; 3- нерухомий силовий електрод; 4- рухомий силовий електрод; 5- основа.

Рис. 3.11. Принципова схема МДТ компенсаційного вимірювання.

Мікромеханічний датчик тиску являє собою діафрагму 1. Її товщина 0,26 мкм, площа полікремнієвої поверхні  $20 \times 20 \text{ мкм}^2$  з технологією "кремній поверх шару діелектрика. Діафрагма сформована на верхній частині вакуумно-ущільненого поглиблення (ОК), що витравлений на кремнієвій підставці 5. Рухливий силовий електрод 4 – це велика полікремнієва пластина ( $200 \times 200 \text{ мкм}^2$ ), товщиною 1,2 мкм, що прикріплена до центру чутливої діафрагми через центральне опорне кріплення ( $36 \text{ мкм}^2$ ). У деяких пристроях середня пластина підтримується по краях рівномірно розташованими чотирма балками розмірами  $80 \times 8 \text{ мкм}^2$ , що дає додаткове кріплення та робить пластину більш твердою й забезпечує електричне з'єднання.

Нерухомий полікремнієвий силовий (керуючий) електрод 3 - його товщина 3,2 мкм, знаходиться на відстані 1,0 мкм від поверхні середньої пластини, та підтримується рівномірним масивом якорів, з'єднаних з підкладкою - підставкою через отвори, витравлені в середній пластині.

Під електродом 4, на підставці, розташовується вимірювальний електрод 2.



При центральному навантаженні відхилення мембрани під тиском 1атм складає приблизно  $y = 0,2$  мкм, що приведе до створення ємності на вимірювальному електроді приблизно 100Ф.

Розробкою датчиків займаються такі фірми: Kulite (США), Вгел & Кjer (Данія), ФГУП "НДІ фізичних вимірів" ( м. Пенза), "НП "Теплоприбор" (м. Москва), ВАТ "НПП " Темп-Авіа" (м. Арзамас), а також ряд технологічних центрів, промислових груп та ін.

### **3.3.4.Основні характеристики кремнієвих датчиків**

Основні характеристики кремнієвих датчиків тиску:

1. Розмах вихідної напруги (Full Scale Span -  $V_{fss}$ ). Визначається як різниця між вихідною напругою при максимальному сертифікованому робочому тиску і напругою при мінімальному сертифікованому робочому тиску.

2. Початкове зміщення ( $V_{off}$ ). Визначається як вихідна напруга при дії на датчик мінімального сертифікованого тиску.

3. Точність (сумарна похибка) складається з:

- Не лінійності. Відхилення вихідної напруги від лінійної залежності  $P/ V_{out}$ .  
- Гістерезису температури. Це різниця вихідної напруги при зміні температури від мінімуму до максимуму, або навпаки, при прикладеному нульовому диференціальному тиску.

- Гістерезису тиску. Це різниця вихідної напруги при зміні сертифікованого тиску від мінімуму до максимуму, або навпаки, при 25 С.

- Стабільності зміщення. Це різниця вихідної напруги після 1000 циклів зміни температури від - 40 до 125 С і додатки 1.5 мільйона мінімальних сертифікованих циклів тиску.

- Температурної помилки. Визначається як різниця вихідної напруги в діапазоні температур від 0 до 85<sup>0</sup>С відносно температури 25<sup>0</sup>С.

- Помилки зміщення. Це різниця вихідної напруги, при додатку мінімального сертифікованого тиску в діапазоні температур від 0 до 85 С відносно температури 25 С.

- Відхилення від номіналу. Це відхилення від номінальних значень зміщення або розмаху вихідної напруги у відсотках від  $V_{fss}$  при 25 В.

4. Час відгуку визначається як час наростання вихідної напруги від 10% до 90% його кінцевого значення, визначуваного зміною тиску.

Зовнішній тиск, вищий від номінального, може привести до витоків струму з виведень на корпус [9].

### 3.4. Похибки кремнієвих датчиків тиску

Усі фірми, що виготовляють датчики тиску, будують первинний перетворювач «тиск-напруга» за традиційною схемою моста Уїнстона. Ця схема має наступні недоліки :

- схема має 4 підібрані резистори;
- необхідність їх підстроювати;
- необхідні складні схеми температурної компенсації.

Ці недоліки підштовхнули фірму Motorola вести активний пошук альтернативного рішення. Вона розробила принципово нове рішення, яке згодом було запатентовано, і носить торгову марку X - ducer.

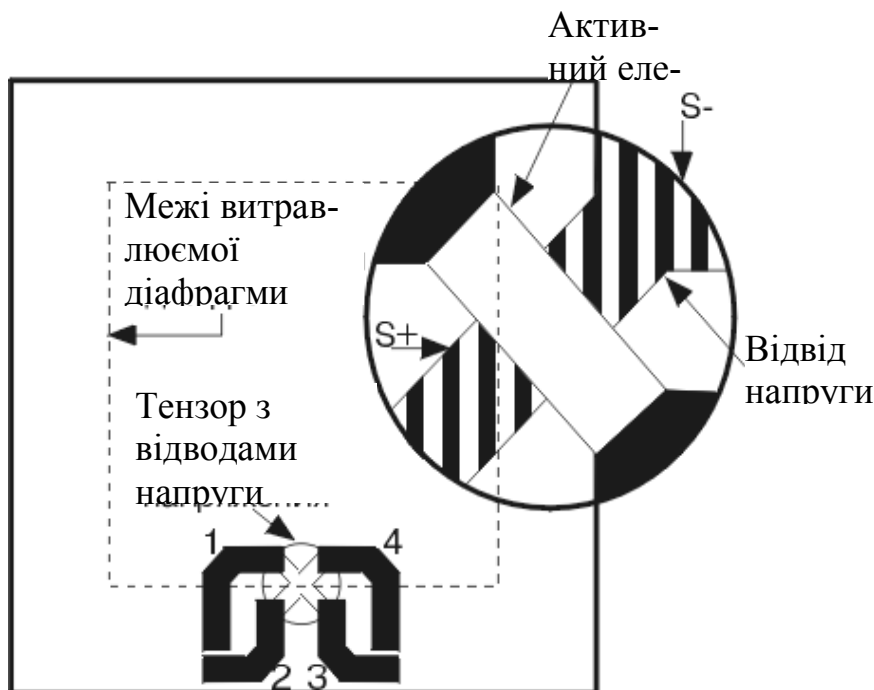


Рис. 3.12. Чутливий елемент X – ducer

Елемент X – ducer (Рис. 3.12.), названий так за X-образну форму перетворювача. Він являє собою кремнієву діафрагму, на яку методом іонної імплантації впроваджена X-образна тензорезистивна структура.

На виході елемент розвиває напругу, яка прямо пропорційна прикладеному тиску і має дуже високі показники лінійності, повторюваності, відтворюваності, чутливості і відношення сигнал/шум. Одна пара виведень служить для подання напруги живлення, а друга для зняття різниці потенціалів, що лінійно залежить від напруги живлення (пропорційний вихід) і прикладеного тиску (зусилля).

Використання у датчику технології MEMS дозволило отримати точний, якісний аналоговий вихідний сигнал, що пропорційний прикладеному тиску.

Принцип дії датчика такий: струм збудження протікає по резистору (відведення 1 і 3), а тиск, що подається до діафрагми, впливаючи на діафрагму, згинає резистор. Вигин призводить до виникнення в резисторі поперечного електричного поля, яке проявляється як напруга на відведеннях 2 і 4, сполучених з середньою точкою резистора (Рис. 3.12.). Вихідний сигнал змінюється пропорційно прикладеному тиску. Тензодатчик є інтегральною частиною діафрагми і, отже, його температурний коефіцієнт не відрізняється від температурного коефіцієнта діафрагми. Вихідні параметри самого тензодатчика все ж залежать від температури і для забезпечення розширеного діапазону температур потрібна температурна компенсація.

Для діапазону температур від 0 до 85°C досить простого резистивного ланцюжка, реалізованого на тому ж кристалі. Для ширшого ж діапазону температур, наприклад від - 40 до 125°C, знадобиться складніша схема компенсації, яка реалізується зовнішніми схемами.

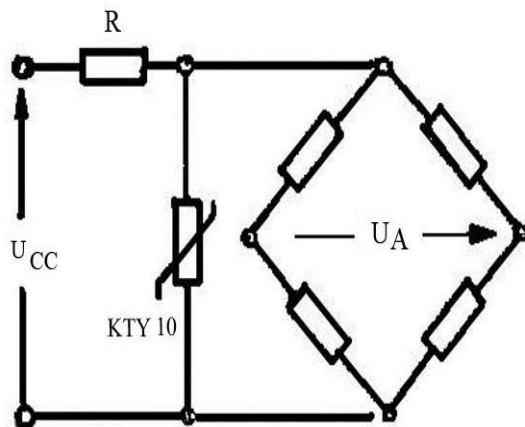
Використання одного чутливого елемента виключає необхідність точного узгодження чотирьох, чутливих і до тиску і до температури, резисторів, що становлять міст Уїнстона. Крім того, істотно спрощуються додаткові схеми, необхідні для калібрування і температурної компенсації. Початкове зміщення залежить, в основному, від міри вирівнювання провідників, що знімають напругу. Це вирівнювання виконується в одному літографічному процесі, що забезпечує просте їх

узгодження, а використання тільки позитивної напруги, спрощують схему зведення зміщення до нуля [11].

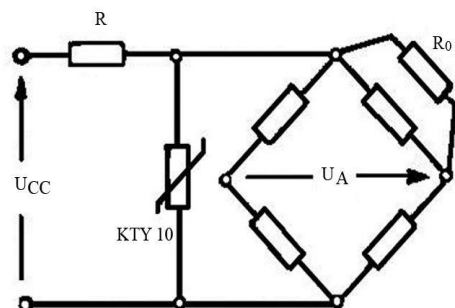
### 3.5. Компенсація похибок кремнієвих датчиків тиску

Слід розрізняти температурний коефіцієнт зсуву нуля і температурний коефіцієнт чутливості. Також кожен похибку потрібно компенсувати індивідуально.

Температурний коефіцієнт зсуву нуля, який приблизно рівний  $2 \cdot 10^{-4} \text{ K}^{-1}$ , являє собою температурну похибку сигналу в нульовій точці шкали. Він приблизно в 10 разів менше температурного коефіцієнта чутливості, що дорівнює близько  $2 \cdot 10^{-3} \text{ K}^{-1}$ . Найпростіший спосіб температурної компенсації складається в так званій пасивній компенсації за допомогою резисторів і датчиків температури, як показано на Рис. 3.13. а і б. Правильним підбором резисторів, що шунтують ( $R / R_0$ ), а також датчика температури, наприклад типу КТУ 10, можна впливати як на зміщення нуля, так і на зміну чутливості.



а - пасивна компенсація чутливості моста



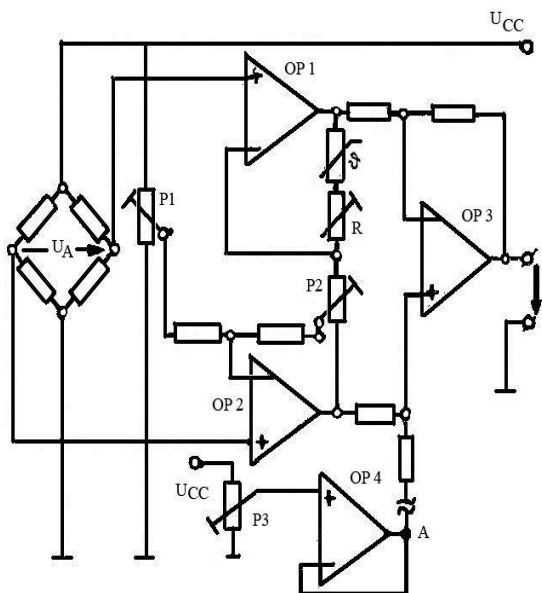
б - установка нуля шкали і пасивна компенсація температурного зсуву нуля за допомогою додаткового резистора  $R_0$ .

Рис. 3.13. Схеми компенсації для кремнієвого датчика тиску.

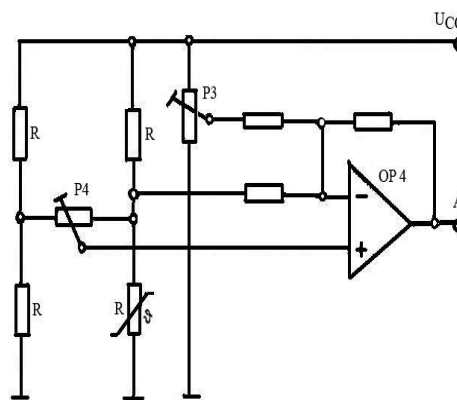
Однак краще здійснювати активну компенсацію за допомогою операційних підсилювачів (Рис. 3.14. а і б). Вона майже повністю усуває температурну похибку.

На Рис. 3.14.а показана повна схема кремнієвого датчика тиску з активною компенсацією зміни чутливості та зсуву нуля. Два операційних підсилювача OP1 і OP2 включені як неінвертуючі підсилювачі. Коефіцієнт підсилення OP1 управляється датчиком температури КТУ 10. Оскільки з підвищенням температури чутливість датчика тиску падає, то при відповідному підборі параметрів КТУ 10 і R коефіцієнт посилення OP1 може бути збільшений так, щоб втрата чутливості виявилася скомпенсована. За допомогою підсилювача OP4 нульову точку можна встановити довільно.

Якщо схема в точці А замінена схемою по Рис. 3.14.б, то зсув нуля регулюється незалежно від компенсації чутливості, при цьому резистор R ( $\theta$ ) включений як активний елемент у вимірювальному мості, вихідна напруга якого узгоджується з підсилювачем OP4.



а - активна компенсація чутливості моста та зсуву нуля шкали

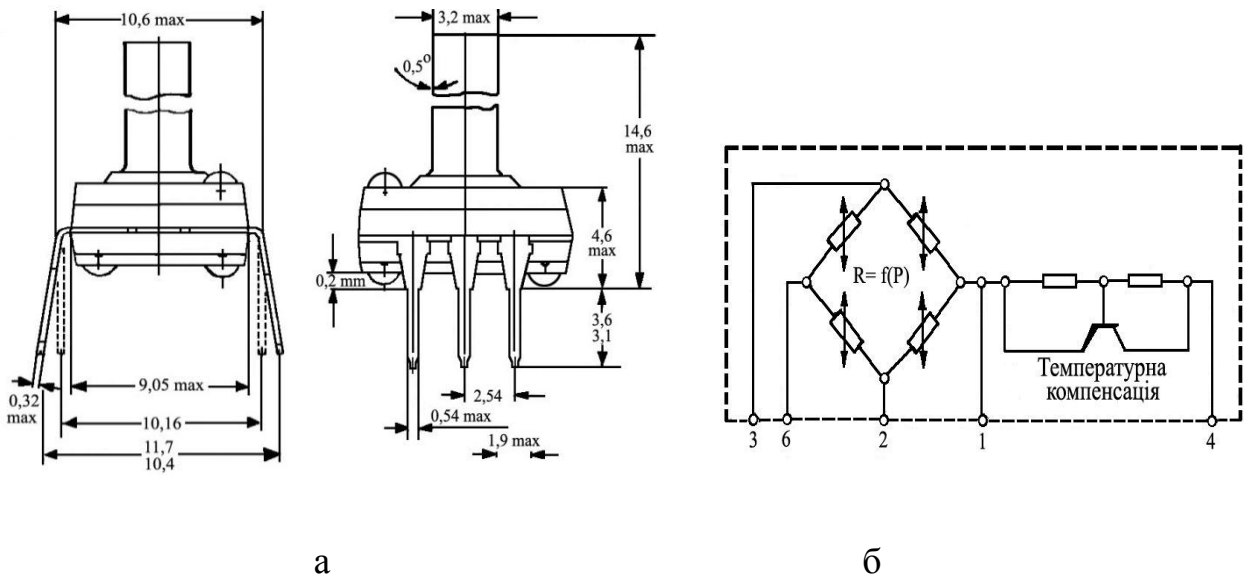


б - додаткова можливість активної компенсації температурного зсуву нуля шкали

Рис. 3.14. Схеми компенсації для кремнієвого датчика тиску.

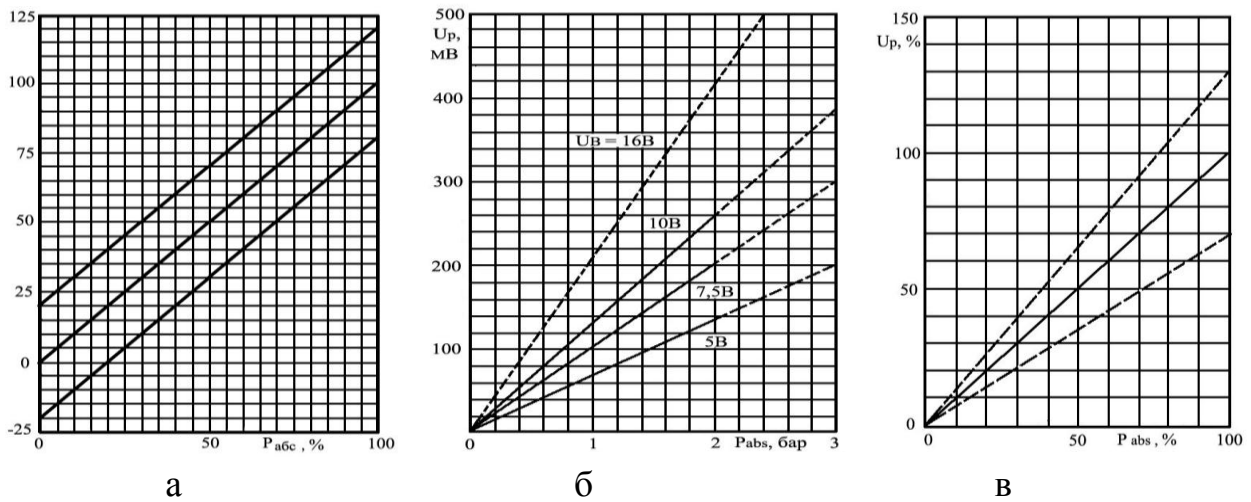
Датчик тиску КР 100А фірми Valvo, що зображений на Рис. 3.15, має внутрішню температурну компенсацію (активну), яка зменшує температурну похибку чутливості в 10 разів. Малі габарити дозволяють вбудовувати датчик в прилади і апарати, де інші датчики тиску не вміщаються.

Параметри датчиків цього типу частково представлені графічно на Рис. 3.16. та в табл. 3.2 і 3.3.



Цоколювання виводів: 1 - вхідна напруга моста,  $+U_B$  ; 2 - вихідна напруга моста,  $+U_P$  ; 3 - вихідна напруга моста,  $-U_P$  ; 4 - температурна компенсація,  $+U_{BK}$  ; 5 - внутрішнє з'єднання, 6 - вхідна напруга моста,  $-U_B$ .

Рис. 3.15. Механічний пристрій (а) і електронна схема (б) датчика тиску КР 100А фірми Valvo з внутрішньою компенсацією температури.



а - область допустимих значень зміщення нульової точки ( $\pm U_{off}$ ),  $U_B = \text{const}$ ,  $\vartheta_U = \text{const}$ ;

б - залежність вихідної напруги  $U_P$  від робочої напруги  $U_B$  (виміряно без температурної компенсації),  $U_{off} = 0$ ,  $\vartheta_U = 25^\circ\text{C}$ ;

в - область допустимих значень чутливості,  $U_B = \text{const}$ ,  $U_{off} = 0$ ,  $\vartheta_U = \text{const}$ ; суцільна лінія - середні значення, пунктирна лінія - кордони поля розкиду.

Рис.3.16. Характеристики датчика тиску КР 100А при різних умовах експлуатації.

Таблиця 3.2

Граничні характеристики датчика тиску КР 100А фірми Valvo:

Робоча напруга (короткочасно)	U <sub>в</sub> , В	≤16
Допустимий тиск	P, бар	≤4
Тиск, що продавлює	P, бар	≥7
Робоча температура	ϑ <sub>U</sub> , °С	-40 ≤ ϑ <sub>U</sub> ≤ +105

Таблиця.3.3

Робочі характеристики датчика тиску КР 100А фірми Valvo:

Робоча напруга	U <sub>в</sub> , В	75
Робочий діапазон тисків	P, бар	0 ... 2
Чутливість при температурі 25 °С	s, мВ/(В·бар)	13
Температурний коефіцієнт чутливості з температурною компенсацією в діапазоні температур -40 ... +85 °С	α <sub>skomp</sub> , %/К	≤ ±0,02
Температурний коефіцієнт чутливості в діапазоні температур -40 ... +85 °С	α <sub>s</sub> , %/К	≤ -0,22
Опір мосту при 25 °С	R <sub>Br</sub> , Ом	1800
Зміщення напруги нульової точки при температурі 25 °С	U <sub>off</sub> , мВ/В	±5
Температурний коефіцієнт зміщення напруги нульової точки в діапазоні температур -40 ... +85 °С в процентах від повної шкали на 1 К	α <sub>off</sub>	≤±0,04
Нелінійність в діапазоні тисків 0 ... 2 бар	%	≤ 0,7

### 3.6. Розрахунок характеристик барометричного висотоміра на основі кремнієвого датчика тиску

Електронний барометричний висотомір придатний для точного вимірювання тиску атмосферного повітря. Як відомо на рівні моря атмосферний тиск дорівнює 1013 мбар. Але тиск повітря сильно змінюється при збільшенні висоти (наприклад гори) або при змінному стані погоди. Наприклад, на висоті 10 км воно падає до 264 мбар, а на 20 км - до 55 мбар.

Зміна тиску повітря в залежності від висоти (щодо рівня моря) описується так званим барометричним рівнянням висоти:

$$P_L = P_0 \exp(-h/H) \text{ чи } h = H \ln\left(\frac{P_0}{P_L}\right),$$

де P<sub>L</sub> - тиск повітря на висоті h, P<sub>0</sub> - тиск повітря на рівні моря (1013 мбар), H – константа.

Залежність тиску повітря від висоти представлено на таблиці 3.4.

При підйомі від 0 до 500 м тиск повітря знижується приблизно на 58 мбар. У середньому виходить 0,12 мбар/м. Залежно від погодних умов тиск повітря коливається в діапазоні від  $\approx 980$  мбар (низький) до  $\approx 1025$  мбар (високий), тобто перепад тиску відповідає перепаду висоти близько 500 м.

Таблиця 3.4.

Висота $h$ , м	Тиск		Висота $h$ , м	Тиск	
	мм рт. ст.	мбар		мм рт. ст.	мбар
0	760	1 013	800	691	921
100	751	1 001	900	683	910
200	742	989	1 000	675	899
300	733	977	2 000	596	795
400	724	966	3 000	526	701
500	716	955	5 000	405	540
600	707	943	10 000	198	264
700	699	932	20 000	41	55

Принципова схема електронного барометричного висотоміра зображена на Рис. 3.17.

Датчик тиску наприклад, КТУ-10 фірми Siemens, живиться стабілізованою напругою 15 В, вихідна напруга становить при цьому 0 - 300 мВ для діапазону тисків 0 - 2 бар. Так як діапазон вимірювання атмосферного тиску повітря складає 50 мбар ( $\pm 25$  мбар), то, вихідна напруга має бути посилена в 50 разів.

Для цього застосуємо диференційний підсилювач ,наприклад LM358. При нормальному атмосферному тиску на вхід підсилювача подається напруга  $U = 150$  мВ, яка підвищується операційним підсилювачем OP1 до  $\approx 1,5$  В. Другим операційним підсилювачем ,наприклад LM358, за допомогою настроювального потенціометра P1 напруга сигналу доводиться до 10 В. Опору R2 і P1 дорівнюють 1 МОм, а опір R1 дорівнює 100 кОм.



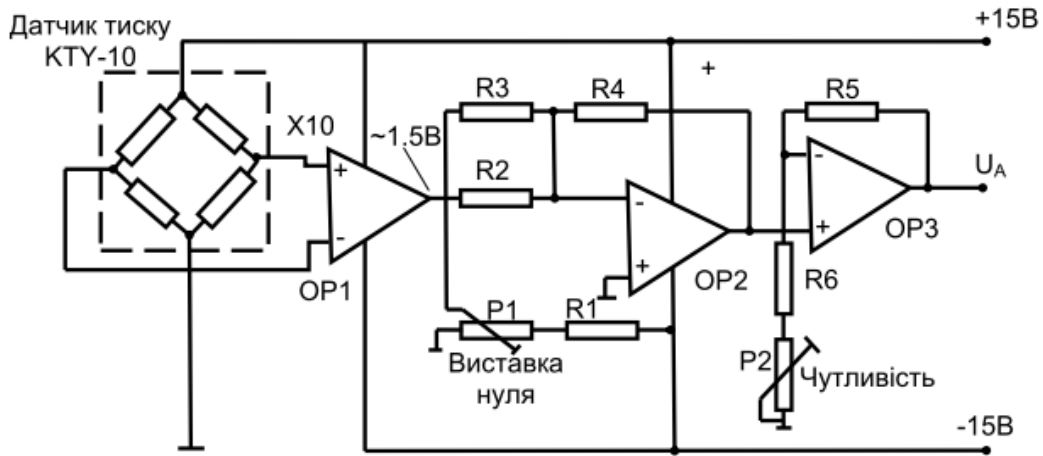


Рис.3.17. Принципова схема електронного барометричного висотоміра.

Отже вимірюючи напругу  $U_A$  на виході висотоміра можемо визначати висоту приладу над рівнем моря із чутливістю  $1 \text{ мбар}=15 \text{ мВ}$ . Таким чином висота рівня моря  $H=0 \text{ м}$ ,  $P_0=1013 \text{ мбар}$ , буде відповідати вихідній напрузі  $U_A=15,2 \text{ В}$ , а висота  $10000 \text{ м}$  буде відповідати напрузі  $U_A=3,96 \text{ В}$ . Вимірювання відносної висоти також можливе задаючи потенціометром P1 напруги відповідно до рівня аеродрому посадки, тобто встановлення компенсації напруги датчика тиску і встановлення висоти  $H=0$ .

Результати визначення вихідної напруги висотоміра в залежності від висоти польоту представлені на графіку Рис. 3.18:

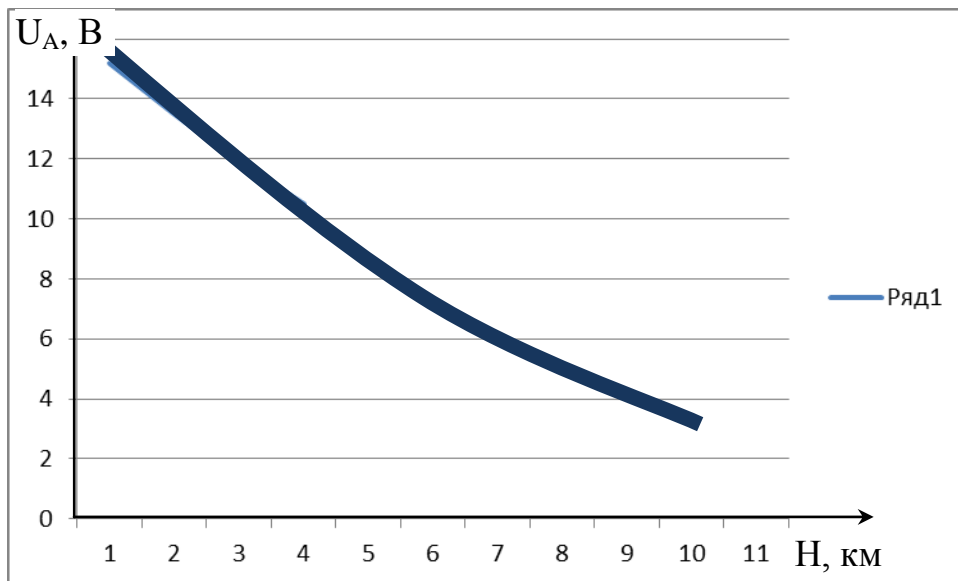


Рис. 3.18. Залежність  $U_A=f(H)$  для  $0 \leq H \leq 10000 \text{ м}$

Таким чином, застосування запропонованого принципу вимірювання барометричної висоти польоту ПС дозволить уникнути інструментальних похибок, які є в механічних та електромеханічних датчиках тиску.

### **3.7. Реалізація багатфункціональних мікромеханічних датчиків в системі висотно-швидкісних параметрів**

В конструкцію приймача повітряного тиску є можливість розміщення кремнієвих датчиків тиску, в силу їх малих розмірів. В свою чергу розміщення кількох датчиків в одній площині навколо носової частини літака дозволить замінити кількома багатфункціональними датчиками повітряних параметрів датчики повного та статичного тиску, датчики аеродинамічних кутів та датчики температури загальмованого потоку.

Аеродинамічні кути можна виміряти з завдяки застосуванню цифрових модулів повітряних параметрів, які за відповідними алгоритмами можуть розраховувати перепади динамічних тисків в різних точках повітряного судна на одній площині.

Вимірювання приладної швидкості польоту виконується кожним датчиком окремо, а в модулях повітряних параметрів обчислюється його дійсне значення з урахуванням ковзання.

Таких багатфункціональних мікромеханічних датчиків повинно бути не менше чотирьох. Оптимальна їх кількість – шість. Їх можливе розміщення для літака Ан-148 представлено на Рис. 3.19. А конструкцію багатфункціонального мікромеханічного датчика повітряних параметрів представлено на Рис. 3.20.

Багатфункціональний датчик повітряних параметрів складається з таких елементів: 1 – циліндричний корпус датчика; 2 – вхідний отвір камери динамічного тиску; 3 - камера динамічного тиску; 4 – електрообігрівальний елемент; 5 – трубка подачі повного тиску; 6 – мікромеханічний датчик абсолютного тиску; 7 – мікромеханічний датчик динамічного тиску; 8 – електроланцюги обігрівального елементу; 9 – електроланцюги живлення та лінії зв'язку МДТ; 10 – фланець кріп-

лення до фюзеляжу літака по напрямку польоту; 11 – вхідні отвори датчика статичного тиску.

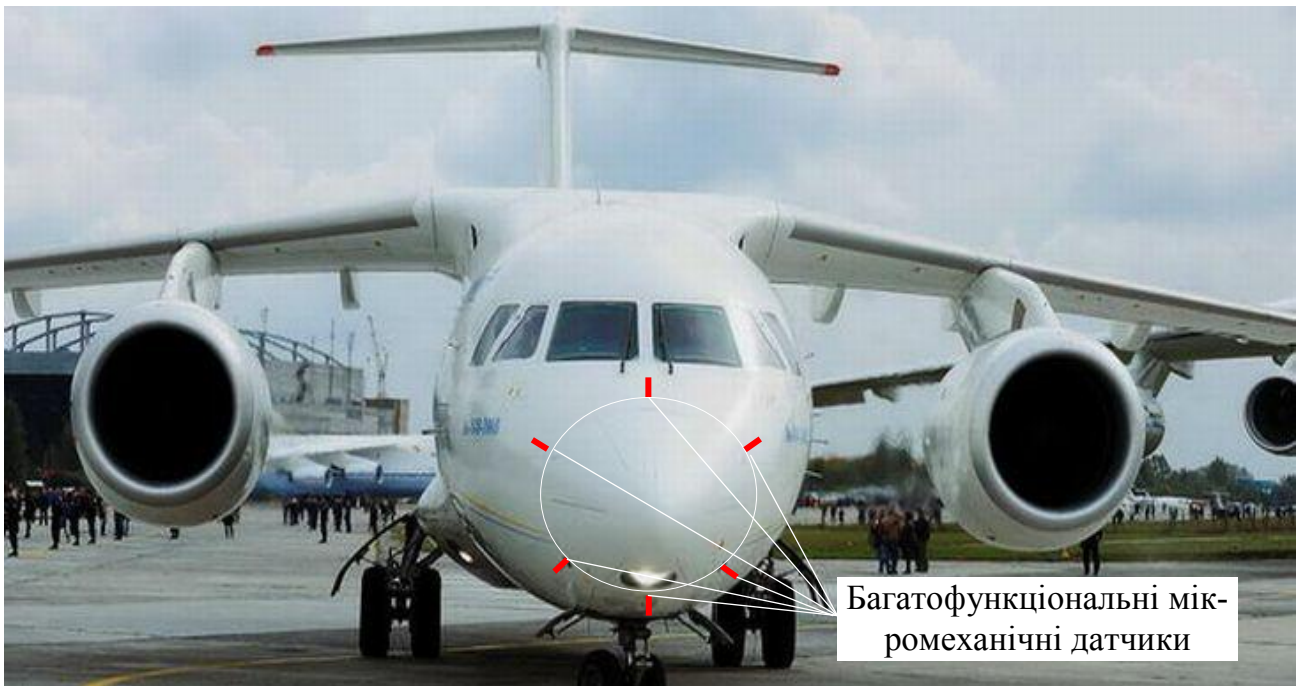


Рис. 3.19. Схема розміщення багатофункціональних мікромеханічних датчиків повітряних параметрів на літаку Ан-148.

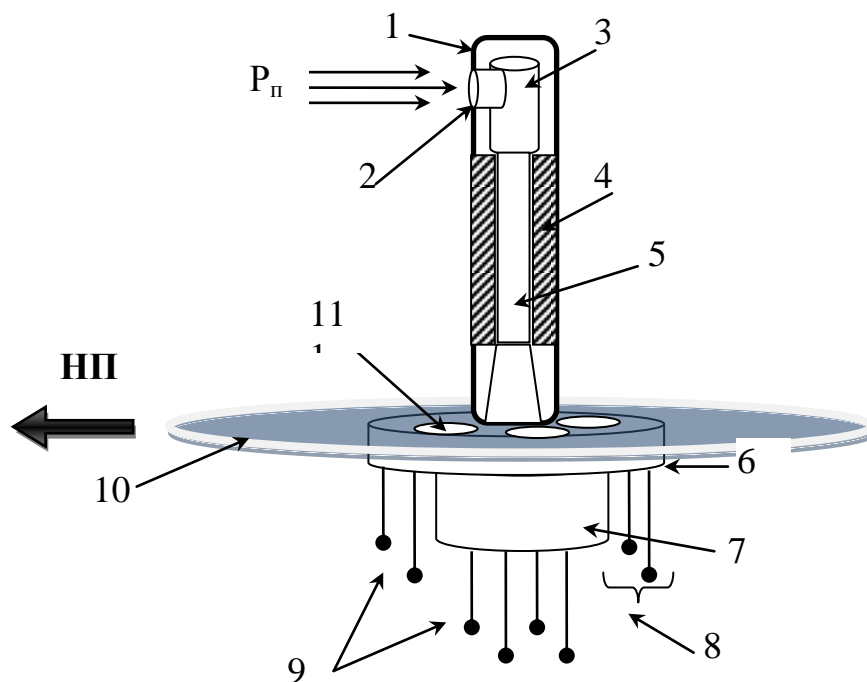


Рис. 3.20. Конструкція багатофункціонального датчика повітряних параметрів.

Розглянемо принцип вимірювання приладної швидкості таким приймачем:

1. Повний (динамічний) тиск потрапляє через вхідний отвір 2 до камери динамічного тиску 3, далі по трубці 5 повного тиску надходить до мікромеханічного датчика динамічного тиску 7. Статичний тиск потрапляє до датчика через отвори 11 у фланці кріплення датчика до фюзеляжу.

2. Всередині кремнієвих датчиків тиску розміщений кремнієвий гель та кристал тензодатчика  $X - \text{duser}$ . Через електроланцюги 9 подачі напруги живлення подається струм живлення та знімаються сигнали у вигляді напруги відповідно пропорційно динамічному тиску від датчика 7 МДТ та статичному тиску від датчика 6 МДТ. Ці сигнали і є еквівалентом повного та статичного тисків. Ці сигнали в подальшому через штепсельні електроланцюги надходять до обчислювача системи повітряних сигналів для обчислення:

- по значенням різниці динамічного і статичного тисків – приладної швидкості;
- по значенням показників статичних тисків – визначення усередненої висоти польоту;
- по значенням різниці динамічних тисків – кутів атаки та ковзання,
- для обчислення по значенням різниці статичних тисків наявність та швидкість бокового вітру.

Також такий приймач повітряного тиску повинен оснащуватись електрообігрівальним елементом 4 для уникнення обледеніння та закупорки каналу повного тиску.

Таким чином, застосування запропонованого принципу вимірювання висотно-швидкісних параметрів повітряного судна дозволить:

- уникнути інструментальних похибок, які мають в наявності в механічних та електромеханічних датчиках тиску,
- відсутність пневмопроводів зменшить вагу літака, полегшить реалізацію вимірювання тисків, та дасть змогу уникнути недоліків властивих анероїдно-мембранним системам повітряних сигналів.

### Висновок з розділу 3

Отже, головними перевагами мікромеханічних кремнієвих датчиків тиску в порівнянні з аналогічними механічними приладами на основі металевих мембран є :

- довготривала стабільність параметрів,
- компактність,
- невисока вартість при серійному виробництві,
- висока надійність,
- простота експлуатації.

Все це дає можливість застосовувати їх в системах повітряних сигналів сучасних літаків.

Застосування електронних датчиків повітряних параметрів приладного обладнання літака на основі мікромеханічних кремнієвих датчиків дозволить уникнути інструментальних похибок, які мають в наявності в механічних та електромеханічних датчиках тиску, а відсутність пневмопроводів зменшить вагу літака, та полегшить реалізацію вимірювання тисків, що дасть змогу уникнути недоліків властивих анероїдно-мембранним системам повітряних сигналів.

Отже, застосування запропонованого принципу вимірювання барометричної висоти польоту повітряного судна дозволить уникнути інструментальних похибок, які мають в наявності в механічних та електромеханічних датчиках тиску, а малі розміри кремнієвих датчиків тиску дають можливість їх розміщення в конструкції багатофункціональних датчиків повітряних параметрів. В свою чергу розміщення кількох таких датчиків в одній площині навколо носової частини літака дозволить вимірювати не тільки барометричну висоту, а і аеродинамічні кути, приладну швидкість польоту, висоту польоту та кути ковзання.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ

Відповідно до Закону України "Про охорону праці", охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини в процесі трудової діяльності.

Державна політика в галузі охорони праці визначається відповідно до Конституції України Верховною Радою України і спрямована на створення належних, безпечних і здорових умов праці, запобігання нещасним випадкам та професійним захворюванням.

Закон України "Про охорону праці" визначає основні положення щодо реалізації конституційного права працівників на охорону їх життя і здоров'я в процесі трудової діяльності, на належні, безпечні і здорові умови праці, регулює за участю відповідних органів державної влади відносини між роботодавцем і працівником з питань безпеки, гігієни праці та виробничого середовища і встановлює єдиний порядок організації охорони праці в Україні. Цей закон поширюється на всіх юридичних і фізичних осіб, які відповідно до законодавства використовують найману працю, та на всіх працюючих.

#### **4.1. Небезпечні і шкідливі виробничі фактори при технічній експлуатації електрифікованих приладів**

Під час роботи на підприємствах, де працівники використовують в своїй діяльності електрифіковані прилади, на них можуть впливати один, або низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів, що можуть призвести до шкідливого впливу на стан працездатності та на здоров'я. Безпека того чи іншого технічного процесу може бути визначена за їх кількістю і за ступенем небезпеки кожного з них зокрема.

<i>КАФЕДРА АВІОНІКИ</i>				НАУ 20 112 84 000 ПЗ			
<i>Виконав.</i>	<i>Павленко О.М.</i>			<i>Охорона праці</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>	<i>Чужа О.О.</i>						
<i>Консульт.</i>							94
<i>Н. Контр.</i>	<i>Левківський В.В.</i>				173 201		
<i>Зав. каф.</i>	<i>Павлова С.В.</i>						

Залежно від часу і інтенсивності впливу на працівника, виробничі фактори можуть бути небезпечними або шкідливими. При миттєвій дії фактор стає небезпечним, а при тривалому впливі — шкідливим.

Шкідливий виробничий фактор - фактор середовища і трудового процесу, вплив якого на працюючого за певних умов (інтенсивність, тривалість та ін.) може викликати професійне захворювання, тимчасове або стійке зниження працездатності, підвищити частоту соматичних і інфекційних захворювань, призвести до порушення здоров'я нащадків.

Небезпечний виробничий фактор - фактор середовища і трудового процесу, що може бути причиною гострого захворювання, раптового різкого погіршення здоров'я або смерті працівника.

Небезпечний і шкідливий вплив на людей електричного струму, електричної дуги та електромагнітних полів проявляється через ураження електричним струмом у вигляді електротравм і професійних захворювань.

Ступінь небезпечного і шкідливого впливу на людину електричного струму, електричної дуги та електромагнітних полів залежить від:

- величини та властивостей (видів) напруги, струму;
- тривалості впливу електричного струму чи електромагнітного поля на організм людини;
- шляху струму через тіло людини;
- частоти електричного струму;
- умов довкілля.

Основними причинами електротравматизму є:

- поява напруги там, де її в нормальних умовах не повинно бути (металоконструкції, корпуси електро- і промислового устаткування, будівельні елементи споруд). Причина - пошкодження ізоляції кабелів, дротів або обмоток електричних машин і апаратів;

- можливе доторкання до неізольованих струмопровідних частин. Всі клеми, шини повинні розташовуватися на висоті або під обгороджуванням;

- утворення електричної дуги між струмопровідною частиною і людиною (при  $U > 1000 \text{ В}$ ;

- інші причини - неузгоджені і помилкові дії персоналу; залишення електроустановки під напругою без нагляду; виникнення крокової напруги на поверхні землі; допуск до робіт на відімкнення струмопровідних частин без перевірки відсутності напруги і наявності заземлення.

Дія електричного струму на живу тканину носить своєрідний різносторонній характер. Проходячи через організм, електричний струм проводить термічну, електролітичну і біологічну дію.

Термічна дія виявляється в нагріванні тканин аж до опіків окремих ділянок тіла, перегріву кровоносних судин і крові, що викликає в них функціональні розлади.

Електролітична дія викликає розкладання крові і плазми - порушення їх фізико-хімічних складів.

Біологічна дія виявляється в подразненні і збудженні живих тканин організму, що може супроводжуватися мимовільним судорожним скороченням м'язів. При цьому можуть виникати різноманітні порушення в організмі - повне припинення діяльності серця і легенів, а також механічних пошкоджень тканин.

Чинники, що визначають небезпечне ураження електричним струмом, поділяються на три групи:

чинники електричного характеру - сила струму, напруга, рід і частота струму, опір тіла людини електричному струму;

чинники не електричного характеру - індивідуальні особливості людини, чинник уваги, час дії, шлях струму;

чинники довкілля - температура, вологість, запиленість, атмосферний тиск, електричне і магнітне поле.

Розрізняють види електротравм: місцеві і загальні. До місцевих електротравм належать електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, електроофтальмія і механічні ушкодження, пов'язані з дією електричного струму чи електричної дуги.

Загальні електричні травми або електричні удари - це порушення діяльності життєво важливих органів чи всього організму людини як наслідок збурення живих тканин організму електричним струмом, яке супроводжується мимовіль-



ним судомним скороченням м'язів. Результат негативної дії на організм цього явища може бути різний: від судомного скорочення окремих м'язів до повної зупинки дихання і кровообігу. При цьому зовнішні місцеві ушкодження можуть бути відсутні.

Для забезпечення захисту від випадкового дотику до струмовідних частин та для запобігання ураженню електричним струмом застосовують такі види захисту: ізолювання струмовідних частин (захисне ізолювання) (робоче, додаткове, посилене, подвійне); захисні оболонки; захисні огорожі (тимчасові або стаціонарні); безпечне розташування струмовідних частин; ізолювання робочого місця; мала напруга; захисне вимкнення; попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо); блокування; встановлення знаків безпеки; електрозахисні засоби;

засоби індивідуального захисту; захисне заземлення; автоматичне вимкнення живлення; зрівнювання потенціалів; захисний електричний поділ кіл; ізолювальні (непровідні) приміщення, зони, майданчики; системи наднизької напруги (безпечної, захисної); вирівнювання потенціалів.

При роботі з переносними електроінструментами при пошкодженні ізоляції і появі напруги на корпусі різко зростає небезпека ураження електричним струмом. В цих випадках використовують малі напруги, тобто напруги не вище 42 В. Як джерела малих напруг використовують сухі гальванічні елементи, акумулятори, випрямлячі та знижувальні трансформатори. Використання малих напруг різко знижує небезпеку ураження, особливо коли роботи ведуться в приміщеннях з підвищеною небезпекою чи особливо небезпечних.

Вимоги до безпеки при роботі з електроустановками, їх розміщення, способів встановлення та клас ізоляції наведені в державних стандартах безпеки праці, Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98), затверджених наказом Міністерства праці та соціальної політики України, Комітетом по нагляду за охороною праці №4 від 09.01.98 та ДСТУ 7237:2011 "Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту".

## **4.2. Засоби обмеження впливу небезпечних і шкідливих факторів на технічний персонал при роботі з електроприладами**

Принцип роботи засобів діагностики авіаційних пристроїв оснований на електроживленні (промисловий змінний струм напругою 220 В та частотою 50 Гц), тому може виникнути небезпека ураження працівників електричним струмом. При порушенні ізоляції можливий пробій на корпус пристрою (аварійний режим), що може призвести до замикання ланцюга через тіло людини, в результаті чого працівнику можна отримати електротравму, а в найгіршому варіанті - загибель.

Для безпечної роботи з електроустаткуванням, використовують заходи для зменшення сили струму та напруги живлення електроприладів.

При використанні приладів з напругою більше 12 В для організації безпеки праці простим, ефективним і поширеним способом захисту людини від ураження електричним струмом є захисне заземлення, вимоги і забезпечення якого регламентуються Правилами улаштування електроустановок (ПУЕ).

### **4.2.1. Заходи безпеки при роботі з електроустановками**

Відповідно до ДСТУ 7237:2011, безпечна експлуатація електроустановок забезпечується:

- конструкцією електроустаткування;
- організаційними та технічними заходами;
- технічними способами та засобами захисту.

До роботи з електроустаткуванням допускають працівників, які пройшли інструктаж і навчання безпечних методів праці, здали іспити на перевірку знань правил безпеки та охорони праці й інструкцій відповідно до посад, які вони обіймають, стосовно роботи, яку виконують, з присвоєнням відповідної групи з електробезпеки та які не мають медичних протипоказань.

Для забезпечення безпеки робіт у діючих електроустановках належить виконувати наступні організаційні заходи:

- призначення осіб, які відповідають за організацію та проведення робіт;

- видавання нарядів, розпоряджень;
- видавання дозволу на підготовку робочих місць та на допуск до роботи;
- підготовку робочого місця і допуск до роботи;
- нагляд під час виконання робіт;
- переведення на інше робоче місце;
- оформлення перерв у роботі та її закінчення.

До заходів, які необхідно виконувати в діючих електроустановках для забезпечення безпеки робіт належать:

Під час проведення робіт зі зняттям напруги в електроустановці, що працює, повинно бути виконано:

- проведення необхідних вимкнень і вжиття заходів, що унеможливають помилкове або самочинне ввімкнення комутаційної апаратури;
- вивішування заборонних плакатів на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;
- перевіряння відсутності напруги на струмовідних частинах, які треба заземлити для захисту людей від ураження електричним струмом;
- устанавлення заземлення (увімкнення заземлювальних ножів, устанавлення переносних заземлень), вивішування вказівних плакатів;
- огороження, за потреби, робочого місця або струмовідних частин, що залишилися під напругою, і вивішування на огороженнях плакатів щодо безпеки. Залежно від місцевих умов струмовідні частини огорожують до чи після їх заземлення.

Для забезпечення електробезпеки необхідно застосовувати такі види захисту:

- ізолювання струмовідних частин та робочого місця;
- захисні оболонки;
- тимчасові або стаціонарні захисні огорожі;
- безпечне розташування струмовідних частин;
- захисне вимкнення;
- попереджувальна сигналізація (звукова, світлова тощо) та встанавлення знаків безпеки;

- блокування;
- електрозахисні засоби та засоби індивідуального захисту.

#### **4.2.2. Освітлення робочого місця**

Одним із чинників, які визначають сприятливі умови праці, є раціональне освітлення робочої зони і робочих місць.

До освітлення ставляться певні гігієнічні вимоги. Освітлення повинно бути рівномірним і достатнім для швидкого й легкого розрізнення об'єктів, забезпечувати деяку контрастність між об'єктом і фоном. Джерело світла не повинно засліплювати людину і створювати бліків на об'єкті, що розглядається.

Раціональне освітлення робочих місць і приміщень створює у працівників певний психологічний тонус, попереджує зорову і загальну втому, сприяє високопродуктивній праці. Недостатня освітленість робочих місць може бути непрямою причиною нещасних випадків на виробництві.

Виробниче освітлення регулюється ДБН В.2.5-28:2018 "Природне і штучне освітлення".

Залежно від джерела світла виробниче освітлення може бути: природним, що створюється прямими сонячними променями та розсіяним світлом небосхилу; штучним, що створюється електричними джерелами світла та суміщеним, при якому недостатнє за нормами природне освітлення доповнюється штучним.

Природне освітлення поділяється на: бокове (одно- або двохстороннє), що здійснюється через світлові отвори (вікна) в зовнішніх стінах; верхнє, здійснюване через ліхтарі та отвори в дахах і перекриттях; комбіноване — поєднання верхнього та бокового освітлення.

Штучне освітлення може бути загальним та комбінованим. Загальним називають освітлення, при якому світильники розміщуються у верхній зоні приміщення рівномірно (загальне рівномірне освітлення) або з врахуванням розташування робочих місць (загальне локалізоване освітлення). Комбіноване освітлення складається із загального та місцевого. Його доцільно застосовувати при роботах високої точності, а також, якщо необхідно створити певний або змінний, в процесі

роботи, напрямок світла. Місцеве освітлення створюється світильниками, що концентрують світловий потік безпосередньо на робочих місцях. Застосування лише місцевого освітлення не допускається з огляду на небезпеку виробничого травматизму та професійних захворювань.

Освітлення робочого місця повинно поєднувати в собі штучне та природне світло. Згідно ДБН В.2.5-28:2018, коефіцієнт суміщеного освітлення при виконанні робіт дуже високої точності зорової роботи повинен відповідати нормативному значенню не нижче 1,5, а для середньої точності зорової роботи – не нижче 0,9.

При використанні комбінованої системи освітлення використовуються люмінесцентні джерела світла в світильниках загального освітлення для забезпечення рівномірного освітлення за допомогою відбитого або розсіяного світлорозподілення.

Найбільш точним методом для розрахунку загального рівномірного освітлення, що враховує прямий світловий потік світильників та відбите світло від стін і стелі, вважається метод світлового потоку (або коефіцієнта використання світлового потоку). Метод дозволяє визначити оптимальну кількість ламп та потужність освітлювальної установки при рівномірному розміщенні світильників загального освітлення.

Основним рівнянням методу є:

$$\Phi_{л} = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{N \cdot \eta \cdot n}, \text{ лм} \quad (4.1)$$

де  $\Phi_{л}$  – розрахункове значення світлового потоку однієї лампи в кожному світильнику, лм;

$E_n$  – нормоване значення освітленості, лк;

$S$  – площа освітлюваної поверхні, м<sup>2</sup>;

$K_3$  – коефіцієнт запасу,  $K_3=1,5$ ;

$z$  – коефіцієнт мінімальної освітленості  $z=1,2$ ;

$N$  – загальна кількість світильників;

$\eta$  – коефіцієнт використання світового потоку;

$n$  – кількість ламп в одному світильнику.

Для визначення коефіцієнту використання світлового потоку  $\eta$ , який залежить від типу світильника, коефіцієнтів відображення від підлоги, стін, стелі та індексу приміщення  $\lambda$ , потрібно скористатись формулою:

$$\lambda = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)}, \quad (4.2)$$

де  $A$  – довжина приміщення, м;

$B$  – ширина приміщення, м;

$H_p$  – висота підвісу світильника над робочою поверхнею, м.

Для обчислення  $H_p$  скористаємось формулою:

$$H_p = H - h_c - h_N, \quad (4.3)$$

де  $H$  – висота приміщення, м;

$h_c$  – висота світильника, м;

$h_N$  – висота робочої поверхні, м.

Для розрахунку візьмемо робоче приміщення з параметрами: довжина складає – 18 м., ширина – 4 м., висота – 4 м. Освітлення здійснюється світильниками типу ЛПО. Висота робочої поверхні складає 0,8 м.

З формули (4.3) визначаємо висоту підвісу світильника над робочою поверхнею, якщо висота світильника  $h_c=0$ :

$$H_p = 4,0 - 0,8 = 3,2 \text{ (м)}.$$

З формули (4.2) знаходимо значення індексу приміщення, підставляючи в формулу значення  $H_p$ , тоді

$$\lambda = \frac{A \cdot B}{H_p \cdot (A + B)} = \frac{18 \cdot 4}{3,2 \cdot (18 + 4)} = 1,02,$$

При округленні маємо індекс  $\lambda \approx 1,0$ .

Визначаємо для світильника ЛПО значення коефіцієнта використання світлового потоку ( $\eta$ ) відповідно до обчисленого індексу приміщення та коефіцієнтів світлового потоку: від підлоги – 30% (0,3), від стін – 50% (0,5), від стелі – 70% (0,7). Для даних параметрів значення коефіцієнта  $\eta=0,43$ .

Згідно вимогам ДБН В.2.5-28:2018, нормоване значення освітленості при загальному освітленні складає 300 лк. Світловий потік лампи ЛБ-40 складає 3200 лм.

З формули (4.1) виразимо значення кількості ламп  $N$ , підставляючи відомі значення в вираз одержимо:

$$N = \frac{E_n \cdot S \cdot K_3 \cdot z}{\Phi_l \cdot \eta \cdot n} = \frac{300 \cdot 18 \cdot 4 \cdot 1,5 \cdot 1,2}{3200 \cdot 0,43} = 28,26$$

У одному світильнику розміщена одна лампа.

Нехай світильники в приміщенні розташовані в чотири ряди, тоді  $n_p = 4$ , кількість світильників у ряді:

$$N_p = \frac{N}{n_p} = \frac{28,26}{4} = 7,065,$$

округливши до цілого числа  $N_p = 7$ .

Даним методом ми визначили оптимальну кількість ламп для приміщення.

При належному природному освітленні, кількість та сумарна площа вікон достатня для забезпечення освітленості робочого приміщення. Джерела штучного світла використовують у випадку недостатнього природного освітлення. Якщо освітлення виробничих приміщень правильно розраховане і виконане, очі працівника протягом тривалого часу зберігатимуть здатність добре розрізняти предмети і знаряддя праці, не втомлюючись. Це сприятиме зниженню виробничого травматизму і професійного захворювання очей.

### **4.3. Забезпечення пожежної та вибухобезпеки при технічній експлуатації пристроїв системи повітряних сигналів**

Пожежна безпека – стан об'єкта, при якому з регламентованою ймовірністю відкидається можливість виникнення та розвиток пожежі, і впливу на людей її небезпечних факторів, а також забезпечується захист матеріальних цінностей.

Цю сферу регламентують Правила пожежної безпеки в Україні, затверджені наказом Міністерства внутрішніх справ України.

Пожежа – неконтрольоване горіння поза спеціальним вогнищем, що розповсюджується в часі і просторі. Знищує матеріальні цінності, створює загрозу для життя людей, тварин, негативно впливає на навколишнє природне середовище. Спричинюється в основному необережним поводженням з вогнем, пору-

шенням правил і норм експлуатації електричних приладів та виробничого устаткування, самозайманням матеріалів (речовин), кліматичними чинниками.

Система попередження пожежі – це комплекс організаційних заходів та технічних засобів, спрямованих на усунення умов виникнення пожежі (ДСТУ 2272:2006 "Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять"). Основним принципом цієї системи є положення про те, що горіння (пожежа) можливе тільки за певних умов, а система протипожежного захисту – це комплекс технічних засобів, що змонтований на об'єкті, призначений для виявлення, локалізування та ліквідування пожеж без втручання людини, захисту людей, матеріальних цінностей та довкілля від впливу небезпечних чинників пожежі (ДБН В.2.5-56:2014 "Система протипожежного захисту").

Розглянемо основні причини виникнення пожежі електрообладнання і електроосвітлення:

- перевантаження проводів електромережі (вище розрахункового), яке викликає нагрівання частин, що проводять струм, загоряння їхньої ізоляції і, як наслідок, займання різних матеріалів, які стикаються з ними;
- неякісне виконання з'єднань електричної проводки;
- перевантаження різних електричних пристроїв (електродвигуни, генератори, трансформатори, реле, розподільні пристрої тощо), що призводить до їхнього нагрівання і, отже, до можливого загоряння;
- несправне охолодження електроприладів, неправильне вмикання його;
- коротке замикання, іскріння на колекторі або кільцях електродвигуна і генераторів, а також в пристроях вмикання і вимикання;
- надмірне зношення підшипників електромашин, внаслідок чого може виникнути або перегрівання підшипників, або заклинювання їх, а потім загоряння.

Для запобігання загоряння у випадку перевантажень і короткого замикання використовують різні запобіжні пристрої (плавкі запобіжники, реле, захисні автомати). Протипожежні вимоги до електрообладнання викладені в ПУЕ, чітке дотримання яких дасть можливість уникнути виникнення пожеж і вибухів електрообладнання. Для уникнення вибуху і пожежі в найбільш небезпечних приміщен-



нях, електроустаткування в залежності від конструктивного виконання, є відкриті, закриті та вибухозахищені.

У разі виникнення пожежі необхідно заздалегідь знати: де і які засоби пожежогасіння та зв'язку розміщені і як ними користуватися, чітко і злагоджено взаємодіяти. Під час пожежі необхідно остерігатися високої температури, задимленості та загазованості, обвалу конструкцій будинків і споруд, вибухів технологічного обладнання і приладів. Небезпечно входити в зону задимлення.

Для ліквідації пожежі вжити наступні заходи:

- негайно оповістити рятувальну службу про місце і джерело виникнення пожежі;
- знеструмити джерело виникнення пожежі (вимкнути рубильник, вимикач або електричні пробки);
- організувати евакуацію людей і устаткування з місця пожежі;
- організувати гасіння пожежі підручними засобами (використовуйте вогнегасники, пожежні гідранти, а також воду, пісок, землю, пожежний інвентар, ковдри та за наявності інші пристосовані для гасіння вогню засоби);
- доповісти про виникнення пожежі керівнику підприємства.

Вогнегасник – основний первинний засіб пожежогасіння. Ефективність застосування вогнегасника, у першу чергу, пов'язана з правильним вибором його типу залежно від класу пожежі, яку необхідно погасити. На маркуванні кожного типу вогнегасника вказано символи класів пожеж, для гасіння яких він призначений. Знання класів пожеж необхідне, щоб запобігти застосуванню вогнегасника для гасіння пожеж тих класів, для яких він не призначений. Для ліквідації пожежі, за умови відключення електроживлення, використовують ручний повітряно-пінний вогнегасник (ВПП – 5, ВПП – 10). Даний тип вогнегасника призначений для гасіння вогнищ різних речовин і матеріалів за винятком лужних металів, речовин, які горять без доступу повітря, і електроустаткування під напругою.

При включеному електроживленні можна застосовувати пересувний вуглекислотний вогнегасник УП - 1М, або порошкові вогнегасники ВП-1, ОП-5.

Вуглекислотними вогнегасниками (ВВК-2 (ОУ-3), ВВК-3,5 (ОУ-5), ВВК-18 (ОУ-25)) можна гасити електрообладнання, що знаходиться під напругою, а

також горючі рідини і тверді речовини. Не можна гасити спирт і ацетон, котрі розчиняють вуглекислоту, а також терміт, фотоплівку, целулоїд, котрі горять без доступу повітря.

Порошкові вогнегасники (ВП-2, ВП-5) є найбільш універсальними вогнегасниками по сфері застосування і за робочим розбігом температур, з їх допомогою можна успішно гасити майже усі класи пожеж, у тому числі і електроустаткування, що знаходиться під напругою до 1000 В. Вогнегасники не призначені для гасіння загорянь лужних і лужноземельних металів і інших матеріалів, горіння яких може відбуватися без доступу кисню.

Знання і дотримання правил безпеки до та під час пожежі може врятувати здоров'я і життя людей, запобігти матеріальним збиткам.

#### **Висновки до розділу 4**

Охорона праці є невід'ємною складовою забезпечення гармонійного розвитку суспільства, а збереження здоров'я та життя працівників залежить від кожного, хто бере участь у трудовій діяльності та промисловій безпеці. Тому важливо пам'ятати, що дотримання законодавства у сфері охорони праці, розвиток культури охорони праці у суспільстві стане запорукою збереження здоров'я працівників та найціннішого – людського життя.

## РОЗДІЛ 5

### ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

**Охорона навколишнього природного середовища** — система заходів, скерованих на підтримку взаємодії людини та навколишнього природного середовища, що забезпечують збереження та відновлення природних багатств, раціональне використання природних ресурсів, попередження безпосереднього або опосередкованого впливу результатів діяльності суспільства на природу та здоров'я людини.

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини - невід'ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України.

З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої і неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров'я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Під час роботи на виробництві на людину можуть впливати один, або низка небезпечних та шкідливих виробничих факторів. Безпека того чи іншого технологічного процесу може бути визначена за їх кількістю і за ступенем небезпеки кожного з них зокрема. Безпека праці на виробництві визначається ступенем безпеки окремих технологічних процесів.

Небезпечні й шкідливі виробничі фактори поділяються на фізичні, хімічні, біологічні й психофізіологічні. Останні за характером впливу на людину підрозділяються на фізичні й нервово-психічні перевантаження, а інші - на конкретні небезпечні й шкідливі виробничі фактори.

<b>КАФЕДРА АВІОНІКИ</b>				<b>НАУ 20 112 84 000 ПЗ</b>			
<b>Виконав.</b>	<i>Павленко О.М.</i>			<b>Охорона навколишнього середовища</b>	<b>Літ.</b>	<b>Арк.</b>	<b>Аркушів</b>
<b>Керівник</b>	<i>Чужа О.О.</i>						107
<b>Консульт.</b>					173 201		
<b>Н. Контр.</b>	<i>Левківський В.В.</i>						
<b>Зав. каф.</b>	<i>Павлова С.В.</i>						

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать:

- рухомі машини та механізми;
- пересувні частини виробничого устаткування;
- підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони;
- підвищена чи знижена температура поверхонь устаткування, матеріалів чи повітря робочої зони;
- підвищений рівень шуму, вібрацій, інфразвукових коливань, ультразвуку, іонізуючих випромінювань, статичної електрики, електромагнітних випромінювань, ультрафіолетової чи інфрачервоної радіації;
- підвищені чи знижені барометричний тиск, вологість, іонізація та рухомість повітря;
- небезпечне значення напруги в електричному колі; підвищена напруженість електричного чи магнітного полів;
- відсутність чи нестача природного світла;
- недостатня освітленість робочої зони; підвищена яскравість світла;
- пряме та відбите випромінювання, що створює засліплюючу дію.

До хімічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать хімічні речовини, які за характером дії на організм людини поділяються на:

- загальнотоксичні,
- подразнюючі;
- сенсibiliзуючі,
- канцерогенні,
- мутагенні,
- такі, що впливають на репродуктивну функцію.

До біологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, мікроскопічні гриби та ін.) та продукти їх життєдіяльності, а також макроорганізми (рослини та тварини).

До психофізіологічних небезпечних та шкідливих виробничих факторів належать фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження (розумове перенапруження, перенапруження органів чуття, монотонність праці, емоційні перевантаження).

## **5.1. Підвищений рівень шуму спричинений авіаційною технікою**

В Україні на даний час приблизно 2% населення піддаються дії авіаційного шуму, який перевищують норми.

Літаки великого тоннажу з потужними турбореактивними і турбогвинтовими двигунами, збільшення інтенсивності їх польотів, а також зростання парку і розширення сфери вживання цивільних вертольотів приводять до значного збільшення шуму біля околиць аеропортів і територій під повітряними трасами.

Авіаційний шум, що робить істотний вплив на шумовий режим території в околицях аеропортів, залежить від напряму злітно-посадочних смуг і трас польотів літаків, інтенсивності польотів протягом доби, сезонів року, від типів літаків, що базуються на даному аеродромі, і інших чинників.

При цілодобовій інтенсивній експлуатації аеропортів рівні звуку на житловій території досягають в денний час 80 дБ і в нічний час – 78 дБ, максимальні рівні коливаються від 92 до 108 дБ.

Повітряний транспорт у деяких містах за рівнем створюваного шуму і загальної площі зашумленості території займає одне з основних місць серед всіх джерел шуму.

Для авіаційного шуму, як ні для якого іншого, характерний дратівливий ефект. Шум літаків при раптовому виникненні на тихому шумовому фоні викликає у людей почуття страху, особливо в нічний час. Найбільше занепокоєння відчувають люди, страждаючі захворюваннями нервової і серцево – судинної систем, шлунково-кишкового тракту тощо.

### **5.1.1. Норми шуму літаків**

Чергова 386-я Асамблея ІКАО, що відбулася в жовтні 2013 року, затвердила рекомендації КАЕП про введення нових більш жорстких вимог до нових літаків, які проходять сертифікацію. На цей раз нові норми були введені в два етапи - до 31 грудня 2017 роки - для літаків злітною масою більше 55 т, і до 31 грудня 2020 роки для літаків злітною масою до 55 т.

Основна причина, чому нові норми вводяться в два етапи, полягає в тому, що виконання вимог розробником нового стандарту легшими літаками є більш складним завданням.

Сертифікаційні норми на шум літаків викладені у Конвенції з цивільної авіації. Для кожної категорії (класу) літаків норми по шуму містяться в окремому розділі. Але для основної категорії "Реактивні і гвинтові літаки" при введенні нових обмежень з'являється нова глава.

Так, відповідно до норм Глави 2 можна було сертифікувати літаки по шуму в період 1971-1977 р.р. (Рис.5.1.). У 1977 р було введено норми Глави 3 на 10 EPNdB більш "жорсткі", ніж по Главі 2. Відповідно до цього стандарту літаки проходили сертифікацію до 2006 г, коли була введена Глава 4. Норми Глави 4 ще на 10 EPNdB були більш "жорсткими", але з'явилися і деякі нововведення. Раніше нормувалися рівні шуму літака в кожній з трьох сертифікаційних точок: на розбігу збоку від ВВП (злітний режим двигунів), на наборі висоти і на посадці. Починаючи з Глави 4, нормування рівня шуму літака за сумою трьох сертифікаційних точок, так званий кумулятивний рівень, але за умови виконання в кожній з цих трьох точок як мінімум нормативних обмежень Глави 3.

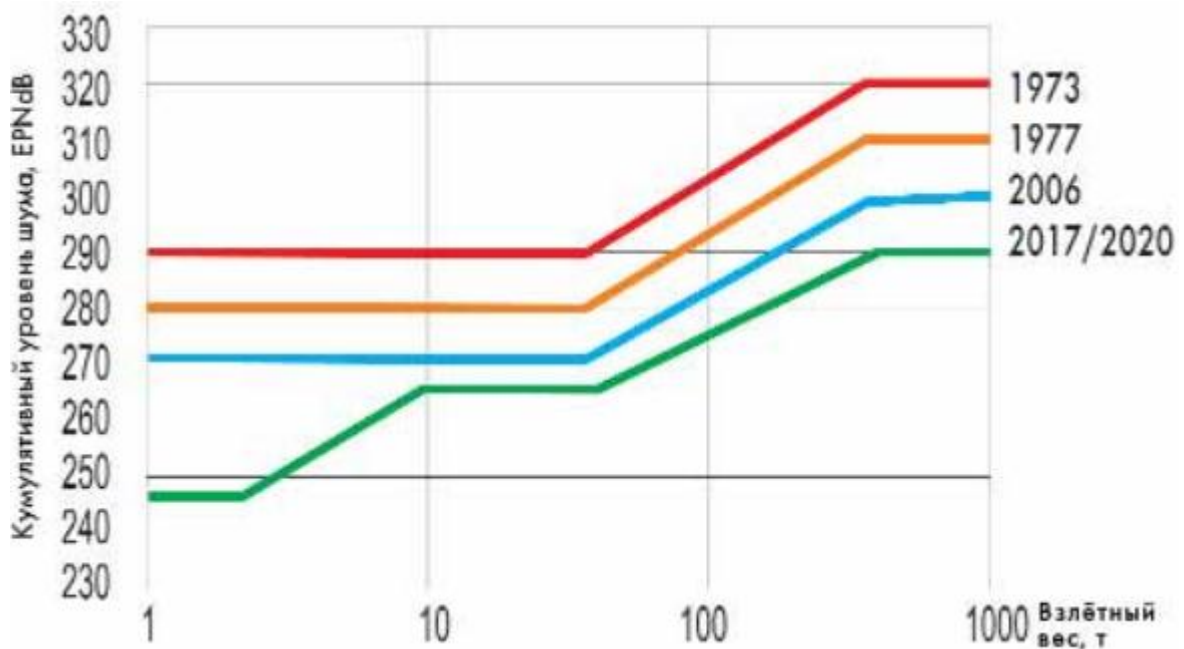


Рис.5.1. Гранично допустимі рівні шуму літаків.

Рекомендації щодо запровадження нових вимог до нових літаків ГА були прийняті на Дев'ятій нараді КАЕП на початку 2013 р. Цій події передувала робота декількох експертних груп протягом останнього трирічного циклу.

Група незалежних експертів по шуму склала середньорічний (до 2020р.) і довгострокові (до 2030р.) прогнози в області авіаційного шуму, а також проаналізувала рівень готовності розробок принципово нових повітряних суден і концепцій двигунів (гвинтовентиляторних двигунів, редукторних турбовентиляторних двигунів, ВС інтегральної аеродинамічної компоновки сплавним сполученням крила і фюзеляжу і т. д.). Групи моделювання та економічного аналізу на основі математичних моделей склали прогноз екологічних і економічних наслідків введення посилення норм на шум літаків за п'ятьма сценаріями -3, -5, -7, -9, -11 EPNdB щодо вимог нині чинної глави 4 тома 1 "Авіаційний шум" Додатки 16.

У підготовленій групою експертів по авіаційному шуму доповіді робиться висновок, що до 2030 р літаки звичайної схеми з фюзеляжем і крилом будуть превалювати над авангардними конструкціями, що розробляються для вирішення завдання зниження шуму літаків. Повітряні судна принципово нових конструкцій, що забезпечують подальше зниження шуму в порівнянні з концепціями 2010 р, в кращому випадку можуть з'явитися лише 2030 році. Хорошим прикладом такої конструкції літака є концепція з фюзеляжем з подвійним каплевидним перетином ("Double Bubble D8 "). До 2030 року можуть бути створені двигуни на основі принципово нових концепцій, таких як ТРДД з надвисокою ступенем двоконтурного, біротативні гвинтовентиляторні двигуни (CROR) і редукторні турбовентиляторні двигуни (GTF). Очевидно, що ТРДД з надвисоким ступенем двухконтурності являються менш шумними, ніж сучасні двигуни.

### **5.1.2. Оцінка впливу шуму повітряних суден.**

В силу своїх особливостей, авіаційний шум займає окреме місце серед транспортних джерел шуму внаслідок підвищених рівнів звуку та широкосмугового спектрального складу. Також, він несприятливо впливає на широке коло осіб, які безпосередньо пов'язані з діяльністю цивільної авіації: льотно-технічний склад,

працівників підприємств цивільної авіації та авіапасажирів, а також населення, що проживає поблизу аеропортів.

Несприятливий вплив шуму на людину пов'язаний з загальним роздратуванням, перешкодами розмові, неможливістю заснути, неможливістю зосередитись для виконання конкретної роботи, а при тривалому впливі шуму – втратою слуху та здоров'я. Такий вплив залежить від реакції людини на шум та фізичних характеристик шуму – інтенсивності та спектру, а також тривалості впливу.

Сучасні повітряні судна, в більшості обладнанні реактивними двигунами зі злітною масою понад 40 т., вони експлуатуються з аеродромів, які мають злітно-посадочну смугу довжиною більше 1800м, і відносяться до категорії найбільш шумних.

Шум літака складається з шуму його силової установки та аеродинамічного шуму обтікання планера. Визначальним звичайно є шум силової установки, однак на окремих етапах польоту, наприклад при зниженні на посадку важких реактивних літаків, коли двигуни працюють на низьких режимах, аеродинамічний шум стає особливо помітним.

Розрізняють три типи критеріїв оцінки подразнюючого впливу шуму:

1. Максимальні рівні шуму з урахуванням психофізіологічної реакції людини на шум;
2. Ефективні рівні шуму, що характеризуються впливом шуму при польоті літака з урахуванням часу його звучання,
3. Критерії сумарного впливу шуму, що враховують не тільки максимальні рівні шуму при кожному прольоті, а також їх кількість за певний час доби.

В міжнародних аеропортах «Київ» та «Бориспіль» визначались кордони зон акустичного забруднення територій прилеглих до аеропортів та трас прольотів літаків ЦА, що експлуатуються в них.

Виконані дослідження показали наявність за шумленості авіаційним шумом територій, що прилягають до міжнародних аеропортів «Бориспіль» та «Київ», однак площі контурів зашумлення значно менше встановлених раніше.



В теперішній час, як запобіжні заходи по зниженню шуму, заборонено виконання рейсів в нічний час та запроваджено відбуксування літаків до місця запуску.

В міжнародному аеропорту «Київ», у зв'язку із скороченням числа рейсів, рівні шуму на території авіапідприємства та в прилеглій житловій зоні не перевищують нормативні.

Крім цього, для зниження шуму використовується обладнання бар'єру (екрану) на шляху розповсюдження шуму. Для цього використовуються спеціальні конструкції, земляні відкопи, будівлі нежитлового призначення, а також смуги зелених насаджень.

## 5.2. Підвищений рівень вібрації

Вібрація - механічні коливання, що виникають у пружних тілах та передаються на тіло людини. Людина може відчувати вібрацію у діапазоні частот від частки герца до 8000 Гц. Вібрація зі ще вищою частотою сприймається як теплове відчуття. При підвищенні частоти коливань до 16 Гц вібрація супроводжується появою шуму.

Основними характеристиками гігієнічної оцінки вібрації є середньгеометричні частоти  $f$ , Гц, у третинооктавних та октавних смугах і відповідні їм середньоквадратичні значення віброприскорення  $a$ ,  $\text{м/с}^2$ , або віброшвидкості  $V$ ,  $\text{м/с}$ , а також їх логарифмічні рівні:

$$a^2 = \frac{1}{T} \int_0^T a^2(t) dt;$$

$$V^2 = \frac{1}{T} \int_0^T V^2(t) dt.$$

Логарифмічні рівні віброприскорення  $L_a$ , дБ, і віброшвидкості  $L_v$ , дБ, визначають за такими формулами:

$$L_a = 20 \lg \frac{a}{a_0},$$

де  $a$  - середньоквадратичне значення віброприскорення,  $\text{м/с}^2$ ;  $a_0$  - опорне значення віброприскорення, що дорівнює  $10^{-6} \text{ м/с}^2$ ;

$$L_v = 20 \lg \frac{V}{V_0},$$

де  $V$  - середньоквадратичне значення віброшвидкості,  $\text{м/с}$ ;  $V_0$  - опорне значення віброшвидкості, що дорівнює  $5 \cdot 10^{-8} \text{ м/с}$ .

При оцінюванні вібраційного навантаження на оператора кращим параметром є віброприскорення.

Шкідливі наслідки вібрації зростають зі збільшенням швидкості машин та механізмів, оскільки енергія коливального процесу зростає пропорційно квадрату частоти коливань (або частоти обертання вала машини).

За способом передавання на людину відрізняють загальну та локальну вібрації.

Загальна вібрація передається через опорні поверхні (ступні ніг або сидниці) на тіло людини, яка сидить або стоїть.

Локальна вібрація передається через руки людини.

Організм людини є особливо чутливим до вертикальних струсів, коли людина стоїть і коливання поширюються від ніг до голови.

За напрямком дії вібрація поділяється відповідно до напрямків осей ортогональної системи координат (Рис. 5.2).

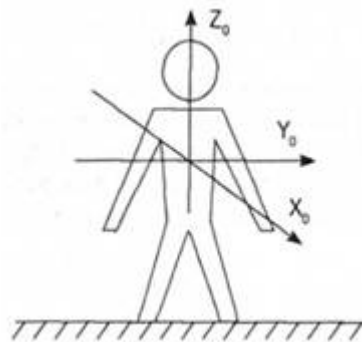


Рис. 5.2. Напрямки координатних осей загальної вібрації.

Залежно від тривалості, інтенсивності дії, частоти, а також умов праці вібрація спричиняє стійкі патологічні зміни в нервовій системі (порушення процесів

збудження та гальмування), опорно-руховому апараті (деформація суглобів, втрата сили м'язів) та кровоносній системі (звуження або розширення периферійних судин).

Джерела вібрації в літаку ті ж, що і шуму. Прискорення, що виникають при вібрації, збільшуються із збільшенням швидкості руху літака, погіршенням погоди і зменшенням корисного навантаження.

З метою зменшення вібрації рекомендується застосовувати жорстке без пружин сидіння, оскільки воно є хорошим амортизатором коливань. Вібрація діє на людину через спину, таз, руки. Для зменшення вібрації машини слід встановлювати спеціальні крісла на спеціально розрахованих амортизаторах із сталевих пружин або з пружних матеріалів.

Для ослаблення передачі вібрацій і шуму по системі кондиціонування і трубопроводах приєднувати їх до вентиляторів і насосів треба за допомогою гнучкої вставки з прогумованої тканини або гумового патрубку.

Необхідно покривати віброуючі поверхні і устаткування вібропоглинаючими і демпфуючими матеріалами (гумою, спеціальними мастиками, азбестом, бітумом, пластмасами і так далі). У місцях зв'язку деталей, що сполучаються, слід використовувати амортизуючі матеріали (гуму, пробки, картон, азбест, пружинні амортизатори) для забезпечення щільного прилягання.

Зменшити вібрацію в джерелі вібрації, тобто в джерелі її виникнення можна наступними способами:

- виключенням з конструкції ударної взаємодії деталей,
- заміною зворотно-поступального руху деталей обертальним,
- виключенням неврівноваженості деталей, що обертаються, і вузлів машин.

### **5.3. Підвищений рівень електромагнітних випромінювань.**

У аеропортах цивільної авіації електромагнітна обстановка визначається в основному випромінюванням потужних радіолокаційних станцій, які призначені для навігації повітряних судів. До них в першу чергу відносяться наземні оглядові радіолокаційні станції, що працюють в діапазонах ультрависоких і надвисоких частот.

Дія електромагнітного поля на людину в районах розміщення цих станцій носить переривистий характер, який обумовлений періодом обертання електромагнітного випромінювання. Дослідження підтвердили можливість вживання розрахункових методів для попередньої оцінки електромагнітної обстановки довкола радіолокаційних станцій.

Результати обстеження електромагнітної обстановки в районі ряду аеропортів країни показали, що в 60% випадків в біля розташованих населених пунктах були потрібні спеціальні заходи щодо захисту населення.

Також на природне середовище впливають електромагнітні поля (ЕМП) і електромагнітні випромінювання (ЕМВ) різних діапазонів:

- радіочастотне,
- рентгенівське ,
- оптичне випромінювання.

Кожний вид випромінювання характеризується особливостями впливу на живі організми.

Головними джерелами електромагнітних полів радіочастотного діапазону в приміщенні є електромережі та електроприлади, радіопередавачі та засоби персонального радіозв'язку, персональні комп'ютери з електронно-променевими трубками і типу Notebook, мікрохвильові печі (діапазон до 300 МГц) та інші прилади.

Встановлені граничнодопустимі рівні (ВГР) електромагнітних впливів на людину різних джерел випромінювань:

1. ВГР напруження електричного поля в приміщеннях на частоті 50 Гц складає 500 В/м. Це значення встановлено для відстані 0,5 м від корпусу будь-якого електричного приладу.

2. ВГР щільності потоку енергії для системи стільникового зв'язку розроблені для частоти діапазону 400-1200 МГц і складають для користувачів радіотелефонів – 100 мкВт/см<sup>2</sup>.

3. ВГР електричного і магнітного полів на відстані 50 см від будь-якої точки поверхні монітору становлять:

- для діапазону частот 5 Гц – 2 кГц: 25 В/м та 250 нТ (0,2 А/м), відповідно;

- для діапазону частот 2 кГц – 400 кГц: 2,5 В/м та 25 нТ (0,02 А/м), відповідно.

Поверхневий електростатичний потенціал екрану монітору не повинен перевищувати 200 В.

Напруженість електричного поля і щільність потоку енергії не перевищує ВГР при роботі зі стаціонарними радіо передавальними пристроями та базовими станціями стільникового зв'язку.

Найбільшу тривогу викликають випромінювання власних телефонних трубок стільникового зв'язку, особливо при випромінюванні із закритих приміщень в режимі підвищеної потужності. Значення щільності потоку на відстані “антена – голова” складає від 70 до 500 мкВт/см<sup>2</sup> (ВГР = 100 мкВт/см<sup>2</sup>).

Дотепер причини і механізм впливу електромагнітного поля на живі істоти до кінця не зрозумілі, хоча у багатьох країнах світу активно проводяться дослідження. Встановлено, що найбільш чутливою до слабо інтенсивних ЕМП є центральна нервова система людини та тварин, особливо її вищі відділи. Чисельні публікації вказують на те, що електромагнітне випромінювання впливаючи на центральну нервову систему, є вагомим стрес-фактором, нехтувати яким аж ніяк не можна. Особливу чуйність до ЕМП має імунна система. Існують дані про порушення білкового обміну при впливі ЕМП, які можуть виступати в якості алергену. Систематичний вплив ЕМП сприяє зміні гормонального статусу, який часто призводить до органічних структурних порушень з послідуочим відхиленням репродуктивної функції. Існують дані про порушення генетичної структури.

З метою захисту від несприятливого впливу електромагнітних випромінювань необхідно:

- застосовувати персональні комп'ютери, прилади радіозв'язку новітніх конструкцій, які відповідають сучасним вимогам стосовно захисту від випромінювання;

- встановлювати на відео терміналах (ВДТ) старої конструкції (випуск до 1995 року) заземлений при екранний фільтр (незаземлений захисний екран відіграє лише декоративну роль щодо захисту від ЕМВ);

- не перевантажувати приміщення значною кількістю робочих місць з ВДТ, електроприладами;

- не концентрувати на робочому місці великої кількості радіоелектронних пристроїв;

- вимикати ВДТ, якщо на ньому не працюють, але знаходиться неподалік від нього.

Таким чином, основними напрямками охорони навколишнього середовища в авіації є мінімізувати вплив фізичних шкідливих факторів, як на організм людини, так навколишнє природне середовище.

## ВИСНОВКИ

Застосування в датчиках повітряних параметрів приладного обладнання сучасного повітряного судна мікромеханічних кремнієвих датчиків дозволить:

1. Спростити конструкцію системи повітряних сигналів, автоматизувати отримання інформації від датчиків та полегшити вагу літального апарату.

2. Дозволить уникнути типових несправностей, що властиві системам з пневмопроводами, таких як негерметичність, втрати тиску на одиниці довжини трубопроводу, закупорка трубопроводів, внаслідок відсутності трубопроводів та шлангів.

3. Дозволить уникнути інструментальних, аеродинамічних і методичних помилок, властивих механічним та електромеханічним датчикам тиску.

Використання електронних систем в якості датчиків системи повітряних сигналів дозволить:

1. Збільшити швидкодію системи;

2. Застосовувати відповідне програмне забезпечення для керування системою;

3. Компенсувати на програмному рівні вплив атмосферних явищ на процес вимірювання фізичних величин;

4. На більш високому рівні виконувати взаємообмін інформацією системи повітряних сигналів з бортовими навігаційними системами.

Малі розміри кремнієвих датчиків тиску дають можливість їх розміщення в конструкції багатофункціональних датчиків повітряних параметрів. Розміщення кількох таких датчиків в одній площині навколо носової частини літака дозволить вимірювати аеродинамічні кути, кут ковзання, приладну швидкість та висоту польоту повітряного судна одним комплектом датчиків.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. В.А.Прилепский. Авиационные приборы и информационно-измерительные системы – Самара 2007.
2. Ан-32П. Руководство по технической эксплуатации.
3. Airbus A320. Руководство по технической эксплуатации.
4. Воробьев В.Г. и др. - Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы (1992).
5. В.А.Боднер, Г.О.Фридендер, Н.И.Чистяков. - Авиационные приборы - М.1960 –ГНТИ «Оборонгиз»  
Г.И. Ключев, Н.Н.Макаров, В.М.Солдаткин. Авиационные приборы и системы – Ульяновск 2000.
6. Датчики. Устройство и применение (1989) – 196с.
7. Головкин М.А., Гуськов В.И., Ефремов А.А. Приемник воздушного давления. Патент РФ № 1723879, 1990.
8. Микромеханические приборы: учебное пособие. – М.: Машиностроение, 2007.-400с.:ил.
9. Богданович М.И., Грель И.Н. - “Цифровые интегральные микросхемы”. Минск “Беларусь”, (1991).
10. Шумков А. Применение датчиков давления в системах навигации // Chip news, #8 (91), 2004.
11. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів (ДНАОП 0.00-1.21-98)
12. ДСТУ 7237:2011 "Система стандартів безпеки праці. Електробезпека. Загальні вимоги та номенклатура видів захисту".
13. ДБН В.2.5-28:2018 "Природне і штучне освітлення".
14. ДСТУ 2272:2006 Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять.
15. ДБН В.2.5-56:2014 "Система протипожежного захисту".