

## Розділ 3. ВИМІРЮВАЛЬНІ ПРИЛАДИ

### ЗМІСТ

9. ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ.....	2
9.1. Мета роботи.....	2
9.2. Загальні відомості.....	2
9.2.1. Основні теоретичні відомості.....	2
9.2.2. Коротка характеристика датчиків ДУСУ.....	6
9.3. Особливості конструкції приладу.....	8
9.4. Опис лабораторної установки.....	13
9.5. Порядок проведення роботи.....	14
9.6. Зміст звіту.....	15
9.7. Контрольні питання.....	16
9.8. Література.....	16
10. ІНТЕГРУЮЧІ ГІРОСКОПИ.....	17
10.1. Мета роботи.....	17
10.2 Загальні відомості.....	17
10.2.1. Основні теоретичні відомості.....	17
10.2.2. Конструкція макета інтегруючого гіроскопа.....	23
10.3 Опис лабораторної установки.....	25
10.4. Порядок проведення роботи.....	26
10.5 Зміст звіту.....	26
10.6 Контрольні питання.....	27
10.7. Література.....	27

## 9. ДОСЛІДЖЕННЯ ДАТЧИКІВ КУТОВОЇ ШВИДКОСТІ

### 9.1. Мета роботи

1. Вивчити особливості конструкції гіротахometrів ДУСМ і ДУСУ, навчитися експериментально визначати основні динамічні параметри приладу.
2. Ознайомитися з техніко-експлуатаційними параметрами приладів ДУСУ, з умовами їх роботи.
3. Навчитися експериментально знімати перехідну функцію приладу.
4. Навчитися визначати по перехідній функції динамічні параметри приладу; частоту затухаючих і незатухаючих коливань, коефіцієнти затухання.
5. Експериментально побудувати статичну характеристику приладу.

### 9.2. Загальні відомості.

#### 9.2.1. Основні теоретичні відомості

Гіроскопічні тахометри (ГТ) призначені для вимірювання абсолютної кутової швидкості основи. Ці вимірювачі є інерціальними, тобто не вимагають зв'язку з зовнішнім середовищем відносно якого обертається основа.

ГТ з пружним механічним зв'язком являє собою двоступеневий гіроскоп, забезпечений пружним зв'язком, який створює момент сил пружності  $M_{np} = -C\beta$  відносно вимірювальної осі і демпфівальним пристроєм (рис.9.1). У гіротахometrі типу ДУСУ є також датчик моменту.

Лабораторна установка дозволяє обертати досліджуваний прилад лише навколо однієї осі (осі чутливості). При обертанні основи з кутовою швидкістю  $U$ , спрямованої уздовж осі  $X_c$  (осі чутливості) виникає гіроскопічний момент  $M_G = HU$ , спрямований уздовж вимірювальної осі  $Z_c$ . Він викликає поворот головної осі гіроскопа навколо вимірювальної осі на кут  $\beta$  і деформацію пружини. У положенні рівноваги гіроскопічний момент урівноважується моментом  $C\beta$  пружного зв'язку. З рівності двох моментів випливає:

$$\beta = \frac{H}{C} \cdot U . \quad (9.1)$$

Коефіцієнт пропорційності  $k = H/C$  між вимірюваною кутовою швидкістю і кутом повороту  $\beta$  називають статичним коефіцієнтом передачі гіротахометра.

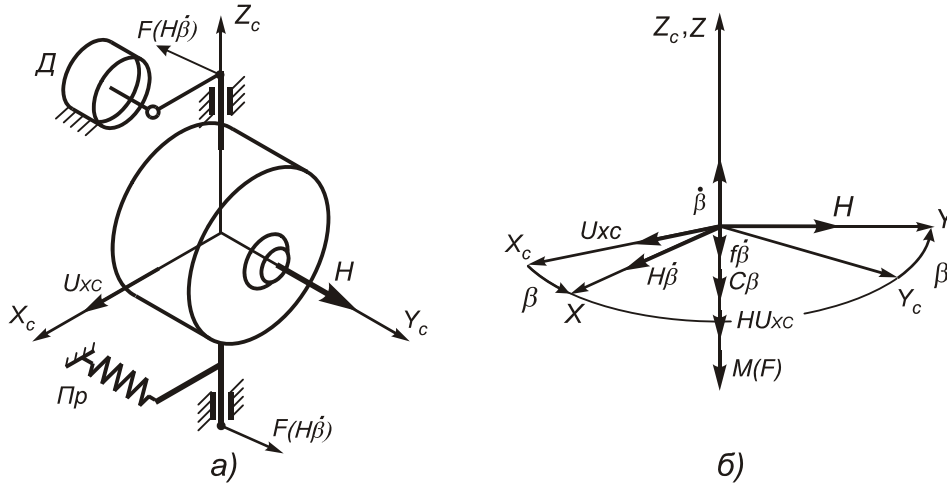


Рис. 9.1. Кінематичне креслення

У гіротахometrі з пружним механічним зв'язком вхідна величина  $U$  перетворюється на вихідну  $\beta$  за схемою:

$$U \rightarrow M_{\Gamma} = H \cdot U \rightarrow \beta = \frac{H}{C} \cdot U .$$

Лінеаризовані рівняння руху гіротахометра легко отримати з кінематичного креслення:

$$I_z \ddot{\beta} + f_0 \dot{\beta} + C\beta = HU_{xc} + M_{mp} + M_{dm} , \quad (9.2)$$

де  $I_y$  – момент інерції рухомої частини відносно осі підвісу;  $M_{mp}$  – момент сил тертя в опорах;  $M_{dm}$  – момент, створюваний магнітоелектричним датчиком моменту;  $f_0$  – коефіцієнт демпфування демпфіруючого пристрою.

При використанні гідростатичного підвісу момент  $M_{mp}$  в основному викликається реакціями в опорах через дії гіроскопічного моменту  $H\beta$ . Він викликає додаткове навантаження на опори підвісу при русі рухомої частини приладу.

Як впливає з рис. 2, реакція опор підвісу викличе появу додаткових

$$\text{сил тертя } R = -F(H\dot{\beta}) = \frac{H\dot{\beta}}{s}$$

$$|F_{mp}| = k_{mp}|R| = \frac{k_{mp}}{s} H|\dot{\beta}|, \quad (9.3)$$

тобто появу додаткового моменту сил сухого тертя

$$M_{mp} - \frac{d_u}{2}|F_{mp}|\text{sign}\dot{\beta} = -\frac{k_{mp}d_u}{2s} H\dot{\beta} = -f_2\dot{\beta}, \quad (9.4)$$

де  $f_2 = \frac{k_{mp}d_u}{2s} H$  - коефіцієнт демпфування гіроскопічними моментами.

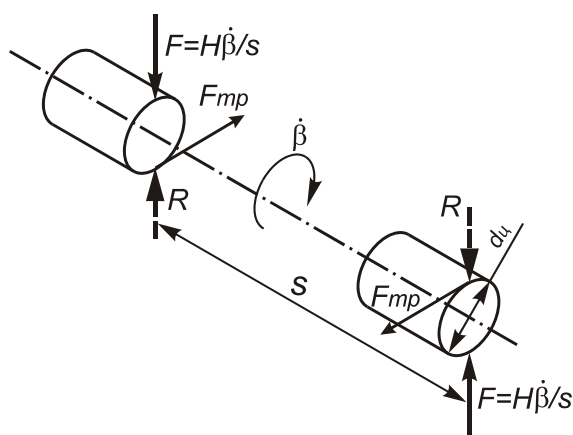


Рис. 9.2. Вплив гіроскопічних моментів на додаткові сили тертя

З урахуванням (4) рівнянь гіротахометра (2) набуває вигляду

$$I_z\ddot{\beta} + f_\Sigma\dot{\beta} + C\beta = HU_{Xc} + M_{\text{дм}}, \quad (9.5)$$

де  $f_\Sigma = f_\delta + f_2$  - сумарний коефіцієнт демпфування гіротахометра.

$$\ddot{\beta} + 2h\dot{\beta} + \omega_0^2\beta = \frac{H}{I_1} \cdot U_{Xc}, \quad (9.6)$$

де  $\omega_0 = \sqrt{C/I_y}$  частота власних незатухаючих коливань;  $h = \frac{f_\Sigma}{2I_y}$  - коефі-

цієнт загасання власних коливань гіротахометра.

Перехідна функція гіротахометра визначається виразом:

$$\beta_n = \frac{H \cdot 1(t)}{C} \left[ 1 - e^{-ht} \sqrt{1 + \frac{h^2}{\omega_1^2}} \cos(\omega_1 t - \theta) \right], \quad \theta = \text{arctg} \frac{h}{\omega_1} \quad (9.7)$$

Цю ж залежність можна отримати, змодельовавши гіроскопічний момент  $H \cdot 1(t)$ , який відповідає одиничному скачку кутової швидкості, моментом прикладеним до гіровузла датчиком моменту, який є в конструкції приладу:

$$\beta_n = \frac{M_{\partial m}}{C} \left[ 1 - e^{-ht} \sqrt{1 + \frac{h^2}{\omega_1^2}} \cos(\omega_1 t - \theta) \right] \quad (8)$$

Відзначимо, що для визначення по перехідній функції частоти затухаючих і незатухаючих коливань, а також коефіцієнта загасання власних коливань величина моменту, що діє на рухому частину приладу, не має значення.

На рис. 9.3 показані дві перехідні характеристики гіротахометра, отримані на підставі розв'язку (8) для двох випадків: а) гіромотор обертається з номінальною швидкістю ( $H = H_0$ ); б) гіромотор не обертається ( $H = 0$ ).

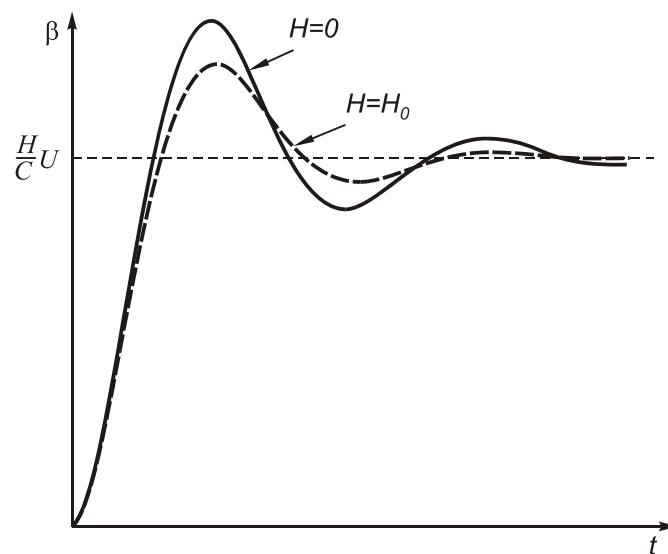


Рис. 9.3. Часові характеристики гіротахометра

Кути відхилення рухомої частини приладу від усталеного відхилення

$\beta_n |_{t \rightarrow \infty} = \frac{M_{\partial m}}{C}$  можна виразити рівністю

$$\beta_n - \beta_n |_{t \rightarrow \infty} = -\frac{M_{\partial m}}{c} e^{-ht} \sqrt{1 + \frac{h^2}{\omega_1^2}} \cos(\omega_1 t - \theta). \quad (9.9)$$

Користуючись експериментально отриманими графіками, неважко визначити період затухаючих коливань як інтервал часу між точками перетину графіка з прямою  $\beta_n |_{t \rightarrow \infty}$ . По періоду затухаючих коливань  $T_1$  елементарно просто перейти до частоти затухаючих коливань згідно залежності

$$\omega_1 = \frac{2\pi}{T_1}.$$

Як впливає з виразу (9.9), точки графіка, відповідні максимальним відхиленням від лінії  $\beta_n |_{t \rightarrow \infty}$ , будуть відповідати моментам часу, для яких  $\cos(\omega_1 t - \theta) = 1$ . Отже, сусідні максимальні відхилення будуть зміщені відносно один одного на час  $\frac{1}{2} T_1$ . Відносини двох сусідніх максимальних відхилень (в протилежні сторони) будуть визначатися виразом

$$\frac{A_1}{A_2} = \frac{A_2}{A_3} = \frac{A_3}{A_4} = \dots = e^{\frac{h T_1}{2}} \quad (9.10)$$

Після логарифмування лівої і правої частин виразу (9.10) отримаємо

$$\ln \frac{A_1}{A_2} = \ln \frac{A_2}{A_3} = \dots = \frac{A_n}{A_{n+1}} = h \frac{T_1}{2} \quad (9.11)$$

З (9.11) впливає формула для визначення коефіцієнта затухання

$$h = \frac{2}{T_1} \ln \frac{A_1}{A_2} = \frac{2}{T_1} \ln \frac{A_2}{A_3} = \frac{2}{T_1} \ln \frac{A_3}{A_4} = \dots \quad (9.12)$$

Після визначення  $\omega_1$  і  $h$  неважко розрахувати частоту незатухаючих коливань  $\omega_0$ , скориставшись відомим рівнянням  $\omega_1^2 = \omega_0^2 - h^2$

### 9.2.2. Коротка характеристика датчиків ДУСУ

Датчики кутової швидкості уніфіковані типу ДУСУ представляють собою гіроскопічні тахометри, основані на використанні двоступеневому гіроскопа. Датчики ДУСУ виготовляються для наступних 10 значень діапазонів вимірювання кутових швидкостей, °/с:  $\pm 6$ ;  $\pm 12$ ;  $\pm 18$ ;  $\pm 30$ ;  $\pm 45$ ;  $\pm 60$ ;  $\pm 120$ ;  $\pm 180$ ;  $\pm 300$ ;  $\pm 600$ . Діапазон вимірюваних кутових швидкостей в розглянутих приладах змінюють використанням пластинчатих пружин різної товщини. Датчики типу ДУСУ мають два варіанти конструкції.

У варіанті 1 (рис. 9.4) прилад кріпиться за допомогою спеціального фланця квадратної форми, тобто базовою установочною поверхнею є площина фланця в середній частині корпусу приладу, перпендикулярна до осі підвісу гіроскопа. Інша відмінна особливість першого варіанта конструкції - наявність штепсельного джгута проводів електричного зв'язку приладу з джерелом живлення і споживачами інформації.

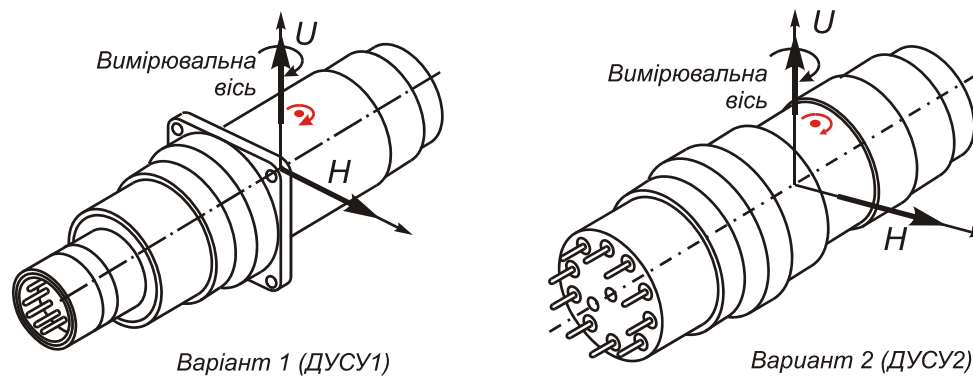


Рис. 9.4. Варіанти конструкцій датчиків

У варіанті 2 конструкції базової установочною поверхнею є циліндричні пояски на корпусі приладу. Кріплення приладу здійснюється хомутиком. У цьому варіанті конструкції штепсельного з'єднувача немає, дроти для подачі напруги живлення і знімання інформації підпаюють безпосередньо до герметичних ввідів, закріплених на торці корпусу приладу.

Положення осі чутливості приладу показано на його корпусі зафарбованою точкою і викривленою стрілкою.

Прилади типу ДУСУ випускають для трьох видів напруги і частоти живлення гіродвигуна:

- трифазна напруга 36 В, 400 Гц (умовне позначення - варіант А);
- трифазна напруга 40 В, 500 Гц (умовне позначення - варіант Б);
- трифазна напруга 36 В, 1000 Гц (умовне позначення - варіант В).

Прилади з варіантом живлення А виробляють для літальних апаратів короткочасної дії і літальних апаратів тривалої дії. У позначенні останніх після літери А, що характеризує варіант живлення, ставиться буква С.

### 9.3. Особливості конструкції приладу.

У спрощеному вигляді схема конструкції приладу показана на кінематичній схемі (рис. 9.5).

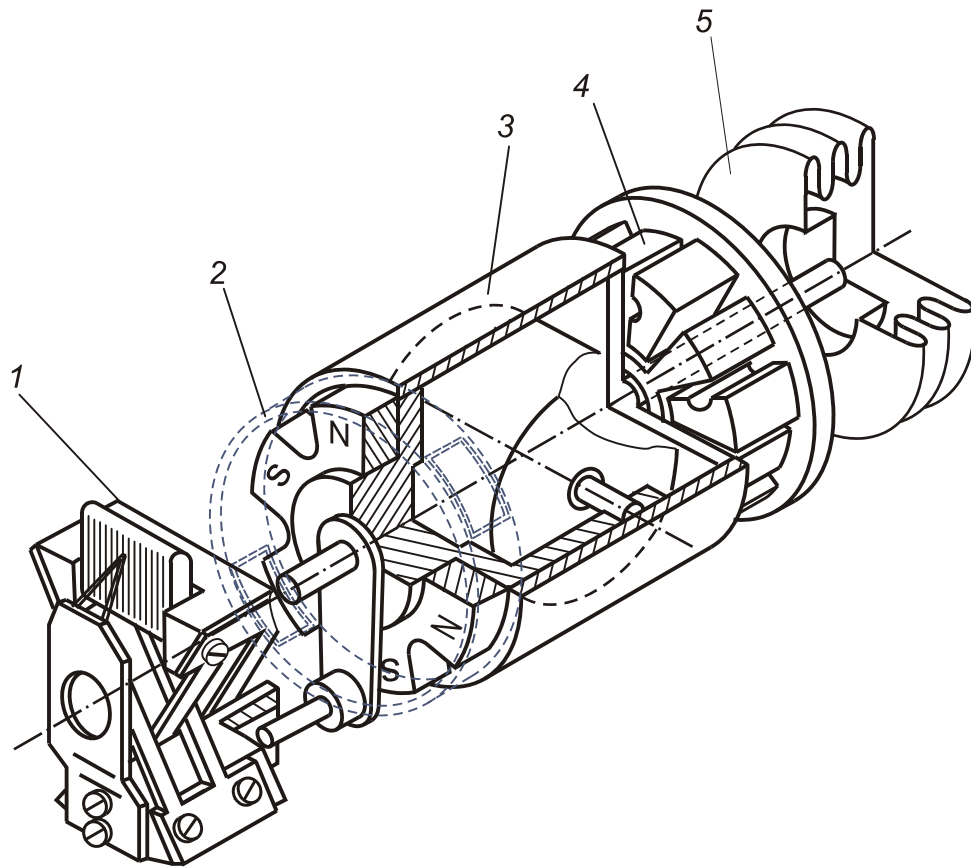


Рис. 9.5. Схема побудови датчика кутової швидкості:  
1 – датчик кута; 2 – датчик моменту; 3 – гіровузол; 4 – демпфер; 5 – сільфон.

Прилад ДУСУ містить наступні основні вузли: гіровузол 3, механізм передачі кутового переміщення гіровузла на вихідний електричний датчик кута 1, потенціометричний вихідний датчик кута, датчик моменту 2, демпфер 4, сільфон 5. Гіровузол виконаний у вигляді циліндричного поплавця. Простір між поплавцем і корпусом приладу заповнено підтримуючою рідиною. Рідина частково виважує поплавець, зменшуючи тертя в кулькових підшипниках, забезпечує демпфування власних коливань і підвищує ударну міцність, вібраційну міцність і вібростійкість приладу. Пружний зв'язок виконано у вигляді двох пластинчастих пружин, що зв'язують рухому частину з корпусом приладу. Датчик кута - потенціометричний.



Відмітна особливість датчиків типу ДУСУ (у порівнянні з приладами більш ранньої розробки типу ДУСМ) – наявність магнітоелектричного датчика моменту 2, призначеного для контролю працездатності приладу. Контроль здійснюється наступним чином. На датчик моменту подають з пульта перевірки певну напругу постійного струму. Під дією моменту, що розвивається датчиком моменту, рухома частина приладу повертається на кут, пропорційний моменту. Про величину цього кута судять по вихідному сигналу, що знімається з потенціометричного датчика кута приладу.

Креслення приладу ДУСУ-2 показано на рис.9.6.

Як видно з креслення приладу, гіромотор 8 поміщений у циліндричний поплавець 7, складається зі стакана і дна, з'єднаних герметично. Трифазна напруга живлення подається до гіромотору через гнучкі струмопідводи і гермовводи в дні поплавця і в корпусі приладу. Внутрішня порожнина поплавця заповнена воднем для зменшення вентиляційних втрат і поліпшення тепловідводу від гіромотора. Поплавець з розміщеним в ньому гіромотором утворює гіровузол. Гіровузол підвішений в корпусі приладу за допомогою шарикопідшипників 18 і 21, встановлених у втулці 22 і фланці 12. Простір між гіровузлом і корпусом приладу заповнюється рідиною, гідростатична сила якої частково розвантажує підшипники підвісу гіровузла. Гіровузол статично балансується після закріплення на ньому всіх деталей з переміщенням балансувальних гвинтів у лопатках демпфера 6, приклеєного до торцової поверхні гіровузла 4. На протилежній торцовій поверхні закріплені шестиполіусний постійний магніт 11 датчика моменту і палець 19, який передає кутове переміщення гіровузла на передавальний механізм 17, що зв'язує гіровузол з движком потенціометричного датчика кута. На корпусі 9 приладу закріплений вузол котушок 10 і нерухомий магнітопровід.

**Передавальний механізм** складається з вимірювальних пружин і деталей регулювання коефіцієнта передачі приладу і призначений для створення протидії моменту повороту гіровузла і перетворення кута повороту гіровузла в електричний сигнал. Побудова передавального механізму показана на рис. 7.

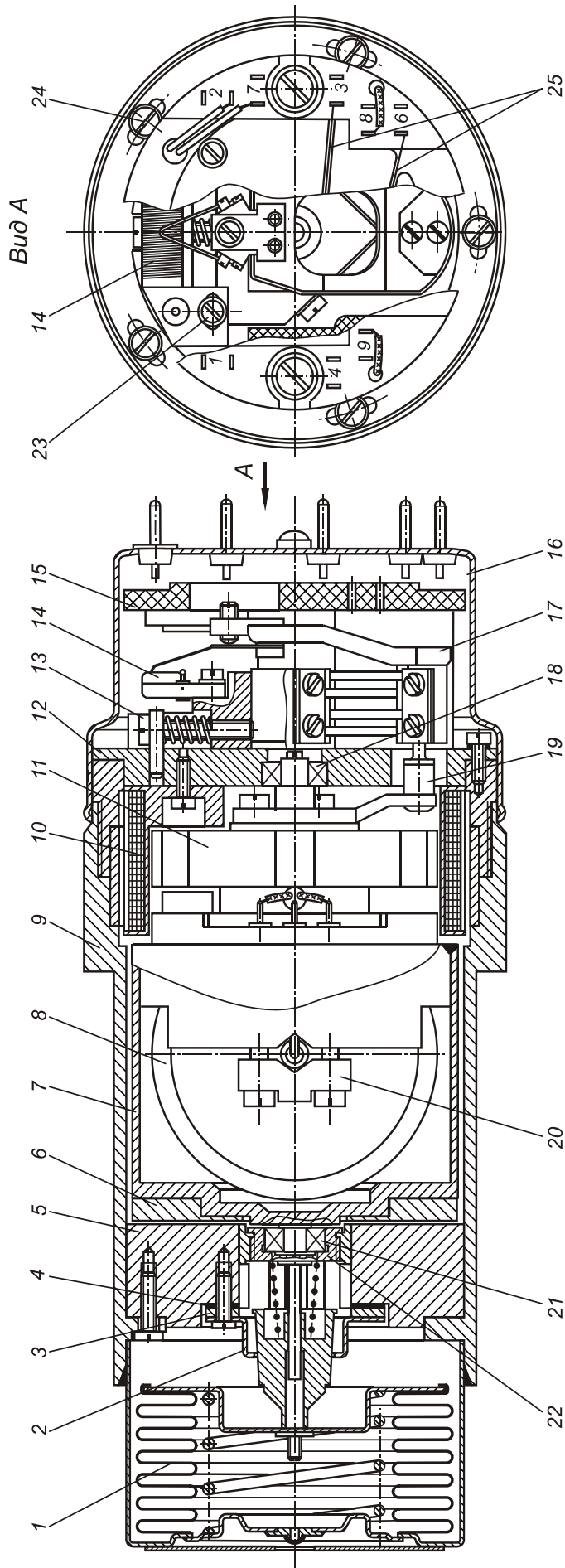


Рис. 9.6. Гіроскопічний тахометр ДУСУ: 1 – вузол сільфону; 2 – діафрагма; 3 – втулка; 4 – прокладка; 5 – статор; 6 – ротор; 7 – гіровузол; 8 – гіромотор; 9 – корпус; 10 – вузол когушок; 11 – магніт; 12 – фланець; 13 – гвинт регулювальний; 14 – потенціометр; 15 – колодка; 16 – вузол кришки; 17 – передатний механізм; 18 – підшипник; 19 – палець; 20 – планка; 21 – підшипник; 22 – втулка; 23 – гвинт регулювальний; 24 – гвинт; 25 – струмовідвід.

До основи 5 прикріплені дві плоскі пружини 7, розташовані під кутом  $90^\circ$  одна до одної. Товщина пружин, а отже, і їх жорсткість у приладів з різними верхніми межами вимірювання кутової швидкості різна. З іншого боку до пружин прикріплений сухар 8. У сухарі є паз, в який з зазором входить палець гіровузла. До сухаря прикручений щіткотримач 9, на якому закріплена пластина 10 з 2-ма щітками 1. Щіткотримач електрично ізолюваний від пластини із щітками.

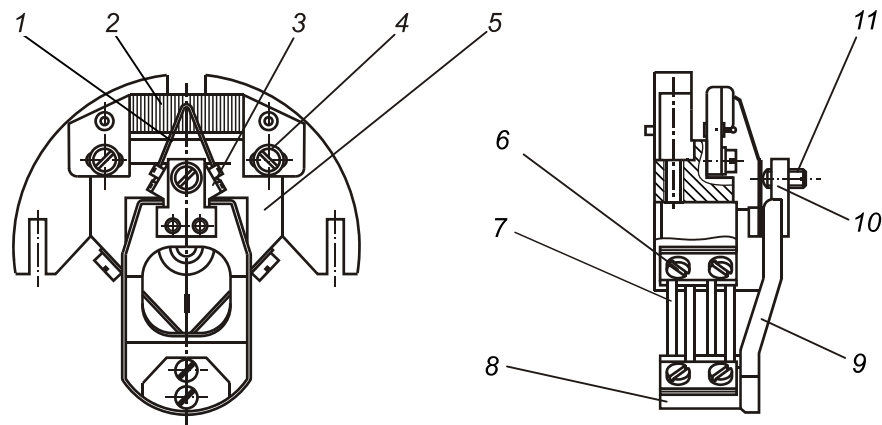


Рис. 9.7. Передавальний механізм: 1 – щітка; 2 – потенціометр; 3 – гвинт; 4 – гвинт; 5 – основа; 6 – гвинт; 7 – пружина; 8 – сухар; 9 – щіткотримач; 10 – пластина; 11 – гвинт регулювальний.

На основі гвинтами 3 закріплений потенціометр 2. Потенціометр являє каркас з намотаним емальованим дротом. У місці контакту потенціометра з щітками емаль знята. На каркас вклеєні 3 контакти, з'єднані з кінцями намотування і середньою точкою потенціометра. Положення щіток відносно потенціометра регулюється таким чином, щоб щітки торкалися того витка, від якого виведена середня точка. Натяг щіток на потенціометр встановлюється гвинтом 11.

Основа двома гвинтами 4 кріпиться на фланці 12 (див. рис. 9.6), який при ослабленні гвинтів 14 можна повертати відносно корпусу для початкової виставки гіровузла щодо осі чутливості.

Основу із закріпленими на ній деталями можна переміщати у вертикальному напрямку обертанням гвинта 9. Це дає можливість регулювати відстань від точки дотику пальця 13 з сухарем до лінії перетину плоских пружин, тобто регулювати коефіцієнт передачі приладу.

Демпфер призначений для заспокоєння коливань гіровузла та підтримання їх постійними у всьому діапазоні температур. Його побудова зображена на рис.8.

До корпусу приладу 2 (9 на рис. 9.6) прикручено без зазору по зовнішньому діаметру статор 5. У розточку статора без зазору вставлена втулка 4. Всередині втулки по напрямній може переміщатися конус 6. До втулки прикручена діафрагма 8.

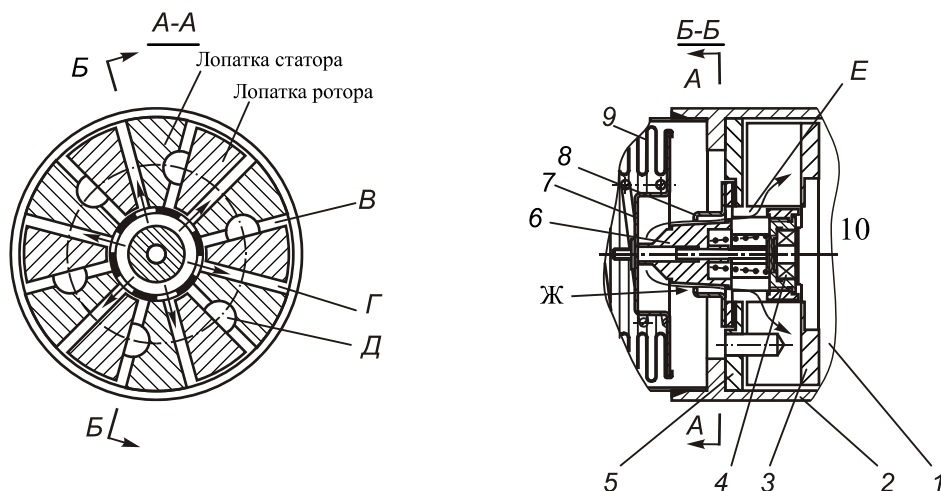


Рис. 9.8. Демпфер: 1- гіровузол; 2 – корпус приладу; 3 – ротор; 4 - втулка; 5 – статор; 6 – конус; 7 – кришка; 8 – діафрагма; 9 – сільфон; 10 – пружина.

На гіровузлі 1 (4 на рис. 6) закріплений ротор 3. Ротор не торкається втулки і корпусу. Статор і ротор представляють диски з 6-ма лопатками на кожному. Висота лопаток статора і ротора однакова. Лопатки ротора входять у западини між лопатками статора з зазором по торцю.

Демпфер працює наступним чином. При повороті гіровузла повертаються лопатки ротора. Рідина з порожнин «Г» має перейти в порожнині «В» або, навпаки, в залежності від напрямку повороту гіровузла. Частина рідини переходить через зазори, інша частина через отвори «Е», кільцеву щілину «Ж» і отвір «Д».

Зміна в'язкості рідини при зміні температури компенсується зміною перерізу кільцевої щілини «Ж». При підвищенні температури дно сільфона 7 переміщається вліво, пружина 10 тисне на конус і переміщує його слідом за дном. Переріз «Ж» при цьому зменшується. Оскільки при підвищенні температури в'язкість рідини зменшується, одночасне зменшення

поперечного зазору дозволяє стабілізувати величину коефіцієнта демпфування. При зниженні температури дно сильфона, долаючи опір пружини 10, переміщує конус вправо. Перетин «Ж» збільшується. Профіль конуса підібраний таким, щоб у всьому діапазоні температур загасання коливальних гіровузла знаходилося у заданих межах.

#### 9.4. Опис лабораторної установки

Зовнішній вигляд лабораторної установки зображений на рис. 9.9. Досліджуваний датчик кутової швидкості 2 разом з пультом керування 3 закріплені на кронштейні 4. Кронштейн дозволяє суміщати вісь чутливості гіротахометра з віссю обертання поворотної установки МПУ-1. На пульті управління встановлені тумблери включення живлення гіромотора, потенціометра і датчика моментів, а також пускова кнопка датчика моментів.

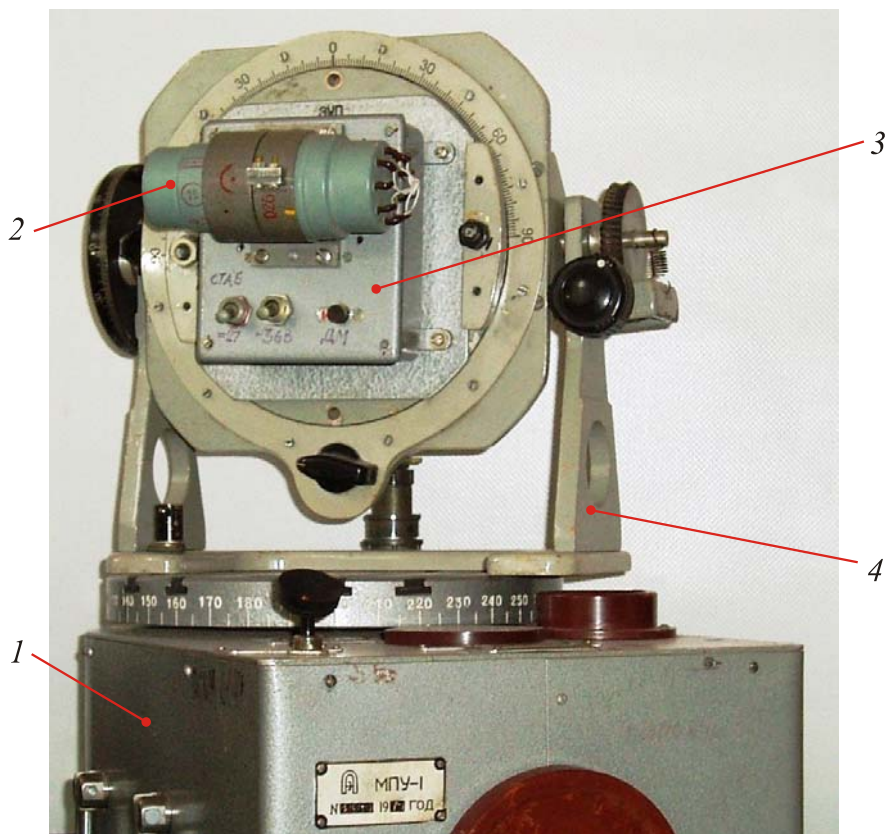


Рис. 9.9. Лабораторна установка: 1- поворотна установка МПУ-1; 2 – датчик кутової швидкості; 3 – пульт керування; 4 - кронштейн.

Потенціометр приладу підключений до постійного джерела живлення постійного струму. Вихідний сигнал з потенціометра може подаватися на

вольтметр, а також на осцилограф або вхід плати АЦП, встановленої в комп'ютері.

При виконанні п. 9.5.2. роботи (визначення статичної характеристики) використовуються діючі прилади ДУСУ і ДУСМ, установка для перевірки датчика ДУСУ, поворотна установка МПУ-1, вольтметр для вимірювання постійної напруги з межею вимірювання до 30В, стабілізоване джерело живлення, секундомір.

При виконанні п. 9.5.3 роботи використовується установка для перевірки датчика ДУСУ, осцилограф (комп'ютер з програмним забезпеченням і вбудованою платою з'єднання).

При вивченні конструкції приладів використовуються макети датчиків кутової швидкості ДУСУ і ДУСМ, а також плакати конструкції ДУСУ.

## **9.5. Порядок проведення роботи.**

9.5.1. Вивчити особливості конструкції приладу ДУСУ, використовуючи розрізний макет приладу, плакати і креслення. Особливу увагу слід приділити конструктивному виконанню гіровузла, демпфера, датчика моментів і передавального механізму, пристроїв статичного балансування та юстирування рухомої частини приладу.

9.5.2. Зняти статичну характеристику приладу. Для експериментального зняття статичної характеристики використовувати поворотну установку МПУ-1. Виконання експерименту проводити в такій послідовності:

– підключити вихід датчика кута ДУСУ до вольтметра. Подати живлення на гіродвигун і потенціометр;

– через час ( $\sim 1$  хв.), необхідний для розгону ротора, почати знімати статичну характеристику в діапазоні малих кутових швидкостей повороту платформи  $(0,05 \div 2) \text{ }^\circ/\text{с}$ . Зафіксувати поріг чутливості приладу. Оскільки кутова швидкість обертання поворотної установки не строго постійна, необхідно усереднити показання вольтметра, а значення кутової швидкості в діапазоні  $(0,1 \div 2) \text{ }^\circ/\text{с}$ . визначати вимірюванням секундоміром часу повороту на певний кут за шкалою точного відліку поворотної установки. Для побудови статичної характеристики зняти 8-10 точок, виконуючи в кожній точці вимірювання по 3 рази;

– зняти статичну характеристику в діапазоні середніх і великих кутових швидкостей ( $2 \div 35$ ) °/с. Зафіксувати максимальне значення вимірюваної кутової швидкості;

– обчислити для кожної точки середнє значення вхідної (кутова швидкість) і вихідної (напруга, що знімається с потенціометричного датчика кута) величин.

– побудувати за усередненими значеннями вхідних і вихідних величин статичну характеристику приладу.

– визначити коефіцієнт передачі приладу, поріг чутливості і діапазон кутових швидкостей, у межах якого вихідна величина пропорційна вхідний.

9.5.3. Провести зняття перехідної функції приладу. Виконання експерименту проводити в такій послідовності:

– змоделювати гіроскопічний момент, відповідний ступінчатій кутовій швидкості, моментом, який прикладається до гіровузла датчиком моменту. Для цього необхідно:

а) підключити датчик моментів до напруги постійного струму 27 В;

б) підключити до вихідного датчика кута приладу пристрій реєстрації (осцилограф або ЕОМ);

– провести запис графіка перехідної функції, для чого подати напругу на датчик моменту включенням перемикача на пульті і записати 3 ... 4 періоди власних коливань;

обчислити динамічні параметри приладу за графіком перехідної функції, використовуючи формули (8) ... (12) методичних вказівок.

Для зменшення похибки визначення  $h$  через неточності вимірювання двох сусідніх максимальних відхилень  $A_n$  і  $A_{n+1}$  рекомендується визначити за кількома парами сусідніх максимальних відхилень (по  $A_1$  і  $A_2$ ; по  $A_2$  і  $A_3$  і т.д.), а результат розрахунку усереднити.

## 9.6. Зміст звіту

У звіті повинні бути представлені наступні результати:

– кінематична і принципова електричні схеми приладу;

– результати побудови статичної характеристики (таблиці та графіки) відповідно до п. 9.5.2;

– результати розрахунку динамічних параметрів відповідно до п. 9.5.3.

## **9.7. Контрольні питання**

1. Як проводиться операція статичного балансування гіровузла?
2. Який корисний ефект, крім розвантаження підшипників на осі підвісу гіровузла, дає використання підтримуючої рідини?
3. Яке призначення магнітоелектричного датчика моменту в схемі приладу?
4. Якими регулюваннями узгоджують "нульове" положення гіровузла з віссю чутливості і "нульовий" сигнал потенціометричного датчика кута при нейтральному положенні гіровузла?
5. Якими якості повинна мати підтримуюча рідина в частині електропровідності, теплопровідності, густини, в'язкості, величини температурних коефіцієнтів щільності і в'язкості, температури замерзання?
6. Основні причини похибки приладу типу ДУСУ?
7. Як забезпечується сталість коефіцієнта демпфування в гіротахометрі ДУСУ?
8. Як регулюється коефіцієнт передачі приладу?
9. Як конструктивно змінити діапазон вимірювань приладу?
10. Як в лабораторних умовах сумістити вісь чутливості приладу з віссю обертання столу МПУ-1?
11. Чим визначається поріг чутливості приладу і граничне значення вимірюваної кутовий швидкості?

## **9.8. Література**

1. Техническое описание и инструкция по эксплуатации датчиков ДУСУ (заводское описание).
2. Одинцов А.А. Теория и расчет гироскопических приборов. -Киев: Вища шк., 1985. - 392 с.



## 10. ІНТЕГРУЮЧІ ГІРОСКОПИ

### 10.1. Мета роботи

Метою роботи є вивчення принципу дії і схем побудови двоступеневих інтегруючих гіроскопів і дослідження залежності статичного коефіцієнта передачі приладу від коефіцієнта демпфування.

### 10.2 Загальні відомості

#### 10.2.1. Основні теоретичні відомості

*Інтегруючі гіроскопи* (ІГ) – це гіроскопічні прилади, засновані на використанні двоступеневого астатичного гіроскопа, призначені для вимірювання кута повороту основи навколо осі чутливості приладу. ІГ відрізняються від гіроскопічних тахометрів (ГТ) відсутністю пружного зв'язку гіродвигуна з основою. Гіродвигун зв'язаний із основою тільки через демпфуючий елемент.

На практиці поширені дві конструктивні різновиди ІГ: 1) з сухим підвісом гіроскопа; 2) з поплавковим підвісом. Останні називають також поплавковими інтегруючими гіроскопами (ПІГ).

ІГ з сухим підвісом (рис. 10.1) мають двоступеневий гіроскоп Г, з віссю підвісу якого зв'язані демпфери Д, датчик кута ДУ. Використання двох демпферів замість одного покращує симетричність характеристики моменту сил демпфування при зміні знаку швидкості повороту рухомої частини приладу.

Електричний зв'язок між датчиком кута ДУ і датчиком моменту ДМ, що утворюється при замиканні ключа К, використовується тільки для початкової виставки рухомої частини приладу в робоче вихідне положення. При роботі приладу ключ К розімкнутий.

Поплавковий інтегруючий гіроскоп (рис. 2) конструктивно відрізняється розміщенням гіродвигуна Г в герметичному поплавці П циліндричної форми і заповненням всього простору між поплавцем і корпусом приладу в'язкою рідиною. Корпус ПІГ має сильфон С, що допускає зміну об'єму пі-

дтримуючої рідини при зміні температури і цим оберігає корпус від руйнування.

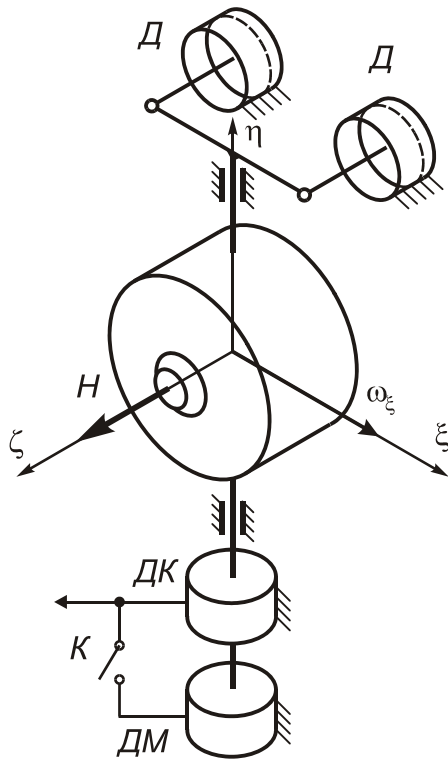


Рис. 10.1. Інтегруючий гіроскоп з «сухим» підвісом

Основна перевага такої схеми полягає в можливості практично повного розвантаження опор двоступеневого гіроскопа від дії сили тяжіння і сил інерції при прискореннях завдяки компенсації цих сил гідростатичною силою. Тому в ПІГ можна використовувати мініатюрні опори, необхідні, по суті, лише для центрування рухомої частини приладу відносно корпусу, що дозволяє отримати досить малі значення моменту сил сухого тертя і малі значення моменту дебаланса. У результаті власний «відхід» (дрейф) ПІГ під впливом залишкових шкідливих моментів ретельно продуманою конструкцією приладу і високоточним виготовленням вдається знизити до величин порядку сотих часток градуса на годину, тобто до

величин, значно менших, ніж дрейф триступеневого гіроскопа з шарикопід-

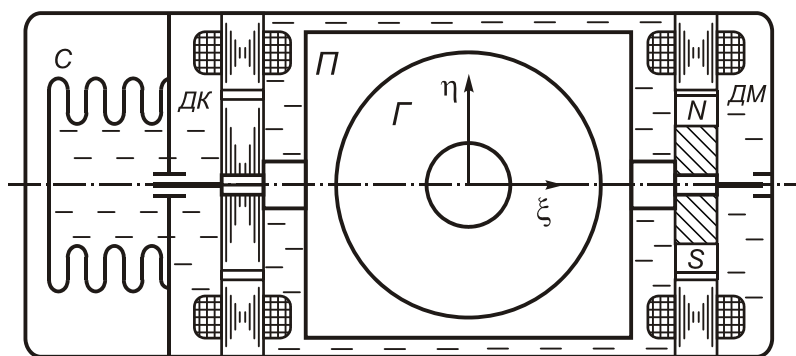


Рис. 10.2. Інтегруючий гіроскоп з гідростатичним підвісом

дшипниковим підвісом, і сумірних з дрейфом триступеневих гіроскопів з безконтактними (аеродинамічним, магнітним, електростатичним) підвісами. В якості підшипників у ПІГ використовують мініатюрні шарикопідши-

пники, опори на каменях, магніторезонансний підвіс з активними елементами.

Для досягнення повного зважування рухомої частини ПІГ підтримуючою рідиною середня щільність рухомої частини приладу повинна дорівнювати щільності рідини. А для повного розвантаження опор додатково потрібно суміщення центру мас рухомої частини з його центром об'єму, тобто збіг точок прикладання сили тяжіння (інерції) і гідростатичної сили.

Для ПІГ синтезовані спеціальні кремнійорганічні і фторорганічні рідини, що мають високу щільність (в 1,8 ... 2,5 рази більше щільності води), високу теплопровідність, стабільність фізичних параметрів у часі, які відрізняються не агресивністю по відношенню до конструкційних матеріалів, хорошими електроізоляційними властивостями, відсутністю виділення газів.

Підтримуюча рідина одночасно використовується для створення демпфівального моменту. Щоб отримати досить велике значення коефіцієнта демпфірування роблять малим (порядку десятої долі міліметра) зазор між поплавцем і внутрішньою поверхнею корпусу приладу.

Розглянемо принцип роботи ПІГ. При повороті основи, на якому розташований прилад, навколо осі  $\xi$  з кутовою швидкістю  $\omega_\xi$  (рис. 10.1) навколо осі  $\eta$  підвісу рухомої частини приладу виникає гіроскопічний момент  $M_\xi = H\omega_\xi$ , який викликає прискорений поворот рухомої частини приладу навколо осі відповідно до рівняння

$$I\ddot{\beta} = H\omega_\xi - f\dot{\beta} + M_\eta, \quad (10.1)$$

де  $I$  – момент інерції рухомої частини відносно осі її підвісу;  $f\dot{\beta}$  – момент сил в'язкого опору;  $M_\eta$  – збурювальний момент, який діє навколо осі підвісу;

Якщо для простоти прийняти  $\omega_\xi = \text{const}$ , при деякій кутовій швидкості  $\dot{\beta}$ , при якій виконується рівність

$$H\omega_\xi = f\dot{\beta} \quad (10.2)$$

і при відсутності моментів опору настає сталий режим руху зі швидкістю  $\dot{\beta} = \text{const}$ . Відповідно до рівняння (10.2) ця усталена швидкість

$$\dot{\beta} = \frac{H}{f} \omega_{\xi} \quad (10.3)$$

Отже, ustalена швидкість повороту рухомої частини приладу пропорційна кутовий швидкості повороту основи. В якості вихідної величин ІГ використовують кут  $\beta$  повороту рухомої частини приладу, точніше, електричний сигнал  $U_{\text{вих}}$ , який пропорційний куту  $\beta$ . Інтегруванням виразу (10.3) у припущенні  $H, f = \text{const}$  отримаємо:

$$\beta = \int_0^t \frac{H}{f} \omega_{\xi} dt = \frac{H}{f} \psi_{\xi} \quad (10.4)$$

де  $\psi_{\xi} = \int_0^t \omega_{\xi} dt$  - приріст кута повороту основи приладу навколо осі  $\xi$  за час роботи приладу.

Викладений принцип роботи ІГ дозволяє зробити висновок, що віссю чутливості приладу (вхідною віссю), як і для двоступеневого ГТ, є екваторіальна вісь, перпендикулярна до головної осі гіроскопа і до осі підвісу гіродвигуна ІГ. Як і ГТ, ІГ реагує на кутову швидкість повороту основи навколо осі чутливості. Проте вихідна величина ІГ, на відміну від ГТ, пропорційна не вхідній величині, а інтегралу від вхідної величини - збільшенню кута повороту основи навколо осі чутливості. Наявність у приладі процесу інтегрування вхідної величини і пояснює його назву.

Схема перетворення вхідної величини у вихідну має у відповідності до викладеного наступний вигляд

$$\omega_{\xi} \rightarrow M_{\Gamma} \rightarrow H\omega_{\xi} \rightarrow \dot{\beta} = \frac{H}{f} \omega_{\xi} \rightarrow \beta = \frac{H}{f} \psi_{\xi} \rightarrow U_{\text{вих}}$$

З цієї схеми видно схожість і відмінність аналізованого приладу і ГТ.

При розгляді принципу роботи ІГ не враховувалися моменти-завади, які діють навколо осі підвісу гіродвигуна, не враховувався співмножник  $\cos\beta$  у виразі гіроскопічного моменту  $H\omega_{\xi} \cos\beta$ . В приладі, який розглядається, як і в ГТ, необхідно обмежувати кут  $\beta$  повороту рухомої частини приладу малими величинами для зменшення моменту  $H\omega_{\xi} \sin\beta$  від перехресної кутової швидкості  $\omega_{\xi}$  та зменшення впливу мультиплікативної за-

вади  $\cos\beta$  в моменті  $H\omega_\xi \cos\beta$ . В ІГ не можна вирішити цю задачу так, як в ГТ, тобто вибором досить малого статичного коефіцієнта передачі  $\frac{H}{C}$ , оскільки величина  $\psi_\xi$  на відміну від  $\omega_\xi$  не обмежена. Цю задачу вирішують застосуванням компенсаційної схеми, в якій використовують в якості компенсуючої величини швидкість повороту корпусу приладу навколо осі чутливості  $\xi$ . Для цього прилад встановлюють на основу (рис. 10.3), яка може повертатися навколо осі  $\xi$  об'єкта за допомогою слідкуючого двигуна СД, керованого сигналом ІГ.

При ідеальних ІГ і слідкуючій системі основа з ІГ залишається нерухомою в інерціальній системі координат незалежно від повороту об'єкта навколо осі  $\xi$ . При цьому кут повороту рухомої частини приладу відносно положення рівноваги становить дуже малі величини, відповідні динаміч-

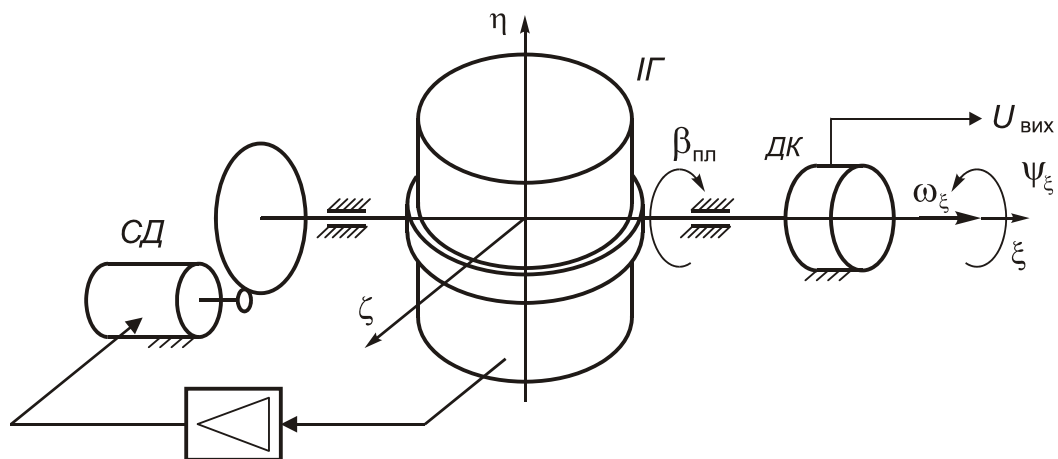


Рис. 10.3. Схема встановлення інтегруючого гіроскопа на платформі

ним похибкам в замкнутому контурі керування слідкуючим двигуном СД. Інакше кажучи, прилад у поєднанні зі слідкуючою системою працює в режимі нуль індикатора, що і визначає малість кутів повороту його рухомої частини. Вихідний сигнал, що характеризує кут  $\psi_\xi$  повороту об'єкта навколо осі  $\xi$ , знімають в цьому випадку з датчика кута ДУ, встановленого на осі підвісу основи.

Розглянута схема ІГ в поєднанні зі слідкуючою системою представляє собою одноосний гіроскопічний стабілізатор, в якому ІГ виконує роль чут-

ливого елемента. Можливо, однак, безпосереднє застосування їх в якості чутливих елементів системи керування об'єктом по кутових координатах, коли сигнали ІГ керують рулями об'єкта. Тут роль основи стабілізатора виконує сам рухливий об'єкт.

При розгляді динаміки ІГ можна в рівнянні (10.1) не враховувати вплив моментів-завад, оскільки в точних приладах на характер руху приладу моменти-завади впливають мало. Після відкидання у виразі (10.1) члена  $M_{\text{п}}$  отримаємо лінеаризовані рівняння ІГ

$$T\ddot{\beta} + \dot{\beta} = K_u \omega_{\xi}, \quad (10.5)$$

де;  $T = \frac{I}{f}$ ;  $K_u = \frac{H}{f}$ .

Постійна часу  $T$  в ІГ звичайно становить (2 ÷ 5) мс, а статичний коефіцієнт передачі (1 ÷ 5) (статичний коефіцієнт передачі  $K_u$  показує, у скільки разів в усталеному режимі прирощення кута повороту рухливої частини приладу перевищує приріст кута повороту об'єкта навколо осі чутливості приладу).

Передавальна функція приладу, отримана з рівняння (10.5), має вид

$$W(p) = \frac{K_u}{p(Tp + 1)} \quad (10.6)$$

З (10.6) випливає, що ІГ являє собою інтегруючу ланку з уповільненням, тобто поєднання ідеальної інтегруючої і інерційної ланок.

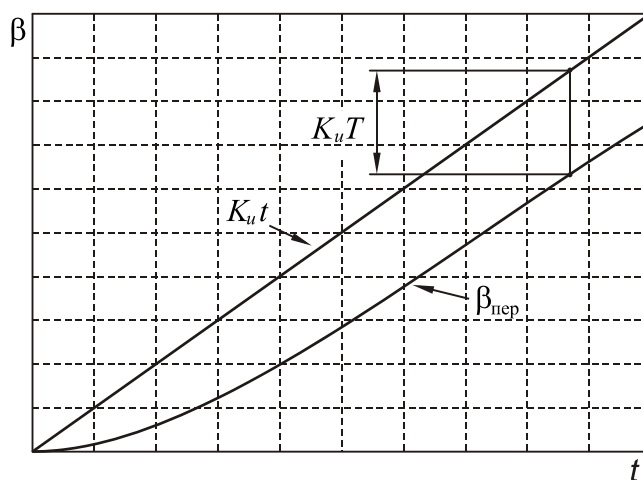


Рис. 10.4. Перехідна характеристика інтегруючого гіроскопа

Перехідна характеристика ІГ показана на рис 10.4.

З вигляду цієї характеристики випливає, що вплив постійної часу  $T$  проявляється у відмінності ординат графіка  $K_u t$ , відповідного ідеальному ІГ, для якого  $T=0$ , і графіка  $\beta_{пер}$  реального ІГ. У сталому режимі руху швидкість повороту рухливої частини постійна, але кут  $\beta$  містить постійну похибку.

### 10.2.2. Конструкція макета інтегруючого гіроскопа

В якості об'єкта досліджень використовується лабораторний макет ІГ, виконаний на основі електричного показчика повороту ЭУП-53 (гіроскопічного тахометра), в якому видалені пружини пружного зв'язку.

На рис. 10.2.5 зображена конструкція модифікованого приладу ЕУП-53. Ротор гіроскопа 3 наводиться в обертання двигуном постійного струму. Якір двигуна механічно зв'язаний з ротором. Для того, щоб швидкість обертання двигуна була постійною, він забезпечений відцентровим регулятором. Якщо швидкість обертання двигуна перевищує 6000 об/хв., то внаслідок впливу відцентрової сили рухливий контакт відцентрового регулятора відходить від нерухомого контакту. При розмиканні контактів вводиться, послідовно з ланцюгом обмотки якоря, додатковий опір, рівний 450 Ом, що призводить до зменшення струму якоря та зниження швидкості обертання.

У кожному з двох паралельних гілок якоря обмотки є по одному опору, який шунтований своїми контактами.

Кожух гіромотора 4, що представляє собою рамку гіроскопа, обертається на підшипниках 5. Кожух зв'язаний з поршнем демпфера 8 через повідець, тягу і шатун. На дні циліндра демпфера є отвір, площа якого регулюється гвинтом 7. Регулювальний гвинт фіксується пружиною. У макеті ІГ передбачений доступ до регулювального гвинта через вікно 6 у кожусі.

Кінетичний момент гіромотора – 0,04 Нмс.

Коефіцієнт демпфування пневматичного демпфера дорівнює

$$f = \frac{384\pi\mu R^4 l_n l_k}{3l_n d_k^4 + 160l_k R \delta^3} = \frac{A}{Bh_g^2 + C}, \quad (10.7)$$

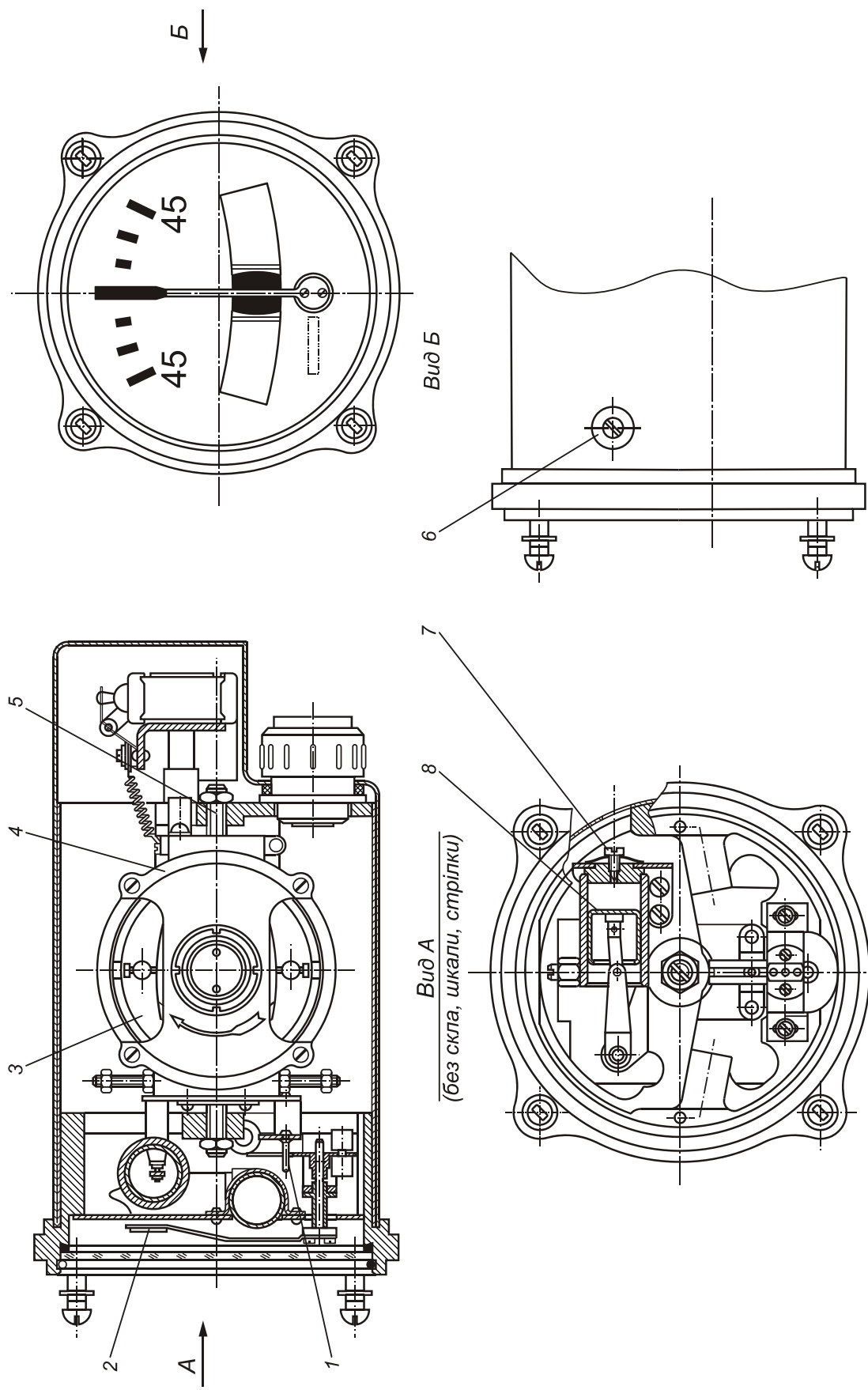


Рис. 10.5. Конструкція макета інтегруючого гіроскопа: 1 – кулісний механізм; 2 – стрілка; 3 – гіромотор; 4 – чутливий елемент; 5 – опора підвісу; 6 – отвір; 7 – гвинт регулювальний; демпфер.



де  $h_g = h\varphi_g$  - переміщення регулювального гвинта в залежності від його кута повороту і кроку різьби.

### 10.3 Опис лабораторної установки

При виконанні роботи використовуються макет інтегруючого гіроскопа, поворотна установка МПУ-1.

Зовнішній вигляд лабораторної установки зображений на рис. 10.6.

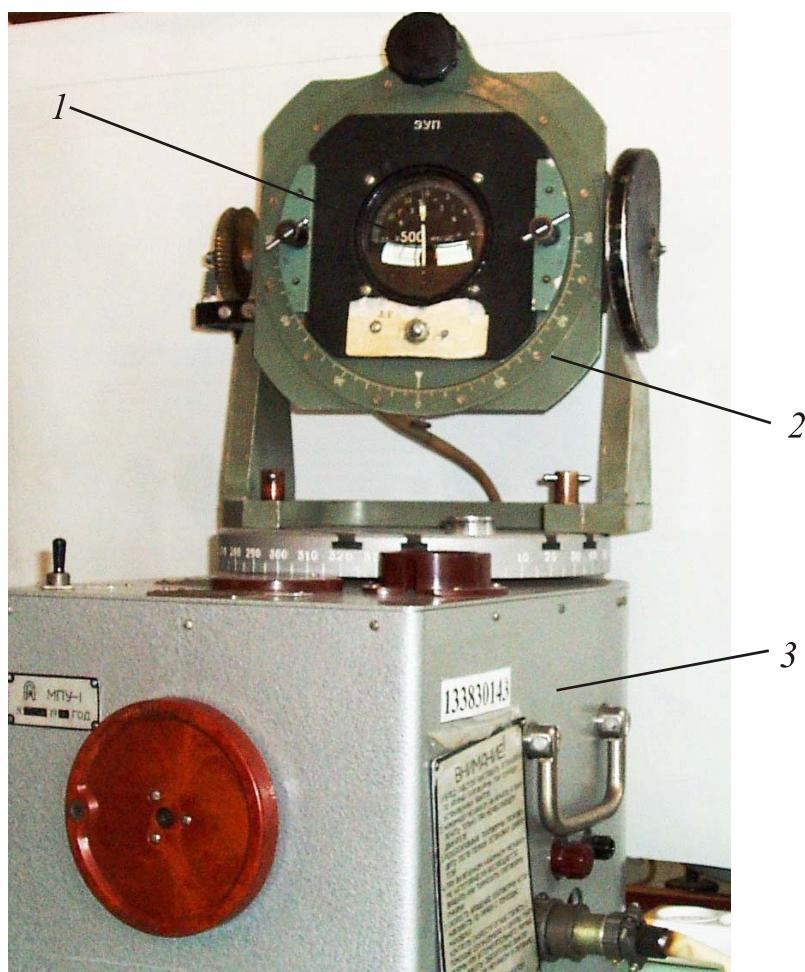


Рис. 10.6. Лабораторна установка: 1- макет інтегруючого гіроскопа; 2 – кронштейн; 3 – поворотна установка МПУ-1.

Макет інтегруючого гіроскопа 1 встановлений на кронштейні 2, що дозволяє розвертати прилад на необхідні кути крену і тангажа. Кронштейн змонтований на поворотному столі МПУ-1 3. Кути повороту столу МПУ-1 контролюються за шкалою точного відліку з ціною поділки  $0,5^\circ$ .

У корпусі приладу просвердлений отвір А, через який забезпечується доступ до регулювального гвинта пневматичного демпфера.

#### **10.4. Порядок проведення роботи**

10.4.1. Встановити макет ІГ на кронштейн поворотної установки.

10.4.2. Встановити регулювальний гвинт демпфера у вихідне положення. Для цього розвернути прилад навколо поздовжньої осі на кут, необхідний для вільного доступу до отвору в корпусі і за допомогою викрутки повернути гвинт за годинниковою стрілкою до упору.

10.4.3. Встановити вісь чутливості приладу у вертикальне положення. Повертаючи вручну стіл поворотної установки проти годинникової стрілки домогтися повороту стрілки приладу в крайнє положення (червона риска на шкалі). Зафіксувати за шкалою точного відліку кут повороту стола. Визначити коефіцієнт передачі приладу. Повторити дослід, повертаючи стіл за годинниковою стрілкою.

10.4.4. Послідовно вигвинчуючи регулювальний гвинт на чверть обороту повторити п.п. 2 і 3.

10.4.5. Побудувати графік залежності коефіцієнта передачі приладу від коефіцієнта демпфування.

10.4.6. Встановити максимальне значення коефіцієнта демпфування. Потім, використовуючи методику п. 4. визначити коефіцієнт передачі приладу послідовно повертаючи корпус приладу відносно поздовжньої осі на кути  $30^\circ$ ,  $45^\circ$  и  $60^\circ$ .

10.4.7. Використовуючи отримані результати, побудувати залежність коефіцієнта передачі приладу від величини кінетичного моменту.

#### **10.5 Зміст звіту**

У звіті повинні бути представлені результати експериментального дослідження макета інтегруючого гіроскопа у вигляді графіків і таблиць, а також кінематична схема лабораторної установки.

## **10.6 Контрольні питання**

1. Які основні переваги гідростатичного підвісу?
2. Чому кут повороту рухомої частини ІГ обмежений малими кутами?
3. Яка залежність між коефіцієнтом передачі приладу і його постійною часу?
4. Які переваги ІГ як вимірника кутів повороту в порівнянні з астатичним гіроскопом?
5. Які вимоги пред'являються до демпфера інтегруючого гіроскопа?
6. Для чого в ІГ використовується датчик моментів?

## **10.7. Література**

1. Одинцов А.А. Теория и расчет гироскопических приборов. -Киев: Вища шк., 1985. - 392 с.