

ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНСТВО ВОЗДУШНОГО РАИСПОРТА
ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ
ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
«МОСКОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ ГРАЖДАНСКОЙ АВИАЦИИ»

Кафедра технической эксплуатации авиационных электросистем
и пилотажно-навигационных комплексов

Ю.С.Соловьёв

АВИАЦИОННОЕ ПРИБОРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
Пособие к лабораторной работе
«ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА УГЛОВЫХ
СКОРОСТЕЙ ДУСУ»

для студентов 5 курса
специальности 160903
всех форм обучения

Москва-2011

Рецензент канд. техн. наук, проф. **Глухов В.В.**

Соловьев Ю.С.

Авиационное приборное оборудование: Пособие к лабораторной работе «Исследование характеристик датчика угловых ДУСУ». – М.: МГТУГА, 2011, – 17 с.

Данное пособие издается в соответствии с рабочей программой учебной дисциплины ДС.01.04. «Авиационное приборное оборудование» по Учебному плану специальности 160903 для студентов 5 курса всех форм обучения.

Рассмотрено и одобрено на заседаниях кафедры 9.09.2010 г. и методического совета 5.10.2010 г.

Лабораторная работа

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ДАТЧИКА УГЛОВЫХ СКОРОСТЕЙ ДУСУ

Целью лабораторной работы является изучение принципа действия и конструкции датчика угловых скоростей унифицированного ДУСУ, а также экспериментальное исследование его основных характеристик.

1. Назначение и устройство датчика угловых скоростей унифицированного ДУСУ.

1.1. Назначение и условия эксплуатации ДУСУ

Датчик угловых скоростей унифицированный (ДУСУ) предназначен для выдачи электрического сигнала, пропорционального угловой скорости вращения воздушного судна (ВС) вокруг одной из его осей. Диапазон измеряемой угловой скорости от ± 6 до $\pm 600^\circ/\text{сек}$.

Условия эксплуатации:

- температура окружающей среды от -60 до $+60^\circ\text{C}$;
- относительная влажность воздуха до 98 % при температуре $+40^\circ\text{C}$;
- датчик выдерживает действие линейных ускорений $35g$ в 3-х взаимно-перпендикулярных направлениях осей.

Выходной сигнал при действии линейных ускорений должен быть не более 0,8 В при напряжениях питания потенциометра 27 В для датчиков с диапазонами измерения $\pm 6^\circ/\text{сек}$, $\pm 12^\circ/\text{сек}$, $\pm 18^\circ/\text{сек}$ и не более 0,6 В для датчиков остальных диапазонов измерения.

1.2. Основные технические характеристики ДУСУ

Электропитание датчика:

1. Напряжение на потенциометр от источника постоянного тока 5 – 30 В.
2. Напряжение от источника переменного 3-х фазного тока на гиromотор $36 \pm 3,6$ В.
3. Частота переменного тока на гиromотор 400 ± 8 Гц.
4. Потребляемый переменный ток на фазу не более 0,3 А.
5. Порог чувствительности датчика для диапазона измерения угловых скоростей $\pm 6^\circ/\text{сек}$ должен быть не более $-0,09^\circ/\text{сек}$.
6. При питании постоянным током напряжением 27 В потенциометра и моментного датчика выходной сигнал датчика для диапазона измерения $\pm 6^\circ/\text{сек}$ должен быть: 9,0– 1,0 В.

7. Зависимость выходного сигнала $U_{\text{вых}}$ от угловой скорости при номинальном режиме питания датчика постоянным током напряжением 27 В и номинальной частоте и напряжении переменного тока соответствует табл. 1.1.

Таблица 1.1.

Диапазон датчика ($^{\circ}/\text{сек.}$)	Выходной сигнал (в вольтах) при действии угловых скоростей (в $^{\circ}/\text{сек.}$)					
		$2,25 \pm 0,25\text{В}$	$4,5 \pm 0,3\text{В}$	$6,75 \pm 0,4\text{В}$	$9,0 \pm 0,55\text{В}$	$13,5-0,7\text{В}$
± 6	1	2	3	4	6	18

8. Выходной сигнал $U_{\text{вых}}$, выраженный в вольтах, пересчитывается в величину относительного сопротивления $R\%$ при съеме сигнала с контактов 1-6 (рис.1.8) по формулам:

$$R\% = 50 - \left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{пит}}} \right) \cdot 100 \quad (1.1)$$

при вращении датчика по часовой стрелке со стороны индекса \curvearrowright

$$R\% = 50 + \left(\frac{U_{\text{вых}}}{U_{\text{пит}}} \right) \cdot 100 \quad (1.2)$$

при вращении датчика против часовой стрелки со стороны индекса \curvearrowleft
где: $U_{\text{пит}}$ – напряжение питания потенциометра.

9. Время готовности датчика к работе должно быть не более 50 сек.

10. Масса датчика не более 0.45 кг.

1.3. Принцип действия ДУСУ

Принцип действия ДУСУ основан на свойстве гироскопа с двумя степенями свободы совмещать вектор кинетического момента гироскопа H с вектором угловой скорости вынужденного вращения ω_v , направленным перпендикулярно плоскости рамки гироскопа.

Схема гироскопа представлена на рис.1.1. Оси OX , OY , OZ взаимно перпендикулярны. OX – ось вращения рамки гироскопа (выходная ось прибора), OY – ось вращения гироскопа (ось собственного вращения ротора гиromотора), OZ – ось, относительно которой измеряется угловая скорость ω_v (измерительная ось прибора).

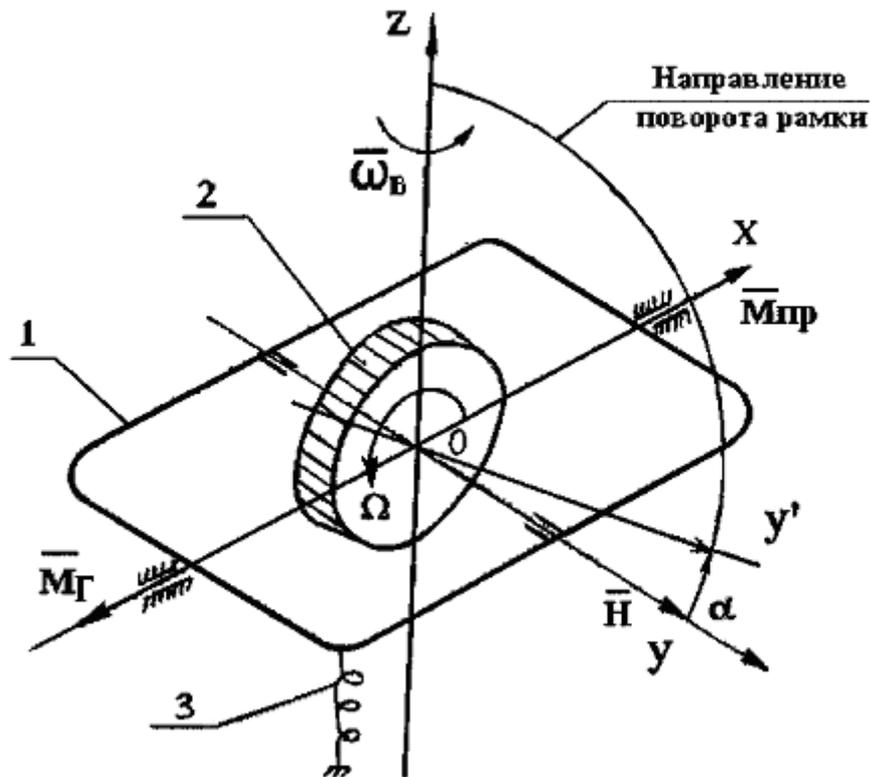


Рис.1.1

1 – рамка; 2 – ротор; 3 – пружина; $\mathbf{H} = \mathbf{J} \cdot \boldsymbol{\Omega}$ — вектор кинетического момента гироскопа; \mathbf{J} – осевой момент инерции ротора гироскопа; $\boldsymbol{\Omega}$ – частота вращения ротора гироскопа; $\boldsymbol{\omega}_v$ – вектор измеряемой угловой скорости (угловой скорости вынужденного вращения); \mathbf{M}_g – вектор гироскопического момента; $\mathbf{M}_{пр}$ – вектор момента пружины.

Если рамку гироскопа с двумя степенями свободы вращать с угловой скоростью $\boldsymbol{\omega}_v$, то на рамку будет действовать гироскопический момент \mathbf{M}_g , который стремится совместить вектор кинетического момента \mathbf{H} с вектором угловой скорости вынужденного вращения.

Вектор гироскопического момента \mathbf{M}_g направлен в отрицательную сторону оси Ox , а величина пропорциональна угловой скорости $\boldsymbol{\omega}_v$ и определяется соотношением

$$M_g = H \cdot \omega_v \quad (1.3)$$

Под действием гироскопического момента \mathbf{M}_g рамка гироскопа будет поворачиваться вокруг оси Ox в направлении, указанном стрелкой (рис.1.1).

Вращению рамки вокруг оси Ox противодействует пружина, которая создает момент $\mathbf{M}_{пр}$, пропорциональный углу α отклонения рамки от начального положения, т.е.

$$M_{пр} = C_{пр} \cdot \alpha \quad (1.4)$$

где $C_{пр}$ – жесткость пружины.

Когда противодействующий момент пружины станет равным гироскопическому, т. е. $M_{пр} = M_{г}$, вращение рамки прекратится. Так как противодействующий момент $M_{пр}$ пропорционален углу поворота рамки α , а гироскопический момент $M_{г}$ пропорционален угловой скорости $\omega_{в}$, то угол поворота рамки α пропорционален угловой скорости $\omega_{в}$. Следовательно, угловую скорость $\omega_{в}$ можно определить замеряя угол отклонения рамки α , т.е.

$$\alpha = \frac{H}{C_{пр}} \cdot \omega_{в} \quad (1.5)$$

В датчике ДУСУ угол отклонения рамки передаточным механизмом и потенциометром преобразуется в электрический сигнал, пропорциональный угловой скорости, т.е.

$$U_{вых} = \frac{(K_{пот} \cdot H) \cdot \alpha}{C_{пр}}$$

где $K_{пот}$ – коэффициент передачи потенциометра.

1.4. Конструкция датчика угловых скоростей унифицированного

Датчик ДУСУ состоит из следующих основных узлов:

- а) гиروزел;
- б) передаточный механизм;
- в) демпфер;
- г) моментный датчик;
- д) сильфон.

Назначение, принцип работы и конструкция основных узлов

Гиروزел — чувствительный элемент датчика. Устройство гиروزла показано на рис.1.2.

Стакан поз. 1 и дно поз. 6 образуют бачок с цапфами для подшипников, на которых может поворачиваться гиروزел.

Внутри дна накладками поз. 4, винтами поз. 5, и втулками поз. 3 закрепляется гиromотор поз. 2, после чего дно и стакан герметично запаиваются. К стакану приклеен ротор демпфера поз. 8. На ось дна посажен магнит поз. 11 моментного датчика прибора и привернут палец поз. 7.

Для уменьшения вентиляционных потерь гиromотора и улучшения теплоотвода внутренняя полость гиروزла заполнена водородом через трубку поз. 10. Трубка после заполнения запаивается.

Электрическое напряжение к гиromотору подается через 3 проводника поз. 12, расположенных в сверлении цапфы дна. Проводники припаяны к гермовводам поз. 13. Изнутри гиروزла к гермовводам припаяны провода

гиромотра.

Гироузел балансируется относительно оси ОХ винтами поз. 9, ввертываемыми в лопасти ротора демпфера.

Гиромотор предназначен для создания кинетического момента Н. В приборах ДУСУ применяются асинхронные или синхронные гиромоторы.

Асинхронный гиромотор представляет трехфазный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. При подаче напряжения на обмотку статора в ней возникает вращающееся магнитное поле, которое наводит в короткозамкнутом роторе ЭДС. Под действием ЭДС в роторе протекает ток. Взаимодействие вращающегося магнитного поля статора с током ротора создает вращающий момент ротора. Под действием этого момента ротор вращается в направлении вращения магнитного потока.

Конструкция асинхронного гиромотора представлена на рис.1.3. Неподвижная часть гиромотора – статор представляет набор тонких пластин из электротехнической стали, склеенных в пакет статора поз. 11. В пакет статора запрессованы втулки поз. 2 с гнездами для подшипников. Во втулки вставлена ось поз. 1. Пакет статора имеет 12 пазов, в которые уложена обмотка статора. Электрическое напряжение подводится к обмотке статора гибкими проводами поз. 10, расположенными в оси.

Ротор гиромотора состоит из обода поз. 4, выполненного из тяжелого сплава. Пакет железа поз. 12 набран из пластин тонкой электротехнической стали. В пакете имеются пазы. Пазы и торцы пакета залиты алюминиевым сплавом, образующим короткозамкнутый ротор «беличью клетку» поз. 13. Пакет железа с «беличьей клеткой» завальцован в обойму поз. 8 и запрессован в обод.

Фланцы ротора поз. 6 крепятся к обойме поз. 8 винтами поз. 5. Подбором прокладок поз. 3 устанавливается осевая нагрузка на подшипники. Ротор вращается на подшипниках поз. 9.

Синхронный гиромотор представляет трехфазный гистерезисный двигатель. Принцип работы заключается в следующем. При подаче напряжения на обмотку статора в ней возникает вращающееся магнитное поле. В первоначальный момент магнитное поле статора создает в роторе магнитный поток, направление которого совпадает с направлением поля статора, при этом полюса ротора точно располагаются над полюсами статора. Так как материал ротора обладает гистерезисом, то при дальнейшем вращении магнитного поля статора появляется угол рассогласования между осями полюсов ротора и статора. Возникает пара сил, стремящихся уменьшить этот угол и совместить оси полюсов. Эти силы создают на валу ротора электромагнитный момент, величина которого пропорциональна углу рассогласования, а направление совпадает с направлением вращения магнитного поля статора. Под действием электромагнитного момента ротор гиромотора начинает вращаться, входит в синхронизм и в дальнейшем вращается с постоянным числом оборотов, равным числу оборотов магнитного поля статора.

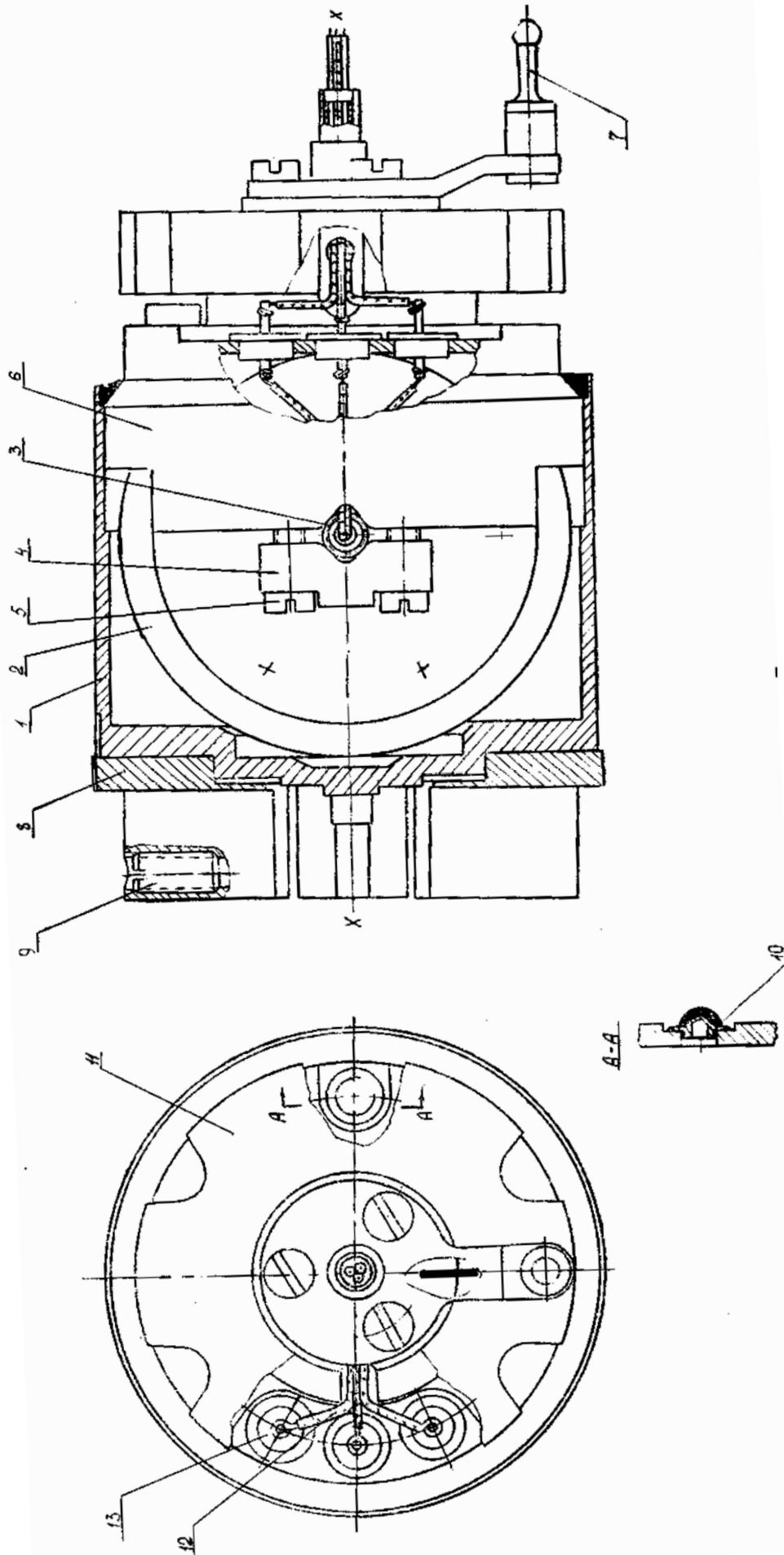


Рис.1.2. Гироузел.

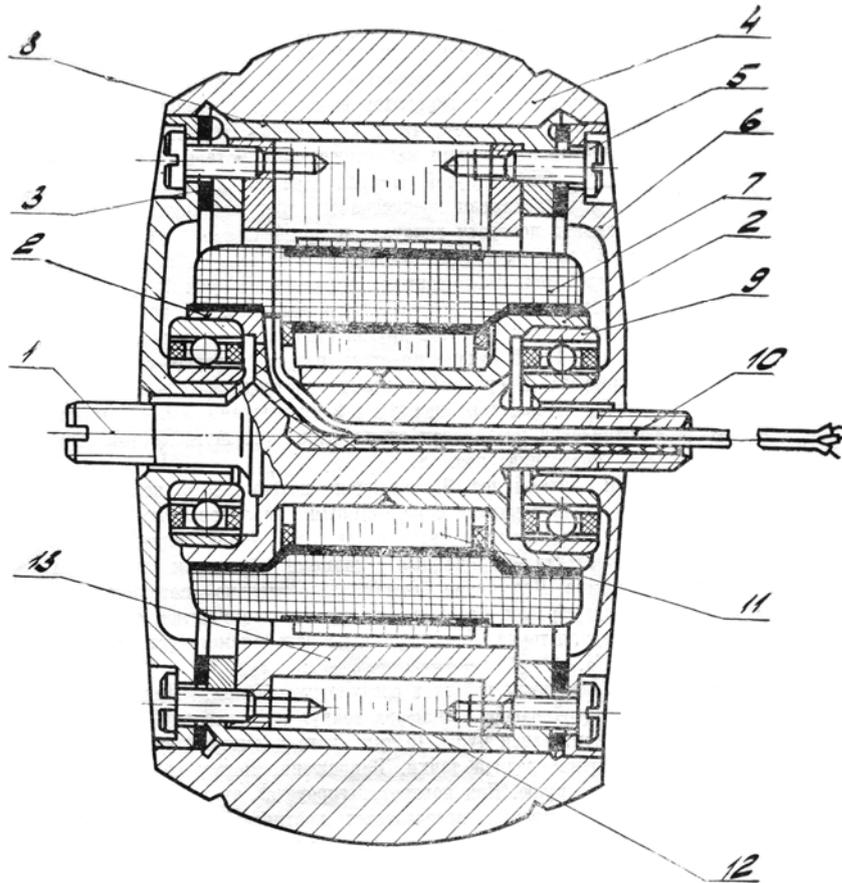


Рис. 1.3. Гиromотор

1 - ось статора; 2 – втулка; 3 – прокладки; 4 - обод ротора; 5 – винт; 6 - фланец ротора; 7 - обмотка статора; 8 – обойма; 9 - шарикоподшипник; 10 - провода выводные; 11 - пакет железа статора; 12 - пакет железа ротора; 13 - короткозамкнутый ротор.

Конструктивно синхронный гиromотор выполняется аналогично асинхронному. Отличие состоит в том, что в синхронном гиromоторе пакет пластин ротора набран из пластин магнито жесткого материала «Викаллой» и не имеет короткозамкнутой обмотки «белычья клетка».

Передачный механизм предназначен для создания противодействующего момента повороту гиromотора и преобразования угла поворота гиromотора в электрический сигнал.

Устройство передачного механизма показано на рис.1.4.

К основанию поз. 5 привернуты 2 плоские пружины поз. 7, расположенные под углом 90° друг к другу. С другой стороны к пружинам прикреплен сухарь поз. 11. В сухаре имеется паз, в который с зазором входит палец гиromотора. К сухарю привернут щеткодержатель поз. 12, на котором закреплена пластина поз. 10 с 2-мя щетками поз. 1. Щеткодержатель электрически изолирован от пластины со щетками. К пластине припаян проводник поз. 8.

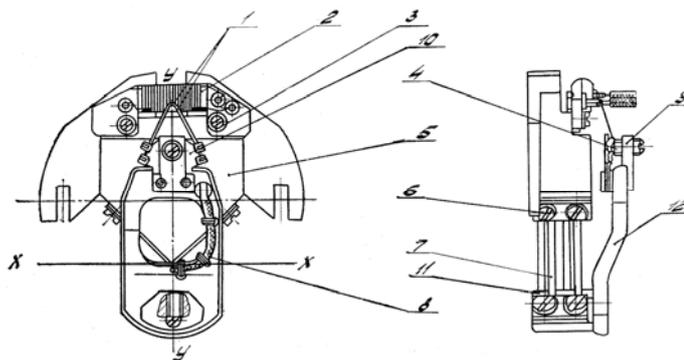


Рис. 1.4. Передаточный механизм

- 1 - щетки; 2 – потенциометр; 3 – винт; 4 - винт регулировочный;
 5 – основание; 6 – винт; 7 – пружина; 8 – проводник; 9 – прокладка; 10 –
 пластина; 11 – сухарь; 12 - щеткодержатель.

На основании винтами поз. 3 закреплен потенциометр поз. 2. Потенциометр представляет каркас с намотанным эмалированным проводом. В месте контакта потенциометра со щетками эмаль снята. На каркас вклеены 3 контакта, соединенные с концами катушки и средней точкой потенциометра. Положение щеток относительно потенциометра регулируется таким образом, чтобы щетки касались того витка, от которого выведена средняя точка. Натяг щеток на потенциометр устанавливается винтом поз. 4.

Передаточный механизм работает следующим образом. При отсутствии угловой скорости вращения прибора вокруг измерительной оси гироскопический момент равен нулю. Щетки потенциометра удерживаются пружинами против средней точки. Напряжение между средней точкой и щеткой равно нулю. При повороте гироузла от действия угловой скорости палец гироузла преодолевает противодействие пружин и поворачивает сухарь около центра, проходящего через линию пересечения пружин. Поворачиваясь вместе с сухарем, щетки перемещаются по катушке потенциометра. Жесткость пружин подобрана такой, что при угловой скорости, равной диапазону измерения, гироскопический момент уравнивается пружинами, когда щетка дойдет до края катушки потенциометра. Напряжение при этом между щеткой и средней точкой равно половине напряжения питания потенциометра. Следовательно, при изменении угловой скорости от нуля до величины, равной диапазону измерения прибора, выходной сигнал, снимаемый со щетки и средней точки, изменяется от нуля до половины напряжения питания потенциометра.

Демпфер

Демпфер предназначен для успокоения колебаний гироузла и поддержания их постоянными во всем диапазоне температур. Устройство демпфера изображено на рис. 1.5.

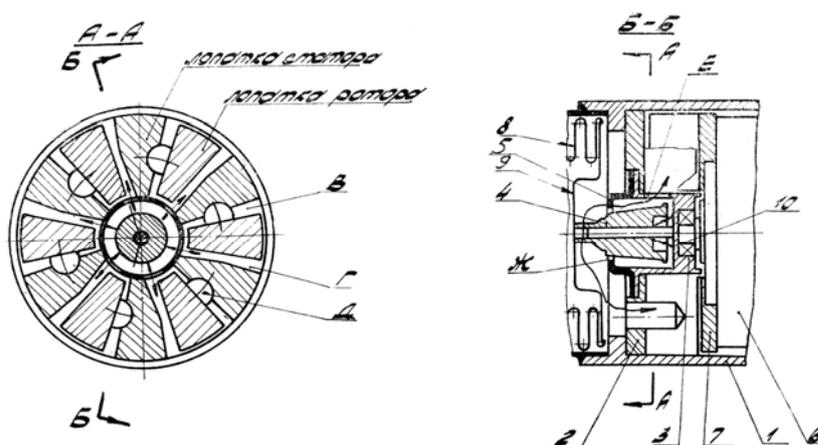


Рис.1.5. Демпфер

1 – корпус; 2 – статор; 3 – втулка; 4 – конус; 5 – диафрагма;
6 –гироузел; 7 – ротор; 8 – сильфон; 9 – дно; 10 - пружина

В корпусе поз. 1 привернут без зазора по наружному диаметру статор поз. 2. В расточку статора без зазора вставлена втулка поз. 3. Внутри втулки по направляющей может перемещаться конус поз. 4. К втулке привернута диафрагма поз. 5.

На гиروزел поз. 6 прикреплен ротор поз. 7. Ротор не касается втулки и корпуса. Статор и ротор представляют диски с шестью лопатками на каждом. Высота лопаток статора и ротора одинакова. Лопатки ротора входят во впадины между лопатками статора с зазором по торцу.

В пространстве, ограниченном лопатками статора и лопатками ротора, корпусом и втулкой, образуется шесть полостей «В» и шесть полостей «Г».

Полости «В» и «Г» соединены между собой зазорами и отверстиями «Е» во втулке, кольцевой щелью «Ж» и отверстиями «Д».

Демпфер работает следующим образом. При повороте гиروزла поворачиваются лопатки ротора. Жидкость из полостей «Г» должна перейти в полости «В» или наоборот, в зависимости от направления поворота гиروزла.

Часть жидкости переходит через зазоры, другая часть через отверстия «Е», кольцевую щель «Ж» и отверстие «Д».

Как известно, вязкость жидкости с изменением температуры меняется.

Изменение вязкости жидкости компенсируется изменением сечения кольцевой щели «Ж». При повышении температуры дно поз. 9 перемещается влево, пружина поз. 10 давит на конус и перемещает его вслед за дном. Сечение «Ж» при этом уменьшается. При понижении температуры дно поз. 9, преодолевая сопротивление пружины поз. 10, перемещает конус вправо. Сечение «Ж» увеличивается.

Профиль конуса подобран такой, чтобы во всем диапазоне температур затухание колебаний гиروزла находилось в заданных пределах.

Моментный датчик предназначен для поворота гиروزла при проверках функционирования прибора. Моментный датчик изображен на рис.1.6.

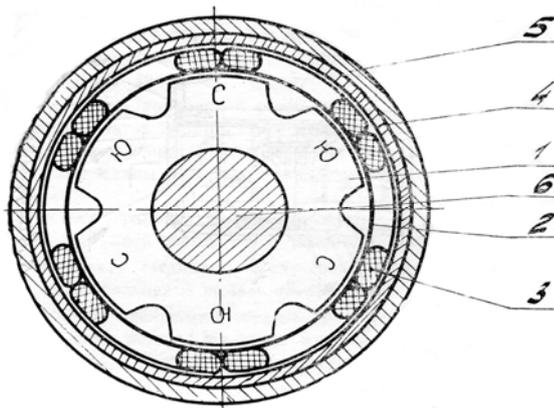


Рис.1.6. Моментный датчик

1 – магнит; 2 – каркас; 3 – катушка; 4 – магнитопровод;
5 - корпус прибора; 6 - ось гироузла

Конструктивно состоит из 6-ти полюсного постоянного магнита поз. 1, узла катушек и магнитопровода поз. 4. Магнит приклеен на оси гироузла поз. 6 и может поворачиваться вместе с ним.

Узел катушек крепится неподвижно относительно корпуса поз. 5, состоит из каркаса поз. 2 с приклеенными к нему 6-ю катушками поз. 3, Катушки электрически соединены между собой. Магнитопровод поз. 4 имеет вид кольца, вклеенного в корпус поз. 5.

Работа моментного датчика основана на свойстве проводника с током взаимодействовать с внешним магнитным полем.

При пропускании электрического тока через катушки магнит и вместе с ним гироузел поворачиваются на некоторый угол. При изменении направления тока в катушках изменяется и направление поворота магнита с гироузлом.

Сильфон предназначен для компенсации изменения объема жидкости, залитой внутрь прибора и перемещения конуса демпфера.

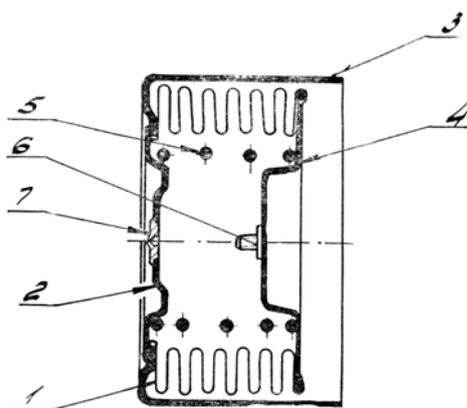


Рис.1.7 Сильфон

1 – сильфон; 2 – дно; 3 – крышка; 4 – дно; 5 – пружина;
6 – винт; 7 - трубка

Устройство сиффона показано на рис.1.7. Сиффон поз. 1 развальцован, а затем герметично запаян с дном поз. 2 в крышку поз. 3. Внутри сиффона герметично впаяно дно поз. 4. Пружина поз. 5 находится в частично сжатом состоянии.

Винт поз. 6 технологический и служит для установки сиффона в определенное положение при заполнении прибора жидкостью. После заполнения прибора трубка поз. 7 герметично запаивается. Оставшийся внутри сиффона воздух действует как дополнительная пружина.

Работает сиффон следующим образом. При нормальной температуре гофры сиффона находятся в нейтральном положении. Если температура прибора стала больше нормальной, объем жидкости увеличивается.

Гофры сжимаются, дно поз. 4 перемещается влево. Пружина и воздух, находящийся внутри сиффона, сжимаются.

Если температура прибора стала меньше нормальной, объем жидкости уменьшается. Сиффон под действием пружины и давления воздуха, находящегося внутри него, растягивается. Дно поз. 4 перемещается вправо.

1.5 Принципиальная электрическая схема ДУСУ

Принципиальная электрическая схема ДУСУ представлена на рис. 1.8. Номера контактов на схеме соответствуют номерам штырей штепсельного разъема прибора ДУСУ-1 или номерам контактов на крышке прибора ДУСУ-2.

Потенциометр и моментный датчик подключаются к источнику постоянного тока.

Сигнал, пропорциональный угловой скорости, снимается со щетки и средней точки потенциометра.

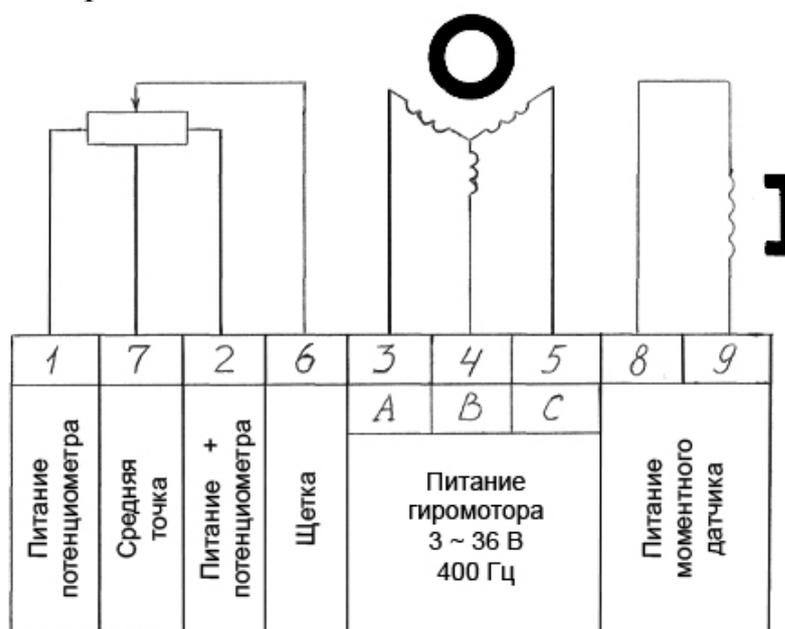


Рис.1.8. Схема принципиальная электрическая ДУСУ.

3.2. Определение дрейфа нуля

Переключатель S7 поставить в положение «Точно 1,25В». Поочередно подключая с помощью переключателя S6 ДУСУ №1,2,3 к вольтметру V2 замерить величину выходного сигнала соответствующего ДУСУ и занести результаты в таблицу 3.2.

Таблица 3.2.

	U _{др} , В
ДУСУ №1	
ДУСУ №2	
ДУСУ №3	

Величина дрейфа нуля не должна превышать 0.1 В.

3.3. Снятие статической характеристики

Переключатель S7 поставить в положение «Грубо – 25В». Устанавливая на УПГ-48 с помощью рукоятки регулирования оборотов значения угловой скорости ω , указанные в таблице 3.3, замерить величину выходного напряжения U_{вых} по вольтметру V2 для каждого ДУСУ №1,2,3.

Таблица 3.3.

Угловая скорость ω , °/сек		+6	+5	+4	+3	+2	+1	0	-1	-2	-3	-4	-5	-6
U _{вых} , В	ДУСУ №1													
	ДУСУ №2													
	ДУСУ №3													

По данным таблицы 3.3 построить графики статических характеристик U_{вых} = f(ω) для трех ДУСУ на одном рисунке.

3.4. Проверка работоспособности ДУСУ с помощью встроенного контроля (моментных датчиков)

Убедится, что переключатель S7 в положении «грубо 25В». Поочередно устанавливать переключатель S6 в положение №1,2,3 и подавать питание на соответствующие моментные датчики, включая поочередно выключатели S1, S2, S3 и замерять выходное напряжение соответствующего ДУСУ. Результаты измерения занести в таблицу 3.4.

Таблица 3.4

	$U_{\text{ВЫХ}}, \text{ В}$
ДУСУ №1	
ДУСУ №2	
ДУСУ №3	

4. Требования, предъявляемые к отчету

Отчет по лабораторной работе должен содержать:

1. Название лабораторной работы.
2. Цель лабораторной работы.
3. Основные технические характеристики ДУСУ.
4. Таблицы и графики, указанные в разделе 3.
5. Выводы по проделанной работе.

5. Контрольные вопросы

1. Назначение датчика угловых скоростей.
2. Основные технические характеристики ДУСУ.
3. Принцип действия ДУСУ.
4. Основные погрешности ДУСУ.
5. Состав лабораторного стенда.
6. Назначение коммутационной и контрольно-проверочной аппаратуры.
7. Методика выполнения экспериментальной части лабораторной работы.

Литература

1. **Воробьев В.Г. и др.** Авиационные приборы, информационно-измерительные системы и комплексы: Учеб. для вузов / Под ред. В.Г. Воробьева. – М.: Транспорт, 1992. – 399 с.

2. Техническое описание и инструкция по эксплуатации датчиков угловых скоростей унифицированных ДУСУ. 6ШО.278.003.ТО

Содержание

1. Назначение и устройство датчика угловых скоростей унифицированного ДУСУ	3
1.1. Назначение и условия эксплуатации ДУСУ	3
1.2. Основные технические характеристики ДУСУ	3
1.3. Принцип действия ДУСУ	4
1.4. Конструкция датчика угловых скоростей унифицированного.....	6
1.5. Принципиальная электрическая схема ДУСУ.....	13
2. Описание лабораторной установки.....	14
3. Порядок выполнения лабораторной работы.....	14
3.1. Определение ампер-секундной характеристики.....	14
3.2. Определение дрейфа нуля.....	15
3.3. Снятие статической характеристики	15
3.4. Проверка работоспособности ДУСУ с помощью встроенного контроля (моментных датчиков)	15
4. Требования, предъявляемые к отчёту	16
5. Контрольные вопросы	16
Литература.....	16