

**Московский ордена Ленина, ордена Октябрьской Революции  
и ордена Трудового Красного Знамени  
государственный технический университет им. Н.Э. Баумана**

---

Кулешов А.В., Подчерцев В.П., Фатеев В.В.

## **МЕТОДИЧЕСКИЕ УКАЗАНИЯ**

**к лабораторной работе по курсу  
«Гирскопические приборы и системы ориентации»**

**Динамически настраиваемый гироскоп**

**Цель работы** - ознакомление с принципом работы, конструкцией динамически настраиваемого гироскопа ГВК-3, определение его основных характеристик.

**Назначение прибора** – использование в качестве чувствительного элемента индикаторного гиросtabilизатора.

В настоящее время динамически настраиваемые гироскопы получили широкое распространение в качестве чувствительных элементов индикаторных гиросtabilизаторов в основном благодаря своей относительно невысокой стоимости и относительно простой технологии изготовления по сравнению с поплавковыми приборами. При этом они имеют малые габариты, массу и достаточно высокую точность, позволяющую применять их в качестве чувствительных элементов в стабилизаторах инерциальных навигационных систем.

Динамически настраиваемый вибрационный гироскоп (рис.1) представляет собой трехстепенной гироскоп с вращающимся внутренним упругим кардановым подвесом. В отличие от трехстепенного гироскопа с наружным кардановым подвесом двигатель ДНГ расположен на корпусе прибора. Упругий подвес ДНГ обеспечивает кинематическую связь ротора с двигателем по оси собственного вращения и две степени свободы углового движения относительно вала двигателя.

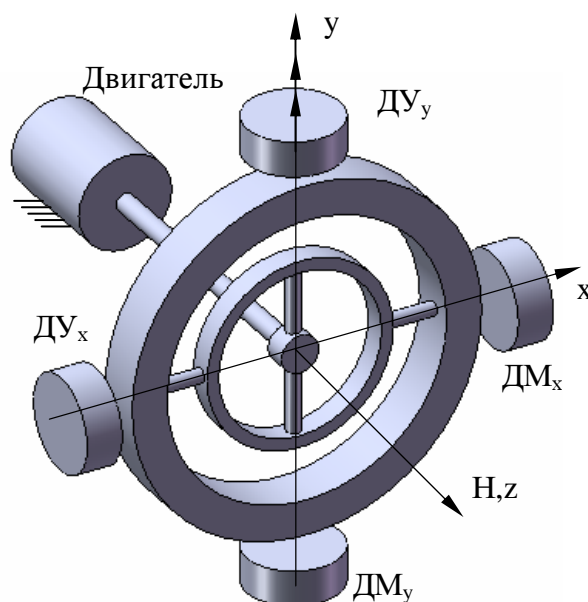


Рис.1. Кинематическая схема ДНГ  
1 - ротор ДНГ, 2 - наружные торсионы, 3 - кольцо,  
4 - внутренние торсионы, ДУ – датчики угла, ДМ – датчики момента

Применение в ДНГ упругого карданова подвеса исключает сухое трение в опорах подвеса, что повышает его точность.

При вращении ротора с подвесом упругие моменты подвеса компенсируются центробежными инерционными моментами кольца, что приближает ДНГ к свободному гироскопу. Эта компенсация обеспечивается при определенной скорости собственного вращения гироскопа и поэтому называется динамической.

Угловое положение ротора ДНГ относительно корпуса измеряют с помощью двух датчиков угла. В индикаторных гиростабилизаторах выходные сигналы с датчиков углов поворота ротора ДНГ относительно корпуса пропорциональны углам поворота стабилизированной платформы в абсолютном пространстве.

Создание управляющих моментов в ДНГ осуществляется с помощью двух датчиков момента, по одному на каждой оси чувствительности.

### **Конструкция ГВК-3**

Основными элементами ГВК-3 являются (рис. 2): ротор гироскопа 10, карданов подвес с упругими торсионами 6 и элементами регулировки 8 и 9, датчик угла 1, датчик момента, состоящий из статора 4, магнита 5 и магнитопровода 3, симметрично расположенный привод обращенного типа 12, шарикоподшипниковые опоры 2, кольцо карданова подвеса 7 и герметизированный корпус 11.

В качестве двигателя применен синхронный гистерезисный двигатель, питание которого осуществляется от статического преобразователя, имеющего высокую стабильность частоты. Благодаря этому обеспечивается высокая стабильность скорости собственного вращения ротора ДНГ ГВК-3. При симметричной схеме расположения электродвигателей уменьшается изменение постоянной составляющей собственной скорости прецессии (ССП) при изменении температуры окружающей среды. Однако технологически обеспечить симметрию конструкции трудно, кроме того, статоры электродвигателей (источники тепла) расположены близко к ротору, что отрицательно сказывается на компенсации температурных погрешностей.

В качестве шарикоподшипниковых опор используют радиально-упорные шарикоподшипники. Наружные кольца, вращающиеся вместе с ротором, фиксируются

пружинными шайбами, обеспечивающими требуемый натяг, равный 10 Н. При монтаже опоры используют клей ВК9. Стяжка корпусных крышек обеспечивает стабильность осевого натяга.

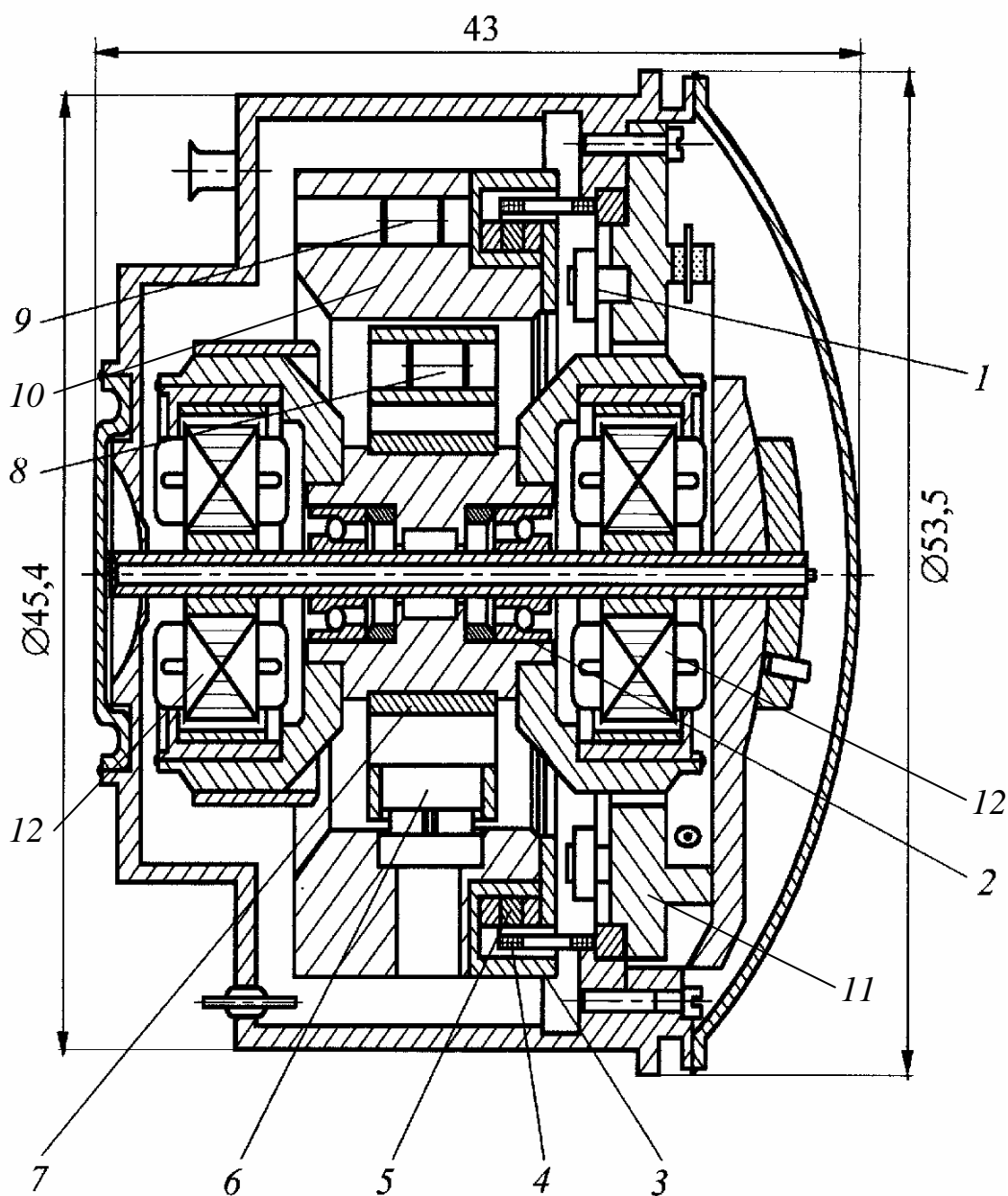


Рис. 2. Конструкция ГVK-3

В первых образцах ДНГ типа ГVK-3 в качестве упругих торсионов применялась сборная конструкция: два упругих элемента П-образной формы фиксировались с помощью лазерной сварки или клея. Вследствие погрешностей установки элементов, влияния температуры окружающей среды и т. д. имели место значительные технологические погрешности - неперпендикулярность плоскостей упругих элементов, несовпадение осей опоры и карданова подвеса, неперпендикулярность и непе-

ресечение осей подвеса и др. Все это приводило к смещению центров масс кольца и ротора, появлению дополнительных начальных упругих моментов и других возмущающих моментов, которые увеличивали дрейф гироскопа.

В настоящее время используется монолитная опора (рис.3), элементы которой также работают на изгиб. Упругие элементы изготавливают путем сверления в заготовке (с последующей доводкой) двух пар отверстий, у которых линии, соединяющие центры каждой пары отверстий и лежащие в одной плоскости, взаимно перпендикулярны. Такая конструкция достаточно технологична и позволяет выполнить жесткие требования по ее геометрии. Несущая способность опоры 60...80 Н. Кольцо прибора выполнено из титана и обеспечивает высокую жесткость конструкции.

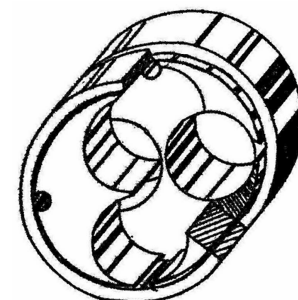


Рис.3. Монолитная опора ДНГ

Угловая жесткость упругого элемента 0,02 Н·м/рад. Ротор имеет упругий упор, ограничивающий угловые отклонения ротора ДНГ. Зазор 0,01÷0,02 мм между посадочным отверстием в шарикоподшипнике и хвостовиком заполняется клеем ВК-9. Такая конструкция позволяет вести сборку поэлементно в следующей последовательности: 1. узел карданова подвеса, включающий ротор, кардановое кольцо, клеенные упругие опоры и кольцо 8 вала; 2. шарикоподшипниковая опора вала; 3. крышка со статорами 9 ДУ и 2 ДМ.

Опоры клеиваются в кольцо и ротор с зазором 0,01÷0,02 мм.

Датчик угла (ДУ) трансформаторного типа с частотой питающего напряжения 48 кГц состоит из двух диаметрально расположенных измерительных узлов, включенных по дифференциальной схеме. При отклонении ротора на выходе ДУ появляется сигнал, пропорциональный углу поворота. Магнитопровод ДУ выполнен из феррита. Положение осей чувствительности ДНГ определяется положением магнитопроводов ДУ, которые благодаря шлифовке точно фиксируются относительно базовых поверхностей на корпусе прибора.

Датчик момента - магнитоэлектрического типа. При протекании тока в катушке ДМ возникает сила взаимодействия катушки и магнитных полей постоянных магнитов ротора. Статор ДМ содержит 4 основные обмотки для создания управляющих

моментов и 2 дополнительные для выставки осей ДМ относительно осей чувствительности ДНГ.

#### Основные технические характеристики прибора

- габариты	Ø54x42 мм,
- вес	3 Н,
- кинетический момент	280 сН·см·с,
- угловая жесткость торсионов	200 сН·см/рад,
- постоянная времени	$T = 200$ с,
- частота вращения вала привода	187,5 Гц (угловая скорость 1178 1/с ),
- питание двигателя – двуполярные прямоугольные импульсы	11,7 В 375 Гц в рабочем режиме 20 В 375 Гц на форсаже (разгон менее 60 с)
- потребляемая мощность в рабочем режиме	2 Вт,
- нутационная частота	344 Гц,
- крутизна ДУ	2,5 мВ/угл.мин.
- крутизна ДМ	0,25 Н·м/мА,
- крутизна ДМ по скорости управления	18 °/ч/мА,
- максимальная угловая скорость управления	300 град/ч,
- нелинейность крутизны ДМ в диапазоне угловых скоростей управления $\pm 60$ град/ч	не более 0,1%,
- постоянная составляющая ССП, не зависящая от "g" $< 3$ °/ч,	
- постоянные составляющие ССП, зависящие от "g" :	
- от смещения ц.м. вдоль оси вращения	$< 1$ °/ч/g,
- от "квадратурного" момента	$< 5$ °/ч/g,
- постоянные составляющие ССП, зависящие от "g <sup>2</sup> "	0,15 °/ч/g <sup>2</sup> ,
- температурная чувствительность ССП	0,01 °/ч/°С,
- случайная составляющая ССП	$< 0,2$ °/ч.

## Методика определения характеристик ДНГ.

К основным характеристикам ДНГ следует отнести составляющие собственной скорости прецессии гироскопа.

Математическая модель собственной скорости прецессии ДНГ может быть представлена следующим образом:

$$\begin{pmatrix} \omega_{xp} \\ \omega_{yp} \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \omega_{xo} \\ \omega_{yo} \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} \omega^\tau & \omega^{\Delta f} \\ \omega^{\Delta f} & \omega^\tau \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} K_x & K_{xy} \\ K_{yx} & K_y \end{pmatrix} \begin{pmatrix} I_x \\ I_y \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} \omega_g & -\omega_{кв} \\ \omega_{кв} & \omega_g \end{pmatrix} \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix} - \omega_{нж} \cdot n_z \begin{pmatrix} n_x \\ n_y \end{pmatrix} \quad (1)$$

где  $\omega_p$  - скорость прецессии (ССП) ротора гироскопа,

$\omega_{xo}, \omega_{yo}$  – постоянные составляющие ССП,

$\omega^\tau$  - составляющая ССП, определяемая диссипативными моментами и характеризующая постоянную времени прецессии,

$\omega^f$  – составляющая ССП от динамической расстройки,

$\omega_g$  – составляющая ССП, зависящая от ускорения  $g$ ,

$\omega_{кв}$  - квадратурная составляющая ССП

$\omega_{нж}$  – составляющая ССП из-за неравножесткости конструкции

$K_x, K_y$  - крутизна датчиков моментов  $DM_x$  и  $DM_y$  по скорости управления,

$K_{xy}, K_{yx}$  – перекрестная крутизна ДМ по скорости управления,

$n_x, n_y, n_z$  – линейные перегрузки (в данной работе перегрузки равны 1).

Измерение собственной скорости прецессии ДНГ производится в режиме обратной связи по моменту (рис.4.). Для этого выходные сигналы датчиков угла  $DU_x, DU_y$  через усилители  $U_1$  и  $U_2$  подаются на соответствующие датчики момента  $DM_y, DM_x$ . В таком режиме измерения ротор ДНГ удерживается в почти неизменном положении относительно корпуса, а абсолютные угловые скорости ротора и корпуса равны. ДНГ при измерении собственной скорости прецессии в режиме обратной связи по моменту работает как датчик угловой скорости.

При вращении основания с угловой скоростью  $\omega_y$  сигнал с  $DU_y$ , пропорциональный углу  $\alpha$  поворота основания относительно сохраняющего в абсолютном

пространстве свое положение ротора гироскопа, через усилитель  $U_2$  поступает на датчик момента  $DM_x$ .

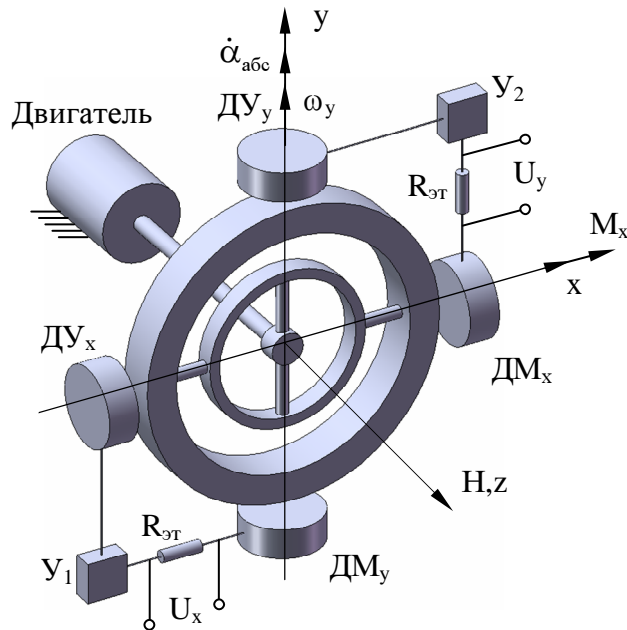


Рис.4. ДНГ в режиме ДУС

Датчик момента создает момент по оси  $x$ , равный  $M_{DMx} = K_{дy} K_y K_{дм} \alpha = K_{ос} \alpha$  (где  $K_{дy}$  - коэффициент передачи датчика угла,  $K_y$  - коэффициент передачи усилителя,  $K_{дм}$  - коэффициент передачи датчика момента,  $K_{ос}$  - коэффициент обратной связи. Этот момент является для гироскопа внешним. Под его действием гироскоп начинает прецессировать, вращаясь с постоянной абсолютной угловой скоростью  $\dot{\alpha}_{абс}$ .

В установившемся движении  $\dot{\alpha}_{абс} = \omega_y$ . Поскольку  $\dot{\alpha}_{абс} = \frac{M_{DMx}}{H}$ , то  $M_{DMx} = H\omega_y$ .

Момент, развиваемый  $DM_x$ , можно представить следующим выражением:  $M_{DMx} = K_{дм} J_x$ , где  $J_x$  - ток в обмотке датчика момента. Отсюда получаем:

$$H\omega_y = K_{дм} J_x$$

Следовательно, измеряя ток в обмотке датчика момента  $DM_x$ , можно получить информацию об угловой скорости вращения основания  $\omega_y$ :

$$\omega_y = \frac{K_{дм}}{H} J_x = K_x J_x,$$

где  $K_x$  - крутизна  $DM_x$  по скорости управления.



В ДНГ, предназначенных для работы в режиме ДУС, величина крутизны датчика момента по скорости управления также является одной из основных характеристик прибора.

Составляющие собственной скорости прецессии определяются по силе токов в обмотках датчиков момента при известном значении крутизны датчиков момента по скорости управления. Крутизна датчиков момента по скорости управления может быть определена путем измерения динамически настраиваемым гироскопом в режиме ДУС известных составляющих скорости суточного вращения Земли. При этом важно учитывать влияние на собственную скорость прецессии ускорения свободного падения, приводящего при наличии остаточной несбалансированности к дополнительным уходам гироскопа.

Таким образом, установка ДНГ в различные положения по отношению к направлениям скорости вращения Земли и ускорения свободного падения и измерение токов в цепях обратных связей гироскопа в каждом из этих положений позволяют аналитически определить составляющие ССП и крутизны датчиков момента по скорости управления.

Для этой цели в работе используется двухосный автоматизированный поворотный стенд. Основание поворотного стенда ориентируется относительно сторон света: продольная ось  $\xi$  ориентируется в направлении на восток, поперечная ось  $\eta$  - на север, а вертикальная ось  $\zeta$  совпадает с истинной вертикалью (рис.5).

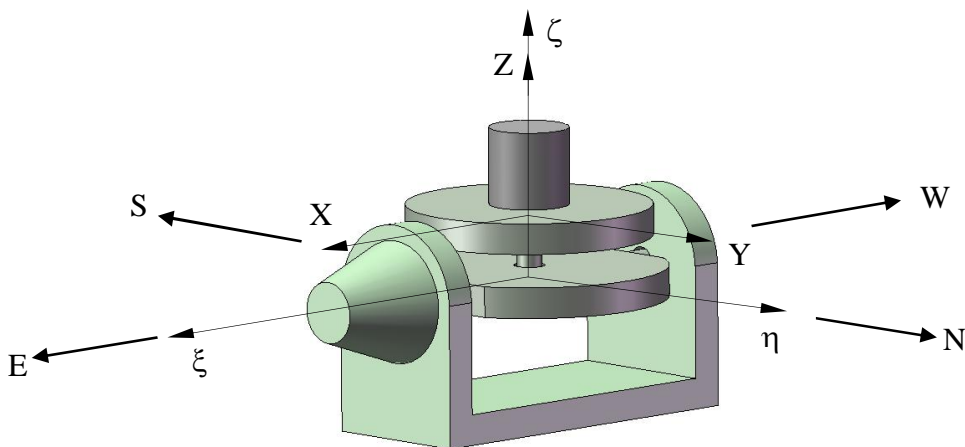


Рис.5. Ориентация поворотного стенда

Поворотный стенд позволяет поворачивать платформу вокруг двух осей: оси OZ, связанной с платформой и оси  $\xi$ , связанной с основанием стенда и устанавливать ее в 8 различных положений вокруг каждой оси (через 45°). В данной работе для определения параметров ДНГ используются только 4 положения вокруг оси OZ («А», «Б», «В», «Г») и 2 положения вокруг оси  $\xi$  («1», «2»)

В общем виде согласно рис. 6.  $\bar{\omega}_k$  находится как:

$$\omega_{xk} = U \cos \varphi \cos \theta_{\xi} \sin \theta_z + U \sin \varphi \sin \theta_{\xi} \sin \theta_z \quad (2)$$

$$\omega_{yk} = U \cos \varphi \cos \theta_{\xi} \cos \theta_z + U \sin \varphi \sin \theta_{\xi} \cos \theta_z, \quad (3)$$

где

- $\theta_z$  - угол поворота платформы в вокруг оси OZ,
- $\theta_{\xi}$  - угол поворота платформы вокруг оси  $\xi$ ,
- $U = 15$  град/час – скорость суточного вращения Земли,
- $U \cos \varphi = 8.45$ град/час и  $U \sin \varphi = 12.44$ град/час - горизонтальная и вертикальная составляющие скорости суточного вращения Земли на широте Москвы.

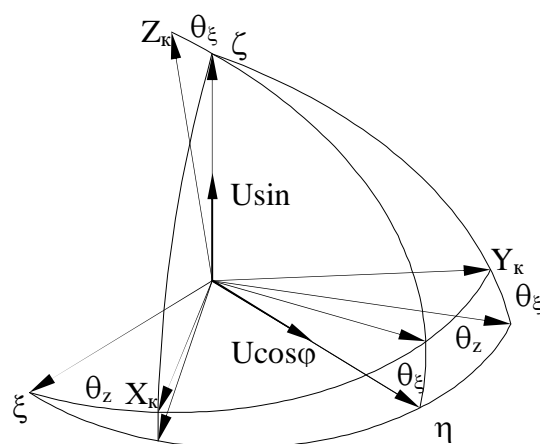


Рис. 6. К определению составляющих абсолютной угловой скорости корпу-

При горизонтальном положении платформы, т.е. когда угол  $\theta_{\xi}=0$ , с учетом (2) и (3) уравнения (1) примут вид:

$$U \cos \varphi \sin \theta_z = \omega_{x0} + K_x J_x + K_{xy} J_y \quad (4)$$

$$U \cos \varphi \cos \theta_z = \omega_{y0} + K_y J_y + K_{yx} J_x$$

Из полученных уравнений видно, что, поворачивая платформу на различные углы  $\theta_z$  и измеряя значения токов  $J_x$  и  $J_y$  в этих положениях, можно определить неизвестные величины:  $\omega_{x0}$ ,  $\omega_{y0}$ ,  $K_x$ ,  $K_y$ ,  $K_{xy}$ ,  $K_{yx}$ .

В положении «А» ось  $OX_k$  корпуса гироскопа направлена на восток, ось  $OY_k$  – на север, ось  $OZ_k$  совпадает с истинной вертикалью, т. е.  $\theta_z=0$ .

В этом положении горизонтальная составляющая скорости вращения Земли направлена по оси  $OY_k$ . Уравнения (4) примут вид:

$$0 = \omega_{x0} + K_x J_x^A + K_{xy} J_y^A$$

$$U \cos \varphi = \omega_{y_0} + K_y J_y^A + K_{yx} J_x^A$$

В положении «Б» (угол  $\theta_z=90^\circ$ ) ось  $OX_k$  гироскопа направлена на север, ось  $OY_k$  – на запад, ось  $OZ_k$  совпадает с истинной вертикалью.

В этом положении горизонтальная составляющая скорости вращения Земли направлена по оси  $OX_k$ . Получим уравнения:

$$U \cos \varphi = \omega_{x_0} + K_x J_x^B + K_{xy} J_y^B$$

$$0 = \omega_{y_0} + K_y J_y^B + K_{yx} J_x^B$$

В положениях «В» (угол  $\theta_z=180^\circ$ ) и «Г» (угол  $\theta_z=270^\circ$ ) горизонтальная составляющая скорости вращения Земли направлена по тем же осям, что и в положениях «А» и «Б» соответственно, но с противоположным знаком.

Решение получившихся систем алгебраических уравнений позволяет определить искомые неизвестные параметры.

Для определения составляющих ССП  $\omega_g$  и  $\omega_{кв}$ , необходимо установить платформу стенда таким образом, чтобы вектор кинетического момента  $H$  принял горизонтальное положение, т.е. установить платформу стенда в положение 2 (угол  $\theta_\xi=90^\circ$ ). В этом положении квадратурные моменты и моменты небаланса из-за смещения центра масс вдоль оси собственного вращения вызовут дополнительные составляющие ССП -  $\omega_g$  и  $\omega_{кв}$ .

В этом случае уравнения примут вид:

$$U \sin \varphi \sin \theta_z = \omega_{x_0} + K_x J_x + K_{xy} J_y + \omega_g n_x \sin \theta_z - \omega_{кв} n_y \cos \theta_z$$

$$U \sin \varphi \cos \theta_z = \omega_{y_0} + K_y J_y + K_{yx} J_x + \omega_g n_y \cos \theta_z - \omega_{кв} n_x \sin \theta_z$$

или с учетом единичных перегрузок

$$U \sin \varphi \sin \theta_z = \omega_{x_0} + K_x J_x + K_{xy} J_y + \omega_g \sin \theta_z - \omega_{кв} \cos \theta_z$$

$$U \sin \varphi \cos \theta_z = \omega_{y_0} + K_y J_y + K_{yx} J_x + \omega_g \cos \theta_z + \omega_{кв} \sin \theta_z$$

Поворачивая платформу стенда вокруг оси  $OZ$ , то есть устанавливая ее последовательно в положения «А», «Б», «В», «Г», по аналогии с предыдущим случаем можно получить две системы алгебраических уравнений. Решение получившихся систем уравнений позволяет определить искомые неизвестные значения  $\omega_g$  и  $\omega_{кв}$ .

## Уравнения:

### Положение 1А:

$$0 = \omega_{x0} + K_x J_x^{1A} + K_{xy} J_y^{1A}$$

$$U \cos \varphi = \omega_{y0} + K_y J_y^{1A} + K_{yx} J_x^{1A}$$

### Положение 1Б:

$$U \cos \varphi = \omega_{x0} + K_x J_x^{1B} + K_{xy} J_y^{1B}$$

$$0 = \omega_{y0} + K_y J_y^{1B} + K_{yx} J_x^{1B}$$

### Положение 1В:

$$0 = \omega_{x0} + K_x J_x^{1B} + K_{xy} J_y^{1B}$$

$$-U \cos \varphi = \omega_{y0} + K_y J_y^{1B} + K_{yx} J_x^{1B}$$

### Положение 1Г:

$$-U \cos \varphi = \omega_{x0} + K_x J_x^{1\Gamma} + K_{xy} J_y^{1\Gamma}$$

$$0 = \omega_{y0} + K_y J_y^{1\Gamma} + K_{yx} J_x^{1\Gamma}$$

### Положение 2А:

$$0 = \omega_{x0} + K_x J_x^{2A} + K_{xy} J_y^{2A} - \omega_{KB}$$

$$U \sin \varphi = \omega_{y0} + K_y J_y^{2A} + K_{yx} J_x^{2A} + \omega_g$$

### Положение 2Б:

$$U \sin \varphi = \omega_{x0} + K_x J_x^{2B} + K_{xy} J_y^{2B} + \omega_g$$

$$0 = \omega_{y0} + K_y J_y^{2B} + K_{yx} J_x^{2B} + \omega_{KB}$$

### Положение 2В:

$$0 = \omega_{x0} + K_x J_x^{2B} + K_{xy} J_y^{2B} + \omega_{KB}$$

$$-U \sin \varphi = \omega_{y0} + K_y J_y^{2B} + K_{yx} J_x^{2B} - \omega_g$$

### Положение 2Г:

$$-U \sin \varphi = \omega_{x0} + K_x J_x^{2\Gamma} + K_{xy} J_y^{2\Gamma} - \omega_g$$

$$0 = \omega_{y0} + K_y J_y^{2\Gamma} + K_{yx} J_x^{2\Gamma} - \omega_{KB}$$

## Расчетные формулы

$$\delta_1 = \frac{J_x^{1A} - J_x^{1B}}{J_y^{1A} - J_y^{1B}}$$

$$\delta_2 = \frac{J_y^{1B} - J_y^{1\Gamma}}{J_x^{1B} - J_x^{1\Gamma}}$$

$$K_x = \frac{2U \cos \varphi}{J_x^{1B} - J_x^{1\Gamma}} \cdot \frac{1}{1 - \delta_1 \cdot \delta_2}$$

$$K_x = \frac{2U \cos \varphi}{J_y^{1A} - J_y^{1B}} \cdot \frac{1}{1 - \delta_1 \cdot \delta_2}$$

$$K_{xy} = -K_x \cdot \delta_1$$

$$K_{yx} = -K_y \cdot \delta_2$$

$$\omega_{x0} = -\frac{K_x}{4} (J_x^{1A} + J_x^{1B} + J_x^{1B} + J_x^{1\Gamma}) - \frac{K_{xy}}{4} (J_y^{1A} + J_y^{1B} + J_y^{1B} + J_y^{1\Gamma})$$

$$\omega_{y0} = -\frac{K_y}{4} (J_y^{1A} + J_y^{1B} + J_y^{1B} + J_y^{1\Gamma}) - \frac{K_{yx}}{4} (J_x^{1A} + J_x^{1B} + J_x^{1B} + J_x^{1\Gamma})$$

$$\omega_{кв} = \frac{1}{4} \left[ K_x (J_x^{2A} - J_x^{2B}) + K_{xy} (J_y^{2A} - J_y^{2B}) - K_y (J_y^{2B} - J_y^{2\Gamma}) - K_{yx} (J_x^{2B} - J_x^{2\Gamma}) \right]$$

$$\omega_g = U \sin \varphi - \frac{1}{4} \left[ K_x (J_x^{2B} - J_x^{2\Gamma}) + K_y (J_y^{2A} - J_y^{2B}) + K_{xy} (J_y^{2B} - J_y^{2\Gamma}) + K_{yx} (J_x^{2A} - J_x^{2B}) \right]$$

## Описание экспериментальной установки

В состав лабораторной установки входят:

1. автоматизированный поворотный стенд,
2. блок электроники,
3. персональный компьютер (ПЭВМ) с универсальной платой АЦП L-154 и специальным программным обеспечением для управления стендом и обработки выходной информации испытуемого прибора.

Используемый в лабораторной работе автоматизированный стенд предназначен для проведения испытаний в процессе сборки и настройки динамически на-

страиваемых гироскопов. Вращение платформы вокруг двух осей станда осуществляется при помощи двух приводов, каждый из которых содержит электродвигатель постоянного тока типа ДПР-42 и механическую передачу типа «мальтийский крест».

Блок электроники станда содержит блок питания, вырабатывающий необходимые для работы станда и испытуемого блока напряжения, вспомогательные усилители и коммутационное устройство.

Управление стандом осуществляется с персонального компьютера через плату АЦП L-154.

Программное обеспечение станда осуществляет следующие функции:

- определение положения платформы станда в течение всего времени работы,
- разворот платформы в соответствии с методикой проведения испытаний,
- съем, обработку, запись и вывод на экран монитора информации с ДНГ,
- подача питающего напряжения на гиросмотор и датчики моментов ДНГ.

На рисунке 7 показано основное окно программы.

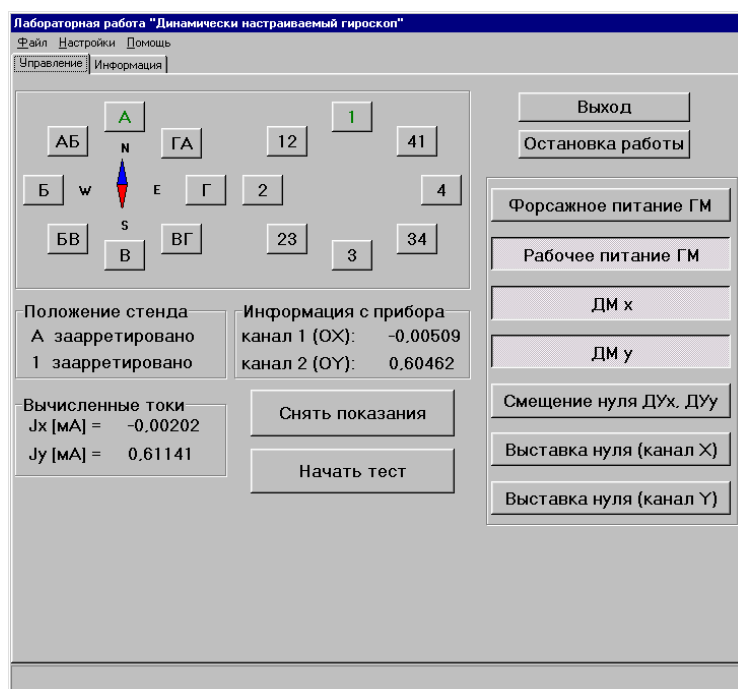


Рис.7. Основное окно программы

Разворот платформы вокруг оси  $z$  станда, происходит при нажатии кнопок А, Б, В и Г в окне программы, а разворот платформы вокруг горизонтальной оси  $x$ , при нажатии кнопок 1, 2, 3 и 4

Цвет надписи на кнопке определяет состояние станда:

- Красный - положение, в которое перемещается стенд;
- Желтый - текущее незаарретированное положение стенда;
- Зеленый - заарретированное положение стенда.

Подача питания на гиromотор осуществляется нажатием на кнопку «Форсажное питание ГМ». Подача питания на датчики моментов гироскопа – нажатием на кнопки «ДМх» и «ДМу». Напряжения, снимаемые с датчиков момента, отображаются на панели «Информация с прибора». Вычисление токов, протекающих в цепи моментных датчиков, осуществляется при нажатии кнопки «Снять показания». Средние значения токов выводятся на панель «Вычисленные токи».

### Порядок выполнения работы

1. Включить компьютер.
2. Запустить программу.
3. Убедиться, что все переключатели пульта управления стенда **В1-В9** в положении «откл».
4. Подать питание **36В 400Гц**, для чего перевести переключатель **В2** в положение «вкл».
5. Проконтролировать, что стенд находится в положении «1».
6. Подать на гиromотор питание **20В 375 Гц**, для чего нажать в окне программы на кнопку «Форсажное питание ГМ». Проконтролировать через 1,5 мин, что кнопка переключилась в положение «Рабочее питание ГМ».
7. Замкнуть обратные связи по обеим осям гироскопа, для чего нажать кнопки «ДМх» и «ДМу».
8. Повернуть стенд в положение **А**, нажав в окне программы на кнопку «А».
9. Через 30 сек. после остановки стенда нажать в окне программы на кнопку «Снять показания». При этом программа автоматически будет производить считывание и осреднение измеряемых токов. Через 15 сек. для окончания измерения отжать кнопку «Снять показания». Средние значения токов датчи-

- ков моментов ДМх и ДМу будут показаны в окне “**Вычисленные токи**”. Занести эти значения в таблицу 1.
10. Последовательно повернуть стенд в положения **Б, В, Г** и повторить испытания по п.9 в каждом из положений. Измеренные значения токов занести в таблицу 1.
  11. По окончании испытаний по п.10. отключить датчики момента, снять питание с гиromотора, отжав кнопки «ДМх», «ДМу», «**Рабочее питание ГМ**».
  12. Через 5 минут после выключения гиromотора повернуть стенд в положение **2**, нажав в окне программы на кнопку «**2**».
  13. Подать питание на гироскоп и замкнуть обратные связи гироскопа в соответствии с пп. 6,7.
  14. Повторить испытания по п.9. Занести значения токов в таблицу 2.
  15. Последовательно повернуть стенд в положения **Б, В, Г** и повторить испытания по п.9 в каждом из положений. Измеренные значения токов занести в таблицу 2.
  16. По окончании испытаний по п.15. повернуть стенд в положение **А**, нажав кнопку «**А**», повернуть стенд в положение **1**, нажав кнопку «**1**», отключить датчики момента, снять питание с гиromотора, отжав кнопки «ДМх», «ДМу», «**Рабочее питание ГМ**».
  17. Определить по расчетным формулам значения параметров ДНГ и занести их в таблицу 3.
  18. Составить отчет, который должен содержать: цель работы, назначение и принцип действия ДНГ в режиме ДУС, технические характеристики ДНГ и методику их определения, расчетные формулы, результаты экспериментов, занесенные в таблицы.



Таблица 1

Токи [мА]	Положение 1			
	А	Б	В	Г
$J_x$				
$J_y$				

Таблица 2

Токи [мА]	Положение 2			
	А	Б	В	Г
$J_x$				
$J_y$				

Таблица 3

Рассчитанные значения	
$K_x$ (°/ч)/мА	
$K_y$ (°/ч)/мА	
$K_{xy}$ (°/ч)/мА	
$K_{yx}$ (°/ч)/мА	
$\omega_{x0}$ °/ч	
$\omega_{y0}$ °/ч	
$\omega_g$ °/ч/g	
$\omega_{кв}$ °/ч/g	

### Контрольные вопросы

1. Каков принцип измерения угловой скорости ДНГ в режиме ДУС?
2. Объясните методику измерения составляющих собственной скорости прецессии ДНГ в режиме ДУС.
3. Какова методика определения крутизны датчика момента по скорости управления?

## Список рекомендуемой литературы

- Д.С. Пельпор, В.А. Матвеев В.А., В.Д. Арсеньев. Динамически настраиваемые гироскопы. – М.: Машиностроение, 1988. – 264 с.
- В.А. Матвеев, В.П. Подчерцев, В.В. Фатеев. Гироскопические стабилизаторы на динамически настраиваемых гироскопах. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э.Баумана, 2005. – 103 с.