

Лабораторная работа № 9

Гироскоп

Цель работы: наблюдение прецессии гироскопа, определение скорости прецессии гироскопа и ее зависимости от скорости вращения маховика гироскопа.

Теория.

Гироскоп – твердое тело, симметричное относительно оси вращения и вращающееся с большой угловой скоростью.

В качестве примера рассмотрим гироскоп на кардановом подвесе (рис.1).

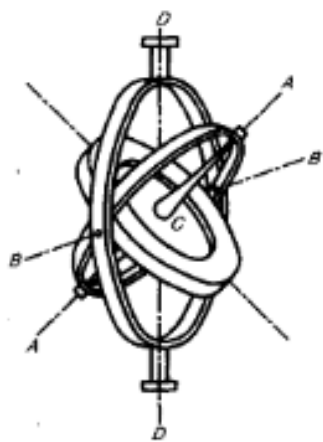


Рис. 1

Дискообразное тело – гироскоп – закреплено на оси AA, которая может вращаться вокруг перпендикулярной ей оси BB, которая, в свою очередь, может поворачиваться вокруг вертикальной оси DD. Все три оси пересекаются в одной точке С, являющейся центром масс гироскопа и остающейся неподвижной, а ось гироскопа может принять любое направление в пространстве.

Силами трения во всех трех подшипниках пренебрегаем.

Пока гироскоп неподвижен, его оси можно придать любое направление. Если гироскоп начать быстро вращать, то ось гироскопа сохраняет в пространстве приданное ей первоначальное направление. Это объяснимо с помощью основного закона динамики вращательного движения. Момент внешних сил относительно закрепленного центра масс гироскопа равен нулю, то согласно уравнению

$$\sum_{i=1}^n \vec{M}_{внеш} = \frac{d\vec{L}}{dt} \quad \left(\sum_{i=1}^n \vec{M}_{внеш} - \text{суммарный момент внешних сил,} \right.$$

\vec{L} – момент импульса гироскопа).

$$\frac{d\vec{L}}{dt} = 0 \quad \text{и} \quad \vec{L} = \text{Const} \quad (1)$$

У симметричного тела направления момента импульса \vec{L} и угловой скорости $\vec{\omega}$ совпадают, поэтому $\vec{L} = \vec{J}\vec{\omega}$ (\vec{J} – момент инерции гироскопа относительно оси симметрии). Согласно (1) угловая скорость $\vec{\omega}$, а также ось вращения сохраняют неизменным направление в пространстве.

Если момент внешних сил, приложенных к вращающемуся гироскопу, относительно его центра

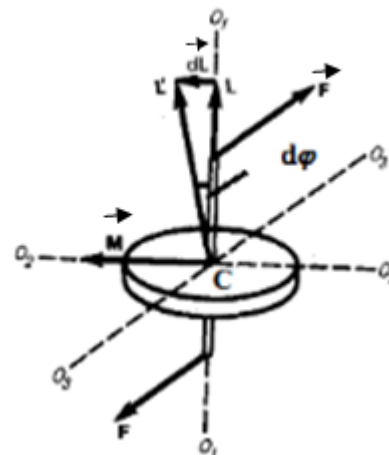


Рис. 2

масс отличен от нуля, то наблюдается явление, получившее название *гирскопического эффекта*. Оно состоит в том, что под действием пары сил \vec{F} , приложенной к оси вращающегося гироскопа O_1O_1 (рис.2) поворачивается вокруг прямой O_3O_3 , а не вокруг прямой O_2O_2 , как это казалось бы естественным на первый взгляд (O_1O_1 и O_2O_2 лежат в плоскости чертежа, а O_3O_3 и силы \vec{F} перпендикулярны ей).

Поясним это. Сила тяжести \vec{P} создает вращающийся момент относительно центра подвеса С $\vec{M} = [\vec{r}\vec{P}]$, где \vec{r} – радиус-вектор приложения силы. Момент \vec{M} пары сил \vec{F} направлен вдоль оси O_2O_2 . За время dt момент импульса \vec{L} гироскопа получит приращение:

$$d\vec{L} = \vec{M} dt$$

Векторы \vec{M} и $d\vec{L}$ имеют одинаковое направление, т.е. $d\vec{L}$ перпендикулярен \vec{L} . Новое значение момента импульса:

$$\vec{L}' = \vec{L} + d\vec{L}$$

Направление вектора \vec{L}' совпадает с новым направлением оси вращения гироскопа. Таким образом, ось вращения гироскопа повернется вокруг прямой O_3O_3 . Если время действия силы мало, то, хотя момент сил \vec{M} и велик, изменение момента импульса $d\vec{L}$ гироскопа будет также весьма малым. Поэтому кратковременное действие сил практически не приводит к изменению ориентации оси вращения гироскопа в пространстве.

Элементарное приращение $d\vec{L}$ все время будет перпендикулярно к вектору \vec{L} , ось гироскопа будет поворачиваться, описывая круг в горизонтальной плоскости. Такое движение называют прецессией. Теперь перейдем к описанию установки.

Описание установки.

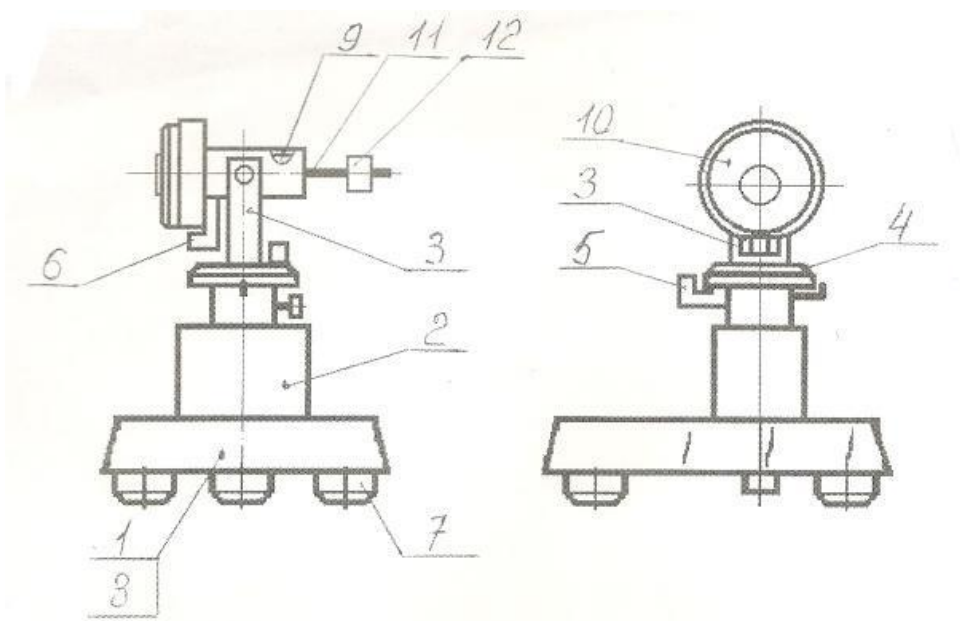


Рис. 3

Устройство и принцип работы изделия.

Установка представлена на рисунке 3 и включает в свой состав: основание 1; корпус 2 с узлом подшипников, в котором установлен вал с коллектором; вилку 3, закрепленную на валу и предназначенную для крепления гироскопической системы; гироскопическую систему; лимб 4; фотодатчик 5; фотодатчик 6.

Основание 1 снабжено четырьмя регулируемыми опорами 7 и винтом-барашком 8 для фиксации корпуса 2.

Лимб 4 предназначен для определения угла поворота гироскопической системы во время прецессии.

Гироскопическая система состоит из электродвигателя 9 с диском 10 (маховиком), стержня 11 и противовеса 12. Стержень 11 и противовес 12 предназначены для создания свободной уравновешенной системы относительно горизонтальной оси и создания момента внешних сил, вызывающих прецессию гироскопа.

Фотодатчик 5 предназначен для выдачи сигналов при измерении скорости прецессии.

Фотодатчик 6 предназначен для выдачи сигналов при измерении скорости вращения маховика гироскопа.

Установка работает совместно с блоком электронным ФМ 1/1-1, который входит в комплект поставки.

Указание мер безопасности.

1. К работе с установкой допускаются лица, ознакомленные с ее устройством, принципом действия и мерами безопасности в соответствии с требованиями, приведенными в настоящем разделе.
2. **Запрещается** устанавливать частоту вращения маховика гироскопа более **85** Гц.
3. Время непрерывной работы двигателя гироскопа – 10 минут, перерыв – 5 минут.
4. Для предотвращения опрокидывания установки необходимо располагать ее только на горизонтальной поверхности.
5. С целью обеспечения требований электробезопасности установка должна быть заземлена (винт заземления находится на задней стенке блока).

Порядок выполнения лабораторной работы.

1. Определение угловой скорости прецессии гироскопа.

1.1. Выставим основание гироскопа в горизонтальное положение.

1.2. Передвигая противовес (12) по стержню (11), добиться того, чтобы гироскопическая система находилась в положении равновесия.

1.3. Нажать кнопку «СЕТЬ» блока. Удерживая кнопку «+», установить скорость в пределах 59-61 Гц (левое табло).

1.4. Отпустить кнопку «+» и дождаться ускорения маховика до установленной скорости в течение 1-2 мин.

1.5. Выключить блок, дождаться остановки маховика, измерить расстояние от конца стержня до плоскости противовеса l_0 ($l_0 \approx 45$ мм).

1.6. Сместить противовес так, чтобы расстояние от конца стержня до плоскости противовеса ℓ_1 составила 10мм (1 целое деление на стержне). Определить $\Delta\ell_1$ по формуле:

$$\Delta\ell_1 = \ell_0 - \ell_1$$

1.7. Повернуть гироскопическую систему так, чтобы указатель угла поворота показывал на 0 градусов. Затем сместить гироскопическую систему на 1-2 деления против часовой стрелки.

1.8. Нажать кнопку «СЕТЬ» блока и кнопкой «+» установить скорость вращения маховика 39-41 Гц., одновременно удерживая рукой стержень с противовесом в горизонтальном положении.

1.9. Плавно опустить стержень с противовесом. При этом гироскопическая система начинает плавно вращаться по часовой стрелке.

1.10. Зафиксировать время перемещения гироскопической системы на четверть оборота диска с помощью правого табло блока Ω_1 .

Не выключая питания установки, повторить измерения 5-7 раз, перемещая гироскопическую систему в исходное положение. Определить среднее значение Ω_1 .

1.11. Выключить блок и переместить противовес еще на 10мм, установив расстояние от конца стержня до противовеса ℓ_2 20мм (2 полных деления). Определить $\Delta\ell_2$ по формуле:

$$\Delta\ell_2 = \ell_0 - \ell_2$$

1.12. Нажать кнопку «СЕТЬ» блока и кнопкой «+» вновь установить скорость вращения маховика 39-41Гц.

1.13. Повторить выполнение пунктов 1.7 - 1.10 для измерения скорости прецессии Ω_2 при значении $\Delta\ell_2$.

1.14. Убедиться в правильности соотношения:

$$\Delta\ell_1 \cdot \Omega_1 = \Delta\ell_2 \cdot \Omega_2 = \text{Const}$$

Таблица №1.

Определение угловой скорости прецессии гироскопа.

Положение противовеса в состоянии равновесия ℓ_0 (мм)	Число оборотов гироскопа (Гц)	Положение противовеса ℓ_i (мм)	Значение угла прецессии (рад)	Время прецессии (с)	Скорость прецессии Ω (рад/с)
45	39 – 41	10	$\frac{\pi}{4}$		
45	39 – 41	20	$\frac{\pi}{4}$		

По данной таблице составить отношение $\frac{\ell_i - \ell_0}{\Omega}$.

2. Определение зависимости угловой скорости прецессии гироскопа от угловой скорости вращения маховика гироскопа.

2.1. Установить скорость вращения маховика 30 Гц и произвести измерения скорости прецессии, выполняя пункты 1.7 – 1.10.

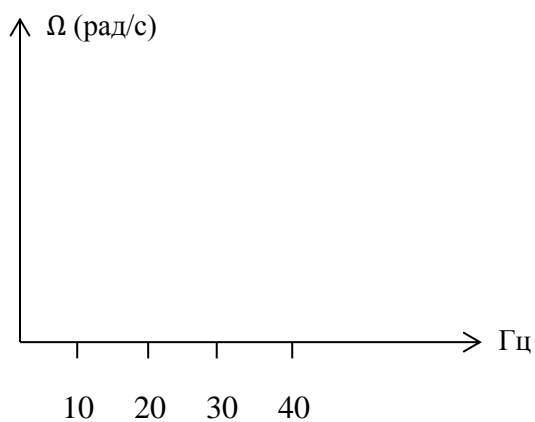
2.2. Повторить пункт 2.1 для значений 10, 20, 40 Гц.

Таблица №2.

Определение угловой скорости прецессии гироскопа от угловой скорости вращения маховика гироскопа.

Скорость вращения (Гц)	Положение противовеса ℓ_i (мм)	Значение угла прецессии (рад)	Время прецессии (с)	Скорость прецессии Ω (рад/с)
10	20	$\frac{\pi}{4}$		
20	20	$\frac{\pi}{4}$		
30	20	$\frac{\pi}{4}$		
40	20	$\frac{\pi}{4}$		

2.3. Построить график зависимости скорости прецессии Ω от скорости вращения маховика для следующих значений: 10, 20, 30, 40 Гц.



Контрольные вопросы.

1. Выведите и сформулируйте закон сохранения момента импульса.
2. Приведите примеры проявления закона сохранения момента импульса.
3. Что называют гироскопом? Объяснить работу гироскопа на кардановом подвесе.
4. В чем состоит гироскопический эффект?
5. Какое движение гироскопа называют прецессией?
6. Рассмотреть прецессию волчка, ось которого отклонена от вертикального положения.
7. От чего и каким образом зависит угловая скорость прецессии?