

Универсальная установка для определения параметров неуравновешенности поплавковых чувствительных элементов гиросприборов

77-30569/338644

02, февраль 2012

Гоцеридзе Р. М.

УДК 62-251:534

МГТУ им. Н.Э. Баумана

Ruslan.Gotseridze@gmail.com

1. Общие сведения

Интегрирующие и дифференцирующие гироскопы, предназначенные для использования в современных системах автоматического управления полетом и особенно в автономных навигационных системах инерциального типа, а также для гиросtabilизации радиолокационной аппаратуры и в различного рода других автоматических устройствах, должны обладать весьма большой стабильностью параметров, низким порогом чувствительности, высокой точностью, вибропрочностью, виброустойчивостью и прочностью и устойчивостью по отношению к ударам.

Этим требованиям удовлетворяют прецизионные поплавковые приборы, в которых уменьшение момента трения в опорах достигается прежде всего за счет использования подъемной силы жидкости. Одновременно жидкость используется для получения требуемого демпфирования и достижения высокой вибрационной и ударной устойчивости и прочности этих приборов.

Работу по созданию поплавковых гироскопов за границей впервые начал в 1946 г. Ц.С. Драйпер в руководимой им лаборатории Массачусетского технологического института (США). Под его руководством по договору с ВВС США было построено и исследовано несколько опытных образцов. В 1948 г. фирма Миннеаполис-Хонейуэлл разработала на базе материалов Массачусетского технологического института несколько вариантов поплавковых гироскопов, пригодных для серийного производства, и с 1951 г. приступила к их серийному выпуску.

Идея поплавкового гироскопа с двумя степенями свободы впервые была предложена в Советском Союзе Л.И. Ткачевым, под руководством которого в Московском энергетическом институте в 1945 г. была разработана первая конструкция поплавкового интегрирующего гироскопа. По заявке от 29 января 1949 г. Л.И. Ткачеву было выдано авторское свидетельство за № 113446 на поплавковый гироскоп под названием «чувствительный элемент прецизионных гироскопических приборов для пространственной ориентировки летательных аппаратов».

Затем выпуском поплавковых приборов стали заниматься большинство ведущих приборостроительных предприятий Советского Союза, выпускающих навигационные приборы. В этих работах принимали участие и работники технических вузов страны. В разработке тех материалов, которые представлены в статье, принимали участие работники МГТУ им. Н.Э. Баумана А.И. Коцюбинский, Ю.Е. Нитусов, С.В. Румянцев, П.В. Сыроватченко, Б.А. Флеганов и автор статьи.

2. Параметры неуравновешенности поплавковых чувствительных элементов

Точность работы поплавковых гироскопических приборов определяется остаточным дисбалансом их поплавковых чувствительных элементов (ПЧЭ).

На ПЧЭ, находящийся в жидкости, действуют две силы (рис. 1): его вес G и выталкивающая сила P .

Параметрами неуравновешенности ПЧЭ являются:

– суммарный момент неуравновешенности вокруг оси Z подвеса поплавка:

$$M_{\text{ст}} = Gy_G + Py_P, \quad (1)$$

– остаточный вес или плавучесть ПЧЭ, действующие вдоль вертикальной оси X :

$$\Delta G = G - P; \quad (2)$$

– момент дифферента вокруг поперечной оси Y поплавка:

$$M_{\text{д}} = Gz_{\text{д}} + Pz_P, \quad (3)$$

где G — вес ПЧЭ; P — выталкивающая сила жидкости, действующая на ПЧЭ; y_G, y_P, z_G, z_P — координаты центров масс O_G и объема O_P вдоль осей Y и Z . Значения всех параметров представляются в формулы с учетом их знаков.

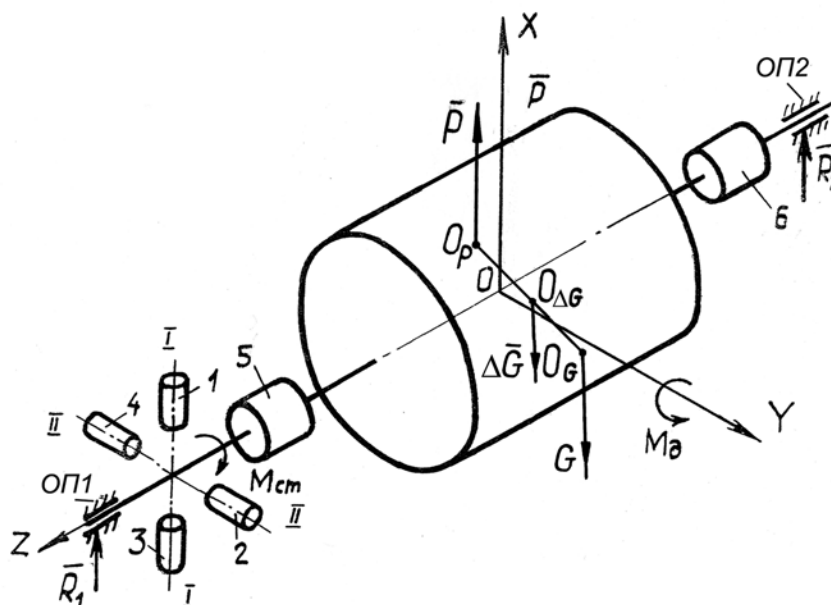


Рис. 1. Схема сил, действующих на поплавковый чувствительный элемент в жидкости

Для балансировки ПЧЭ в жидкости в их конструкциях (см. рис. 1) предусматривается установка грузов 1 – 4 (для устранения $M_{ст}$) и дифференциальных шайб 5, 6 (для устранения ΔG и M_d); R_1 и R_2 — реакции в опорах ОП1 и ОП2 ПЧЭ. Опоры в ПЧЭ применяются камневые, магнитные, электростатические и др.

Поплавок считается отбалансированным, если величины всех трех параметров его неуравновешенности меньше допустимых значений $TM_{ст}$, $T(\Delta G)$, TM_d или равны им (где T — допуск).

3. Состояние вопроса

Первыми публикациями по вопросам уравнивания ПЧЭ в жидкости были следующие:

Сломянский Г.А. Уравнивание поплавковых узлов приборов // *Авиационная промышленность*. 1958. № 5.

Березенцев В.А. Приспособление для устранения плавучести и статического уравнивания поплавков // *Авиационная промышленность*. 1958. № 5.

Соколов Т.П., Куфаков И.В. Балансировка поплавкового гиросузда в жидкости // *Приборостроение*. 1961. № 3.

В этих работах были рассмотрены условия и последовательность операций уравнивания ПЧЭ в жидкости, показаны перспективные схемы установок, а также впер-

вые был представлен некоторый опыт работы с рамочными установками типа весов с подвесом рамки на кернах.

Дальнейшие работы, которые проводились в организациях и предприятиях, непосредственно разрабатывающих и изготавливающих поплавковые приборы (при участии работников вузов) обеспечили создание новой технологической оснастки и разработку новых технологических процессов балансировки ПЧЭ.

Все устройства, применяемые при уравнивании ПЧЭ, являются измерительными установками, позволяющими определять величины параметров неуровновешенности $M_{ст}$, ΔG и M_d .

Для уравнивания поплавок относительно оси его подвеса применяются следующие установки, позволяющие измерить величину и направление $M_{ст}$: 1) специальные ванны; 2) установки рамочного типа с кривыми опорами; 3) установки с ньютометрами (механическими, электромеханическими, тензометрическими); 4) установки рычажного типа.

Для упрощения операции уравнивания ПЧЭ ее обычно производят в жидкости, имеющей при температуре цеха плотность, равную плотности рабочей жидкости при рабочей температуре, которая значительно выше температуры цеха.

Продолжались публикации по вопросам балансировки ПЧЭ.

Среди авторов: Э.Г. Богатырев, П.В. Сыроватченко, С.А. Шестов, В.П. Мымарь, Ю.Н. Яковлев, И.Л. Милейковский, Е.Л. Каганович, Ю.В. Клементьев, И.И. Лунькова, В.И. Молодницкий, Е.А. Никитин, Ю.Е. Нитусов, А.Б. Рябов, Г.А. Сломьянский, А.О. Тимофеева, Б.А. Хохлов, Ю.А. Осокин, С.Ф. Коновалов, Н.Н. Станкевич, В.Н. Герди, автор статьи и др.

4. Магниторезонансный подвес, примененный в установке

В установке использован пассивный магниторезонансный подвес (МРП), который в отличие от активного МРП не имеет внешней обратной связи.

Центрирующие элементы МРП представляют собой устройства, сочетающие элементы подвеса, которые дают возможность исключить сухое трение в опорах, и чувствительные измерительные преобразователи, дающие возможность с высокой степенью точности определять изменение зазоров между якорем и полюсами статора, что, в свою очередь, позволяет определять величину усилий, приложенных к якорю.

Таким образом, центрирующий элемент магниторезонансного подвеса является измерительным преобразователем при измерении усилий, приложенных к якорю, путем

регистрации его перемещений. В сочетании с измерительными приборами он представляет собой измерительную установку, которая может быть названа *резонансным электромагнитным ньютометром (РЭМН)*, так как в электрической цепи каждого из полюсов статора имеется резонансный контур (r, L, C).

На рис. 2 показано электрическое и магнитное включение обмоток измерительного преобразователя РЭМН с четырехзубцовым магнитопроводом статора, а на рис. 3 — с восьмизубцовым магнитопроводом статора.

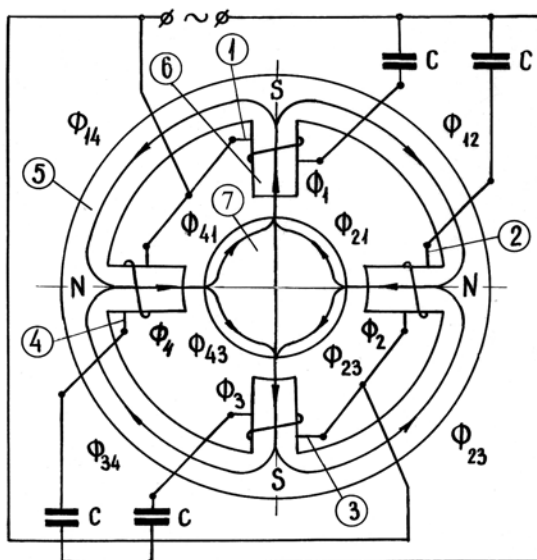


Рис. 2. Измерительный преобразователь РЭМН с четырехзубцовым магнитопроводом статора

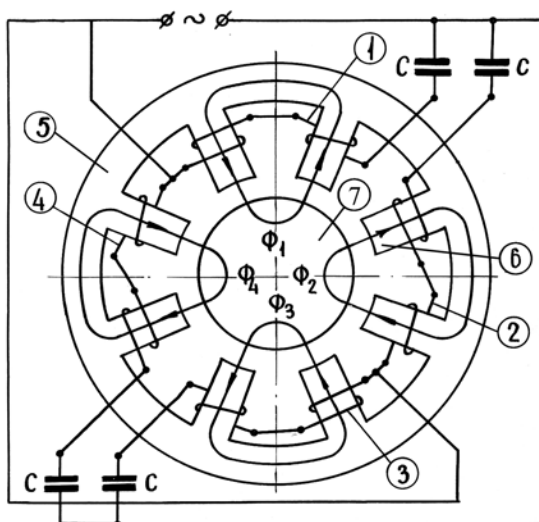


Рис. 3. Измерительный преобразователь РЭМН с восьмизубцовым магнитопроводом статора

На рис. 2 и 3 оба преобразователя имеют по четыре полюса: 1, 2, 3, 4. На этих рисунках: 5 — магнитопроводы статоров; 6 — якоря; 7 — зубцы.

Конструкция измерительного преобразователя РЭМН, примененного в универсальной установке для измерения параметров неуравновешенности ПЧЭ, представлена на рис. 4.

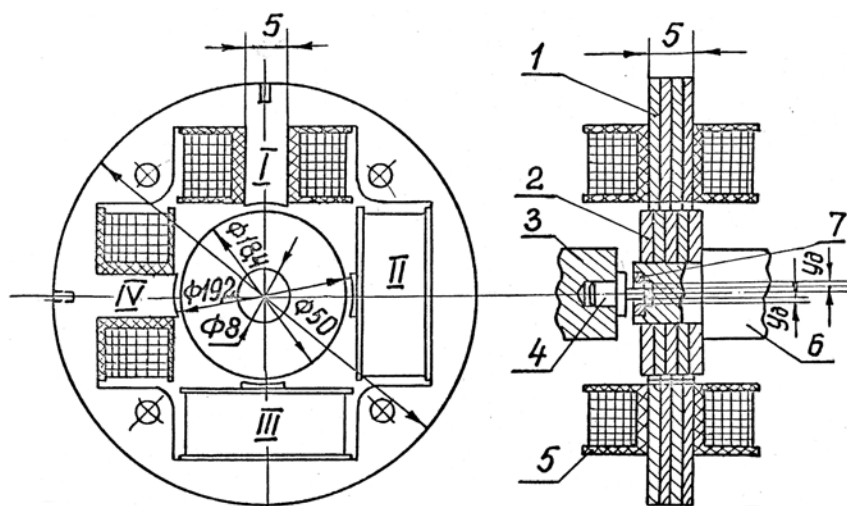


Рис. 4. Конструкция измерительного преобразователя РЭМН

Механическая часть его состоит из цилиндрического якоря 2 и статора 1, представляющего собой цилиндрический магнитопровод с четырьмя явно выраженными полюсами. На каждом полюсе магнитопровода статора расположены обмотки 5. Якорь 2 закрепляется на оси 6 сборочной единицы, подвешенной на двух РЭМН. Зазор между бушоном 7 и цапфой закрепленной в неподвижном основании 3, определяет максимальное допустимое смещение якоря u_d при приложении к нему усилий. Цапфа 4 и бушон 7 являются также арретирующим устройством (при отключенном питании РЭМН).

Статор РЭМН закрепляется в неподвижном основании. В дальнейшем его полюса, оси которых расположены вертикально, будем обозначать I и III, а оси которых расположены горизонтально — II и IV.

Электрическая цепь измерительного преобразователя РЭМН (рис. 5) состоит из резонансных контуров (с последовательным соединением r , L , C), которые подключены параллельно к источнику переменного напряжения и число которых соответствует числу полюсов.

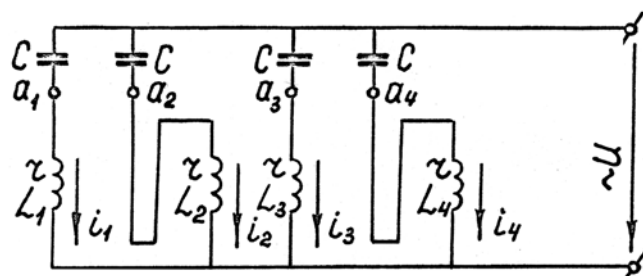


Рис. 5. Схема включения контуров РЭМН

Особенностями этих контуров являются возрастание тока в обмотке и увеличением силы притяжения полюса (рис. 6) с возрастанием зазора (уменьшением индуктивности) при определенной настройке, когда емкостное сопротивление в резонансных цепях меньше индуктивного ($X_C < X_L$). Это свойство контура позволяет использовать его для создания подвеса, так как в этом случае при смещении якоря из центрального положения создается радиальная центрирующая сила $F_{ц}$, направленная против смещения якоря. При отсутствии демпфирования в механической части подвеса появляются автоколебания. В нашем случае универсальная установка и ее измерительные преобразователи РЭМН работают в демпфирующей среде (жидкости), которая ограничивает возможность появления автоколебаний.

В резонансных цепях с последовательным соединением r, L, C , варьируя этими параметрами, а также частотой ω , можно создать возможность возникновения в цепи режима резонанса напряжений, который наступает при равенстве индуктивного и емкостного сопротивления ($X_L = X_C$) и характеризуется возрастанием тока в обмотке.

Согласно принципу действия магниторезонансного подвеса, его работа должна происходить на зарезонансном участке тяговой характеристики (кривая 2–3–4 на рис. 6).

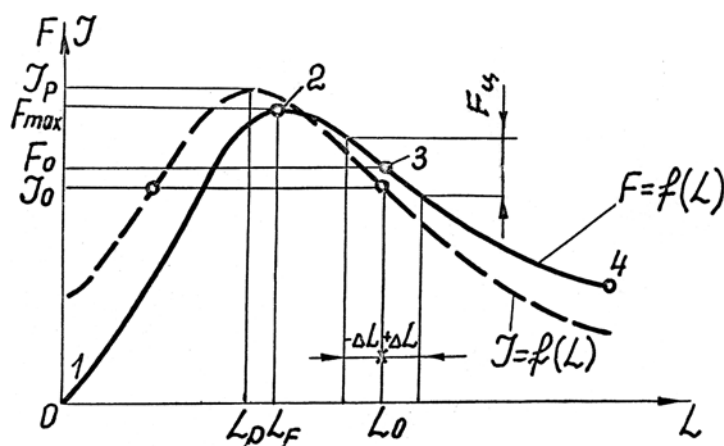


Рис. 6. Графики зависимости $I = f(L)$ и $F = f(L)$

Изменение величин воздушных зазоров при перемещении якоря РЭМН приводит к изменению индуктивностей обмоток статора и, следовательно, к изменению режима резонансной цепи.

В связи с тем, что скорости перемещения якоря при измерениях в РЭМН весьма малы, динамические составляющие индуктивности также малы и, следовательно, индуктивность обмоток с достаточной степенью точности может считаться зависящей только от положения якоря относительно полюсов статора, т. е. от величин воздушных зазоров в магнитных цепях измерительного преобразователя РЭМН.

При этом сигнал измерительной информации, характеризующий положение якоря, может быть получен несколькими способами:

1) измерением действующих значений токов I_1 и I_3 (или разности $\Delta I = I_1 - I_3$) в обмотках противоположных полюсов I и III с помощью миллиамперметров mA_k (k — номер полюса) — см. рис. 7, а;

2) измерением активных мощностей P_1 и P_3 (или их разности $\Delta P = P_1 - P_3$) в обмотках полюсов I и III с помощью ваттметров W_k при $f < 500$ Гц (рис. 7, б) или фазометров φ_k , миллиамперметров mA_k и вольтметра V_k при $f > 500$ Гц (рис. 7, в);

3) измерением действующих значений магнитных потоков Φ_1 и Φ_3 (или их разности $\Delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_3$) в полюсах I и III с помощью индикаторных обмоток $r_{и}$, $L_{иk}$ и вольтметров V_k (рис. 7, г);

4) измерением действующего значения напряжения u_{13} между средними точками a_1 и a_3 резонансных цепей противоположных полюсов с помощью вольтметра V_{13} (рис. 7, д).

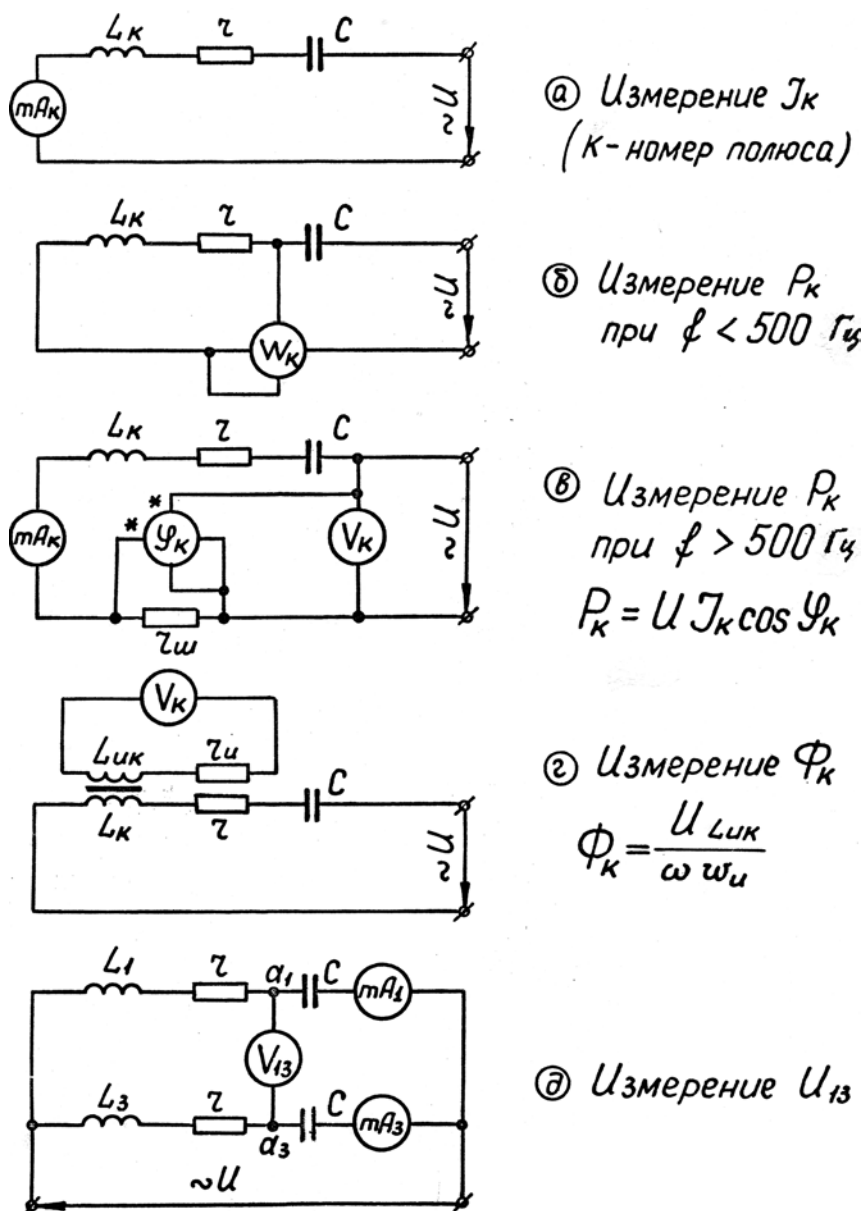


Рис. 7. Схемы получения сигнала измерительной информации, характеризующего положение якоря РЭМН

На рис. 7, а, б, в, г, кроме указанных в тексте данной статьи электроэлементов используются также K_k , r , C — соответственно индуктивность, активное сопротивление и емкость в цепи k -го элемента; $r_{ш}$ — активное сопротивление шунта; $r_{и}$ и $L_{иК}$ — активное сопротивление и индуктивность индикаторных обмоток; $w_{и}$ — число витков индикаторной обмотки.

5. Принцип действия установки

Электрокинематическая схема универсальной установки с двумя РЭМН для определения всех трех параметров неуравновешенности ПЧЭ ($M_{ст}$, ΔG и M_d) представлена на рис. 8. Установка была внедрена на предприятии «Корпус» (г. Саратов).

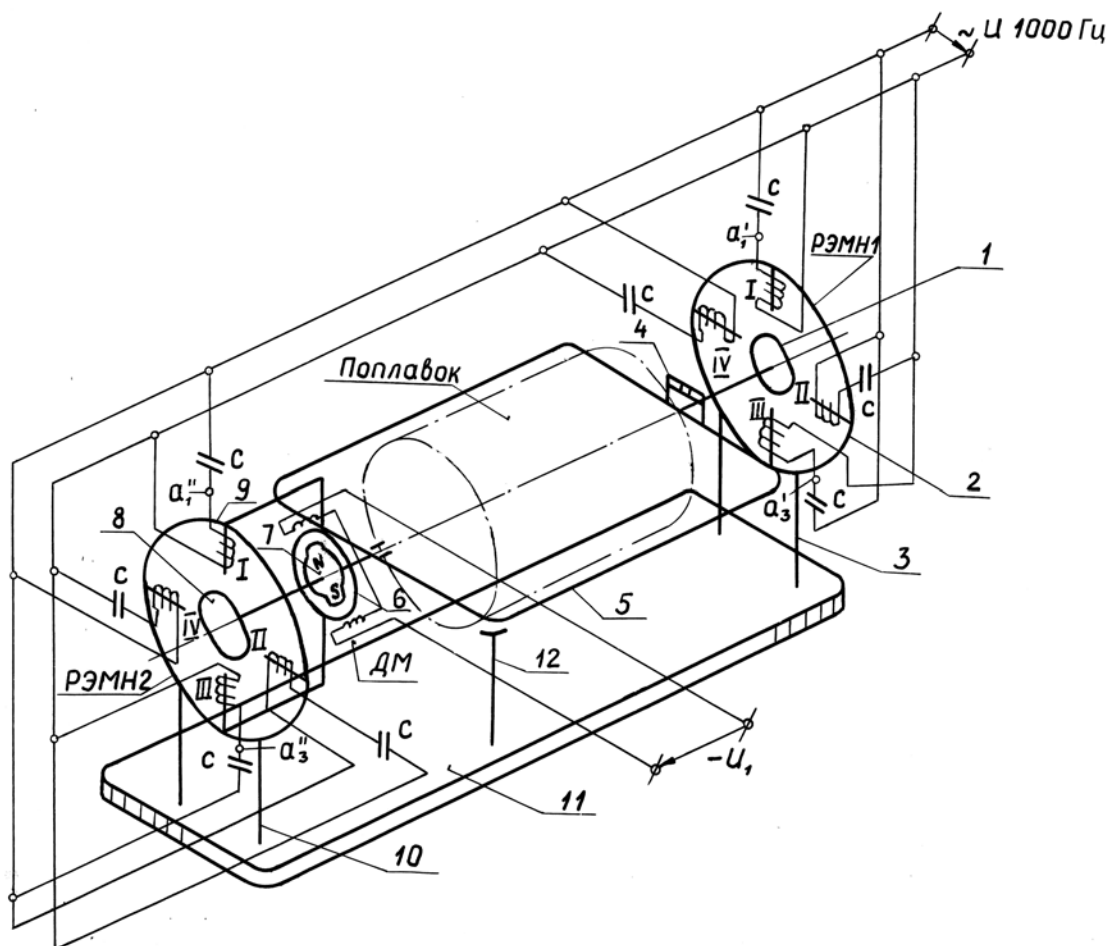


Рис. 8. Электрическая схема установки для измерения параметров неуравновешенности ПЧЭ

Якоря 1 и 8 РЭМН закрепляются на осях рамки 5, в которой устанавливается уравновешиваемый поплавок. Статоры 2 и 9 устанавливаются на стойках 3 и 10, которые закрепляются на неподвижном основании 11. На одной из осей балансировочной рамки 5 устанавливается ротор 6 датчика момента ДМ, а его статор 7 — на стойке 10. ДМ предназначен для измерения момента неуравновешенности поплавка относительно оси его подвеса $M_{ст}$. Горизонтальное положение рамки 5, а следовательно, и «нулевое» положение ротора 6 датчика момента определяется с помощью ампулы 4 (либо с помощью фотоэлектрического датчика угла — в тех случаях, когда требуется повышенная точность).

Рамка 5 с установленными на ней якорями 1 и 8, ротором ДМ и ампулой 4 (либо ротором датчика угла) точно уравновешена по всем параметрам, она имеет (без поправки) остаточный вес и нижнюю маятниковость в жидкости при температуре уравнивания.

Статоры 2 и 9 РЭМН установлены таким образом, что их полюса I и III расположены вертикально, а II и IV — горизонтально.

При наличии у поплавка момента дифферента, остаточного веса или плавучести якоря 1 и 8 перемещаются вдоль осей противоположных полюсов I и III, и оба РЭМН используются как средства измерения сил, приложенных к якорям.

6. Методика измерения $M_{ст}$, ΔG и M_d на универсальной установке

Технологический процесс уравнивания поплавка в жидкости при его сборке заключается в следующем:

1) Грубое уравнивание по $M_{ст}$: а) измерение $M_{ст}$, б) устранение $M_{ст}$ путем подбора весов и установки грузов 1 – 4 (см. рис. 1), в то время как грузы 5 и 6 либо еще не установлены, либо устанавливаются технологические дифферентные шайбы с тем, чтобы устранить значительную плавучесть поплавка и разгрузить опоры установки для уравнивания.

2) Уравнивание по ΔG и M_d : а) измерение ΔG , б) устранение ΔG и M_d путем подбора весов и установки грузов 5 и 6.

3) Точное уравнивание по $M_{ст}$: а) измерение $M_{ст}$, б) устранение $M_{ст}$ путем перемещения центров масс и объемов грузов 1 – 4.

6.1. Измерение $M_{ст}$ на установке

РЭМН 1 и РЭМН 2 используются в качестве опор без сухого трения, а измерения осуществляются ДМ, с помощью которого рамка с поплавком или без поплавка устанавливается в горизонтальное положение.

Перед установкой поплавка в рамку осуществляется измерение момента ее неуравновешенности M_p относительно оси ее подвеса. При этом момент, создаваемый ДМ,

$$M_{дмр} = M_p - M_t, \quad (4)$$

где M_t — суммарный момент тяжения РЭМН 1 и РЭМН 2.

Измерение $M_{ст}$ производится при четырех взаимно перпендикулярных положениях поплавка относительно рамки, то есть при двух противоположных горизонтальных положениях как оси I–I, так и оси II–II грузов ПЧЭ (см. рис. 1).

Искомый момент $M_{ст}$ (для каждой оси уравнивания) определяется по формуле

$$M_{ст} = \frac{M_{ст.и} - M'_{ст.и}}{2}, \quad (5)$$

где $M_{ст.и}$ — результат измерения при первом положении поплавка; $M'_{ст.и}$ — результат измерения при повороте поплавка на 180° ; $M_{ст.и}$ и $M'_{ст.и}$ подставляются с учетом их знаков.

1. При измерении $M_{ст}$ в случае *грубого уравнивания* могут иметь место четыре варианта:

а) нижняя маятниковость рамки с поплавком при плавучести (рис. 9, а). В этом случае $P_{рп} > G_{рп}$, рамка 5 с установленным в ней поплавком находится в состоянии неустойчивого равновесия и при отклонении в левую ($\alpha_{л}$) или правую ($\alpha_{п}$) стороны может поворачиваться до тех пор, пока моменты, создаваемые силами G и P , не уравновесят друг друга.

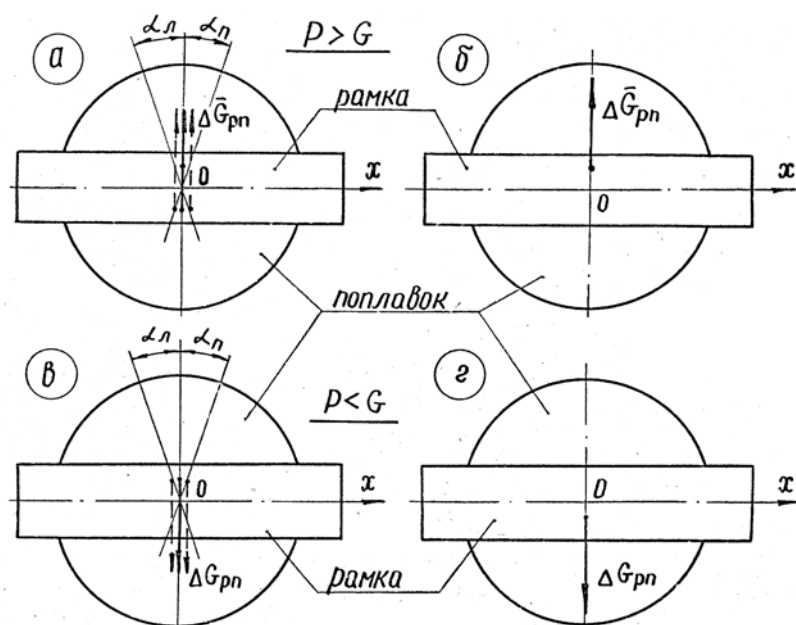


Рис. 9. Варианты положения центров масс и объема рамки с поплавком при наличии у них остаточного веса или плавучести

Измеряются моменты (для каждой оси уравнивания), создаваемые ДМ для того, чтобы рамка с поплавком вернулась в горизонтальное положение при ее повороте влево и вправо.

При первом положении поплавок относительно рамки

$$\begin{cases} M_{\text{ДМ рп.л}} = M_{\text{рп.л}} - M_{\text{т}}, \\ M_{\text{ДМ рп.п}} = M_{\text{рп.п}} - M_{\text{т}}, \end{cases} \quad (6)$$

где

$$\begin{cases} M_{\text{рп.л}} = \pm M_{\text{ДМ.р}} \pm M_{\text{ст.и}}, \\ M_{\text{рп.п}} = \mp M_{\text{ДМ.р}} \mp M_{\text{ст.и}} \end{cases} \quad (7)$$

— моменты неуравновешенности рамки с поплавком относительно оси ее подвеса при их повороте влево и вправо.

Таким образом,

$$M_{\text{ст.и}} = \frac{1}{2} (M_{\text{ДМ рп.л}} + M_{\text{ДМ рп.п}}). \quad (8)$$

При повороте поплавок на 180° (те моменты, величины которых будут отличаться от их значений при первом положении поплавок, обозначим со штрихами)

$$\begin{cases} M'_{\text{ДМ рп.л}} = M'_{\text{рп.л}} - M_{\text{т}}, \\ M'_{\text{ДМ рп.п}} = M'_{\text{рп.п}} - M_{\text{т}}, \end{cases} \quad (9)$$

$$\begin{cases} M'_{\text{рп.л}} = \pm M_{\text{ДМ.р}} \pm M'_{\text{ст.и}}, \\ M'_{\text{рп.п}} = \mp M_{\text{ДМ.р}} \mp M'_{\text{ст.и}}, \end{cases} \quad (10)$$

$$M'_{\text{ст.и}} = \frac{1}{2} (M'_{\text{ДМ рп.л}} + M'_{\text{ДМ рп.п}}). \quad (11)$$

б) верхняя маятниковость при плавучести (рис. 9, б).

Рамка с поплавком имеет момент неуравновешенности $M_{\text{рп}}$ относительно оси ее подвеса. В этом случае

$$\begin{cases} M_{\text{ст.и}} = M_{\text{рп}} - M_{\text{р}}, \\ M_{\text{ДМ рп.п}} = M_{\text{рп}} - M_{\text{т}}. \end{cases} \quad (12)$$

Из формул (4) и (12)

$$\begin{cases} M_{\text{ст.и}} = M_{\text{ДМ рп.п}} - M_{\text{ДМ р}}, \\ M'_{\text{ст.и}} = M'_{\text{ДМ рп.п}} - M_{\text{ДМ р}}. \end{cases} \quad (13)$$

в) верхняя маятниковость при наличии остаточного веса ($G_{\text{рп}} > P_{\text{рп}}$) у рамки с поплавком (рис. 9, в), которые находятся в состоянии неустойчивого равновесия.

Момент $M_{\text{ст}}$ определяется так же, как и в варианте 1а.

г) нижняя маятниковость при наличии остаточного веса у рамки с поплавком (рис. 9, з).

Момент $M_{\text{ст}}$ определяется так же, как и в варианте 1б.

2. При **точном уравнивании** ПЧЭ относительно оси его подвеса, которое проводится после уравнивания по ΔG и $M_{\text{д}}$ моменты $M_{\text{ст.и}}$ и $M'_{\text{ст.и}}$ определяется так же, как и в варианте 1б (при грубом уравнивании), так как рамка (без поплавка) имеет остаточный вес и нижнюю маятниковость.

Во всех случаях при измерении $M_{\text{ст}}$

$$M_{\text{ДМ р}} = k_I I_{\text{ДМ р}}; \quad M_{\text{ДМ рп}} = k_I I_{\text{ДМ рп}}, \quad (14)$$

где K_I — крутизна ДМ; $I_{\text{ДМ р}}$ и $I_{\text{ДМ рп}}$ — токи в обмотках ДМ при измерении момента неуравновешенности рамки без поплавка (р) и с поплавком (рп) относительно оси ее подвеса.

6.2. Измерение ΔG и $M_{\text{д}}$ на установке

Резонансные электромагнитные ньютометры РЭМН 1 и РЭМН 2 используются в этом случае и как опоры без сухого трения, и как измерительные установки, позволяющие определять усилия, приложенные к их якорям (рис. 10).

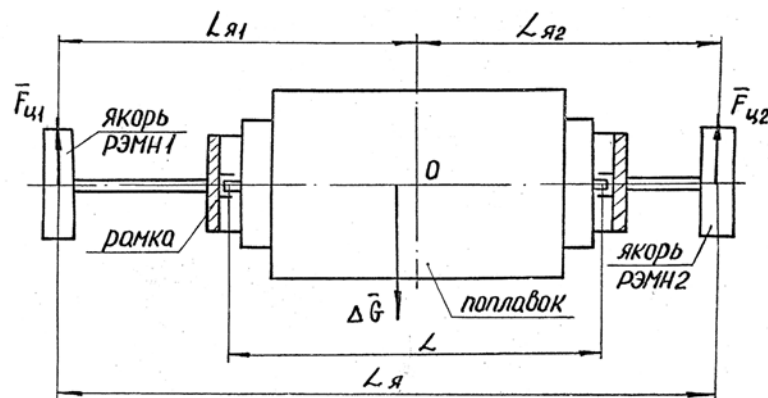


Рис. 10. К определению ΔG и $M_{\text{д}}$

При измерениях определяются радиальные центрирующие силы РЭМН 1 и РЭМН 2, соответствующие неуравновешенности рамки с поплавком $F_{ц1\text{ рп}}$ и $F_{ц2\text{ рп}}$ и без поплавка $F_{цр1}$ и $F_{цр2}$

$$\begin{cases} F_{ц1,2\text{ р}} = k_2 (\text{ИБ})_{1,2\text{ р}} , \\ F_{ц1,2\text{ рп}} = k_2 (\text{ИБ})_{1,2\text{ рп}} , \end{cases} \quad (15)$$

где k_2 — коэффициент пропорциональности (крутизна РЭМН 1 и РЭМН 2 которая при их изготовлении по второму классу точности практически одинакова для обоих ньютометров); (ИБ) — измеряемая величина. Измеряемыми величинами, как указывалось выше, являются $I_{1,3} (\Delta I)$, $P_{1,3} (\Delta P)$, $\Phi_{1,3} (\Delta \Phi)$ и u_{a_1, a_3} , а радиальные центрирующие силы $F_{ц1}$ и $F_{ц2}$, соответствующие неуравновешенности поплавка, вычисляются как разность

$$F_{ц1,2} = F_{ц1,2\text{ рп}} - F_{ц1,2\text{ р}} = k_2 (\text{ИБ})_{1,2} . \quad (16)$$

В свою очередь, искомая измеряемая величина

$$(\text{ИБ})_{1,2} = (\text{ИБ})_{1,2\text{ рп}} - (\text{ИБ})_{1,2\text{ р}} . \quad (17)$$

Остаточные вес (плавучесть)

$$\Delta G = +(F_{ц1} + F_{ц2}) . \quad (18)$$

Момент дифферента

$$M_{\text{д}} = +(F_{ц1} L_{я1} + F_{ц2} L_{я2}) , \quad (19)$$

где $L_{я1}$ и $L_{я2}$ — плечи сил $F_{ц1}$ и $F_{ц2}$ относительно оси X , т. е. расстояния от центра симметрии ПЧЭ до плоскостей симметрии РЭМН 1 и РЭМН 2.

В формулах (18) и (19) силы и моменты, создаваемые ими, подставляются с учетом знаков.

На установке легко проводить объемно-температурное уравнивание. В этом случае операция осуществляется в два перехода:

1) определение и устранение $M_{\text{ст}}$, ΔG и $M_{\text{д}}$ при температуре t_1 , причем устранение $M_{\text{ст}}$ осуществляется грузами, имеющими плотность, отличную от плотности жидкости при этой температуре;

2) определение и устранение $M_{\text{ст}}$ при температуре t_2 с помощью уравнивающих грузов, имеющих плотность, равную плотности жидкости при температуре t_1 .

Выводы

1. Универсальная установка с РЭМН1, РЭМН 2, ДУ и ДМ дает возможность определять с высокой точностью все три параметра неуравновешенности ПЧЭ ($M_{ст}$, ΔG и M_d) путем сравнения неуравновешенности рамки с ПЧЭ и без ПЧЭ, причем определение $M_{ст}$ осуществляется при двух горизонтальных противоположных положениях осей I–I и II–II балансировочных грузов ПЧЭ, а определение ΔG и M_d осуществляется при одном и том же положении ПЧЭ относительно рамки.
2. На установке можно проводить объемно-температурное уравнивание.
3. На установке можно автоматизировать процесс вычислений с помощью компьютера и осциллографа.

Литература

1. *Анцев Г.В.*, Проектирование устройств с электромагнитным подвесом / Г.В. Анцев, С.В. Богословский, Г.А. Сапожников. М.: Наука, 2010. 421 с.
2. *Барановский А.М.* Уравнивание и виброзащита машин: учеб. Издание / А.М. Барановский, А.К. Зуев, М.К. Зуев, М.К. Романченко; Мин-во трансп. РФ, Новосиб. гос. академия водн. трансп. Новосибирск: Наука, 2011. 111 с.
3. *Гоцеридзе Р.М.* Устройство для балансировки поплавкового чувствительного элемента // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2002. № 1. С. 21–23.
4. *Гусаров А.А.* Балансировка роторов машин: в 2 кн. / А.А. Гусаров. М.: Наука, 2004. Кн. 1. 267 с. Кн. 2. 383 с.
5. *Пашаев А.М.* Теория и практика магнитной левитации в машиностроении / А.М. Пашаев, О.З. Эфендиев. М.: Машиностроение, 2009. 335 с.
6. *Осокин Ю.А.* Теория и применение электромагнитных подвесов / Ю.А. Осокин, В.Н. Герди, К.А. Майков, Н.Н. Станкевич. М.: Машиностроение, 1980. 284 с.

Multipurpose installation for determining disbalance parameters of float sensitive elements of gyro-instruments

77-30569/338644

02, February 2012

Goceridze R.M.

Bauman Moscow State Technical University

Ruslan.Gotseridze@gmail.com

The installation of frame type for the purpose of balancing of floated sensitive element (ESE) of gyro-instruments in fluid, besides the frame, includes an electromagnetic suspension (EMS), an angle data transmitter (ADT), a torque sensor (TS) and two columns firmly attached to the foundation of frame. Armature of ADT, TS and two aligning elements (AE) of EMS were fixedly attached to two semi-axis of the frame, and their stators were attached to the apertures of the columns. AE of EMS are used both for suspension of the frame in fluid (without ESE, and then together with ESE) and as force sensors (accelerometers) allowing to determine the values of forces applied to the armatures of AE of EMS. Residual weight of ΔG or floatability of ΔP and trim moment of M_d of ESE were determined with the results of measurement. The feedback “angle data transmitter – torque sensor” was used to determine the moment of static unbalance M_{st} about suspension axis of ESE.

Publications with keywords: [balancing](#), [float](#), [disbalance](#), [electromagnet](#)

Publications with words: [balancing](#), [float](#), [disbalance](#), [electromagnet](#)

References

1. Antsev G.V., Bogoslovskii S.V, Sapozhnikov G.A. *Proektirovanie ustroystv s elektromagnitnym podvesom* [Designing devices with electromagnetic suspension]. Moscow, Nauka Publ., 2010, 421 p.
2. Baranovskii A.M., Zuev A.K., Zuev M.K., Romanchenko M.K. *Uravnoveshivanie i vibrozashchita mashin* [Machines balancing and vibration protection]. Novosibirsk, Nauka Publ., 2011. 111 p.
3. Gotseridze R.M. Ustroistvo dlia balansirovki poplavykovogo chuvstvitel'nogo elementa [A device for balancing the float sensor]. *Sborka v mashinostroenii, priborostroenii* [Assembly in mechanical engineering and instrumentation], 2002, no. 1, pp. 21-23.
4. Gusarov A.A. *Balansirovka rotorov mashin*. v 2 kn. [Balancing of machine rotors. In 2 books]. Moscow, Nauka Publ., 2004, book 1. 267 p.; book 2. 383 p.
5. Pashaev A.M., Efendiev O.Z. *Teoriia i praktika magnitnoi levitatsii v mashinostroenii* [Theory and practice of magnetic levitation in engineering]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2009. 335 p.

6. Osokin Iu.A., Gerdi V.N., Maikov K.A., Stankevich N.N. *Teoriia i primeneniie elektromagnitnykh podvesov* [Theory and application of electromagnetic suspension]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1980. 284 p.