

техническая система", ввиду ограниченности доступа к информационным ресурсам. Можно ожидать, что обсуждение значений этих понятий будет продолжаться. Поэтому можно сформулировать следующие выводы.

**Выводы.** Данная проблема существует. Она пока еще окончательно не решена, поскольку не достигнуто согласие между учеными различных школ проектного менеджмента. Вместе с тем, эта проблема занимает центральное место в проектном управлении, поскольку она определяет основные принципы проектного управления как намерения создать уникальную ценность в условиях ограниченных ресурсов, бюджета и времени.

**Список литературы:** 1. Данеев А.В. Исследование динамики поведения сложных организационно-технических систем в условиях воздействия неблагоприятных факторов / А.В. Данеев, А.А. Воробьев, Д.М. Лебедев // Вестник Воронежского института МВД России. — Воронеж: ВИМВД, 2010. — №2. — С. 163–171. 2. Интеллектуальные системы управления организационно-техническими системами / Под ред. проф. А.А.Большакова. — М.: Горячая линия–Телеком, 2006. — 160 с. 3. Компьютерная поддержка сложных организационно-технических систем / В.В.Борисов, И.А.Бычков, А.В.Дементьев, А.П.Соловьев, А.С.Федулов. — М.: Горячая линия–Телеком, 2002. — 154 с. 4. Щёкин Г.В. Теория социального управления: Монография / Г.В.Щёкин. — К.: МАУП, 1996. — 408 с.

*Поступила в редколлегию 01.12.2010*

**УДК 621.317**

**Е.Н. БЕЗВЕСИЛЬНАЯ**, докт. техн. наук, профессор, НТУУ “КПИ”, г. Киев,

**А.В. КОВАЛЬ**, аспирант, ЖГТУ, г. Житомир,

**Е.В. ГУРА**, аспирант, НТУУ “КПИ”, г. Киев

## **ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ НЕКОТОРЫХ НЬЮТОНОМЕТРОВ В КАЧЕСТВЕ ГРАВИМЕТРОВ АВИАЦИОННОЙ ГРАВИМЕТРИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ**

Порівняльний аналіз деяких ньютонometrів, застосовуваних в якості чутливих елементів авіаційної гравіметричної системи.

Ключові слова: ньютонometr, гіроскоп, авіаційна гравіметрична система

Сравнительный анализ некоторых ньютонometrов, применяемых в качестве чувствительных элементов авиационной гравиметрической системы.

Ключевые слова: ньютонometr, гироскоп, авиационная гравиметрическая система

Comparative analysis of some of newtonometers used as sensitive elements of the aviation gravimetric system.

Key words: newtonometer, gyroscope, aviation gravimetric system

Современная техника систем инерциальной навигации достигла того уровня, когда ни новые схемные решения, ни совершенствование элементов системы не дают существенного повышения точности определения координат местоположения объекта и скорости его движения, так как источником

навигационных ошибок являются неопределенности в знании формы Земли и ее гравитационного поля. Одним из очевидных путей устранения указанных пробелов в знании гравитационного поля Земли является проведение в больших масштабах гравитационных измерений. Собранные данные, вложенные в память бортовой цифровой вычислительной машины, будут в значительной степени способствовать повышению точности определения навигационных параметров. Задача определения данных о гравитационном поле Земли может быть эффективно решена с помощью авиационной гравиметрической системы (АГС), чувствительным элементом которой является гравиметр или ньютонометр (термин "гравиметр" определяет функциональное отличие данной группы приборов от более широкого понятия "ньютонометр", хотя принцип действия приборов, теория, основные элементы их чувствительных систем идентичны).

Отдельные описания конструкций и технические характеристики ряда ньютонометров, применяемых в АГС, содержатся, например в [1– 6]. Однако обобщенного сравнительного анализа основных характеристик приборов в литературе нет. В связи с этим **целью настоящей работы** является дать сравнительный анализ некоторых ньютонометров, применяемых в качестве чувствительных элементов АГС. В основу анализа положены основные технические характеристики приборов, разработанных и используемых для авиационных гравиметрических измерений в США и СНГ. На основе такого сравнительного анализа можно судить о возможности применения того или иного типа ньютонометра в АГС.

Показывается, что можно существенно повысить точность измерений гравитационного ускорения с помощью гироскопического ньютонометра за счет уменьшения инструментальных ошибок и методической погрешности последнего, если применить трехстепенной гироскоп с вертикально расположенной осью наружной рамки и смещенным центром тяжести относительно внутренней и наружной рамок, но соответствующим осям которого предусмотрены две системы позиционно-интегральной коррекции.

Приводятся частные случаи предлагаемой схемы прибора. Авиационные гравиметрические измерения, выполненные в США с наиболее часто употребляемыми для этих целей ньютонометрами типа Bell (Bell BGM-2, Bell VMIX), PIGA (16 PIGA, 25 PIGA), Autonetics (VM-4G, VM-7G), Arma (Arma LotD, Arma D4E), показали возможность получения точности до 1 – 10 мгл [5].

В СНГ авиационные гравиметрические измерения осуществлялись в основном с кварцевыми сильно-демпфированными (ГАЛ-С) [3] и струнными ньютонометрами [1].

Технические характеристики перечисленных ньютонометров приведены в таблице, что позволяет легко сравнить их и выбрать нужный тип прибора.

Одним из наиболее перспективных для применения в АГС в настоящее время считаются приборы типа PIGA [5]. Однако такой ньютонометр, используемый в качестве гравиметра, имеет одну ось чувствительности, параллельную оси вращения гироскопа относительно основания, и измеряет проекцию гравитационного ускорения на эту ось. Для определения

направления гравитационной вертикали требуется весьма точная стабилизация оси чувствительности ньютометра по направлению гравитационного поля Земли.

В районах гравитационных аномалий происходит искажение гравитационного поля, что вызывает дополнительные методические погрешности прибора.

Кроме того, вращение гироскопа вокруг оси наружной рамки обуславливает появление различного рода возмущающих моментов (например, моментов сил сухого трения в опорах, момента, создаваемого токопроводами, момента обратного воздействия электрического датчика угла и т. п.), вызывающих инструментальные погрешности РИГА.

На рисунке приведена функциональная схема прибора, лишенного перечисленных недостатков.

Гироскопический ньютометр имеет в качестве чувствительного элемента трехступенный гироскоп в кожухе с внутренней рамкой 1, заключенный в карданов подвес таким образом, что центр тяжести гироскопа 2 смещен относительно оси внутренней рамки на расстояние  $l$ , а относительно оси наружной рамки – на расстояние  $\varepsilon$ . Гироскоп в кожухе помещен в наружную рамку 3, ось вращения которой расположена вертикально. На оси 5 внутренней рамки 1 располагается электрический датчик момента 6, к обмотке управления которого через интегратор 7 подключен выход электрического датчика угла 8.

На оси 5 внутренней рамки 1 располагается электрический датчик угла 9, выход которого через интегрирующее устройство 10 соединен с обмоткой управления датчика моментов 11, расположенного на оси 4 наружной рамки гироскопа.

Такой гироскопический ньютометр, имеющий две оси чувствительности, работает следующим образом. При наличии составляющей  $g_z$  гравитационного ускорения вдоль оси 5 внутренней рамки гироскопа последний начнет поворачиваться вокруг оси наружной рамки под действием маятникового момента  $m\varepsilon g_z$  ( $m$  – масса гироузла).

Поворот гироскопа под действием этого момента приводит к появлению электрического сигнала датчика угла 8, расположенного на оси 4 наружной рамки. Датчик момента 6 создаст момент, компенсирующий маятниковый момент  $m\varepsilon g_z$ .

Интегральная коррекция гироскопа приводит к тому, что в установившемся положении угол поворота наружной рамки вокруг своей оси равен нулю, а ток в обмотке управления датчика момента 6 пропорционален проекции гравитационного ускорения  $g_z$  на ось внутренней рамки гироскопа.

Под действием маятникового момента  $mgl_y$ , вызванного составляющей гравитационного ускорения  $g_y$  вдоль оси наружной рамки, гироскоп начнет поворачиваться вокруг оси 4 наружной рамки.

Таблица

| Тип гравиметра | Дрейф за 12ч, мгл | Температурный коэффициент, мгл/град | Время регулирования, с | Порог чувствительности, мкгл | Вес, кг | Размеры, см     | Маятниковость, ГСМ | Специальные требования | Количество произведенных акселерометров, шт | Количество произведенных гравиметров, шт | Различие между акселерометром и гравиметром |
|----------------|-------------------|-------------------------------------|------------------------|------------------------------|---------|-----------------|--------------------|------------------------|---|--|---|
| LR Мод S       | 1                 | 0,005                               | 1                      | 1                            | -       | -               | -                  | -                      | -   | 30                                       | -   |
| BeLL BGM-2     | 2                 | 0,005                               | 1                      | 2                            | 2,24    | 10x15x20        |                    |                        | 1000  | 10                                       | М   |
| BeLL VMIX      | 2                 | 0,005                               | 1                      | 2                            | -       |                 | -                  | -                      | Несколько                                   | Совсем нет                               | М   |
| 16 PIGA        | 3                 | 0,005                               | 1                      | 3                            | 1,7     | 13x15           | 25                 | АС                     | Тысячи                                      | Совсем нет                               | м   |
| VM-7Q          | 3                 | 0,005                               | 2                      | 2                            | -       | -               | 24                 | -                      | 1000  | 2  |   |
| Арма D4E       | 2                 | 0,1                                 | 2                      | 1                            | -       | ? 23, высота 23 |                    | ТК                     | 40  | 2  | м   |
| Арма LotD      | 2                 | 0,1                                 | 2                      | 1                            | -       | ? 7, высота 13  |                    | ТК                     | 1000  | 2  | м   |
| Струнный       | 2                 | 0,003                               | 2                      | 1                            |         | 7,5x4x2,8       | -                  | -                      | -   | -  | м   |
| ГАЛ-С          | 2                 | 0,001                               | 2                      | 2                            | 23      | 30x30x74        | -                  | -                      | -   | -  | м   |

Примечание. АС – азимутальная стабилизация; М- наибольшая разница; ТК – очень точный температурный контроль; м – наименьшая разница.

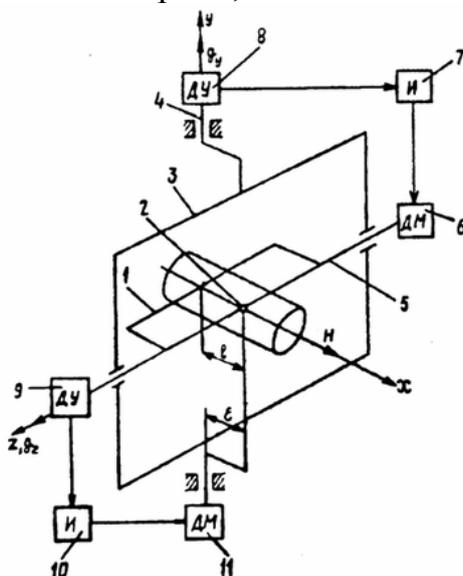


Рис. Функциональная схема гироскопического ньютонометра

Поворот гироскопа под действием момента  $mg l_y$  приводит к появлению электрического сигнала датчика угла 9. Датчик моментов 11 создает момент, компенсирующий маятниковый момент  $mg l_y$ .

Интегральная коррекция обеспечивает нулевое значение установившегося угла поворота внутренней рамки относительно наружной, при этом ток в обмотке управления датчика момента 11 пропорционален проекции гравитационного ускорения  $g_y$  на ось наружной рамки гироскопа.

Для пояснения принципа работы рассматриваемого гироскопического ньютонометра приведем систему уравнений, описывающих движение прибора [2]:

$$\left. \begin{aligned} H\dot{\beta} + k_1\beta + \mu \int_0^t \beta dt &= -(m\epsilon g_z + M_H), \\ H\dot{\alpha} + k_2\alpha + \nu \int_0^t \alpha dt &= ml g_y + M_B, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $H$  – кинетический момент гироскопа;  $\alpha$ ,  $\beta$  – углы поворота гироскопа вокруг осей наружной и внутренней рамок соответственно;  $k_1$ ,  $k_2$  – коэффициенты, равные произведению передаточных коэффициентов соответствующих датчика угла и датчика момента;  $\mu$ ,  $\nu$  – передаточные коэффициенты соответствующих интегрирующих устройств;  $M_H$ ,  $M_B$  – возмущающие моменты, действующие по осям наружной и внутренней рамок гироскопа.

Вводя оператор дифференцирования  $p = \frac{d}{dt}$ , из системы уравнений (1) получаем следующее выражение для углов  $\alpha$  и  $\beta$  поворота гироскопа:

$$\left. \begin{aligned} \alpha(p) &= \frac{(ml g_y + M_B)p}{Hp^2 + k_2p + \nu}, \\ \beta(p) &= -\frac{(m\epsilon g_z + M_H)p}{Hp^2 + k_1p + \mu}. \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

В установившемся состоянии (при  $p = 0$ ) углы поворота гироскопа вокруг осей внутренней и наружной рамок равны нулю. При этом уменьшаются величины возмущающих моментов  $M_H$  и  $M_B$ , зависящих от поворотов гироскопа вокруг соответствующих осей.

Таким образом, если ось внутренней рамки гирогравиметра расположить в плоскости географического меридиана, то, измеряя две составляющие  $g_y$  и  $g_z$  гравитационного ускорения, можно определить результирующее направление гравитационной вертикали  $g$  и модуль гравитационного ускорения по формулам

$$g = y_0 g_y + z_0 g_z, \quad (3)$$

где  $y_0$  и  $z_0$  – единичные орты осей  $y$  и  $z$ ,

$$|g| = \sqrt{g_y^2 + g_z^2}. \quad (4)$$

Если в уравнениях (1) положить  $\mu = \nu = \epsilon = 0$ , то они будут описывать динамику гироскопического интегратора линейных ускорений с интегральной межрамочной коррекцией, рассмотренного в [2]. Если ограничиться анализом гироскопа с позиционной коррекцией без учета вредных моментов  $M_H$  и  $M_B$ , то систему (1) можно записать в виде

$$\left. \begin{aligned} H\dot{\beta} + k_1\beta &= 0, \\ H\dot{\alpha} + k_2\alpha &= mgl. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

Установившиеся значения углов  $\alpha^*$  и  $\beta^*$  будут равны:

$$\beta^* = 0, \quad \alpha^* = \frac{k_3}{T\rho+1}g, \quad (6)$$

где  $k_3 = \frac{ml}{k_2}$ ;  $T = \frac{H}{k_2}$  – постоянная времени гиرونьютометра.

Из формулы (6) следует, что в динамическом отношении рассмотренный гиرونьютометр представляет собой апериодическое звено по отношению к измеряемому ускорению. Рациональным выбором постоянной времени  $T$  можно обеспечить требуемые частотные характеристики прибора. Применение в предлагаемом ньютоньометре компенсационного метода определения гравитационных ускорений позволяет существенно повысить точность АГС, построенной на его базе, по сравнению с использованием гироскопического интегратора линейных ускорений.

**Выводы.** Выбор того или иного типа ньютоньометра для построения АГС следует производить исходя из конкретных условий работы системы. При существующем состоянии авиационных гравиметрических систем целесообразно комплексное использование ньютоньометров различного типа для уточнения методики и повышения точности гравиметрических измерений на подвижном основании.

Однако следует отметить перспективность и целесообразность разработки и использования гироскопических ньютоньометров, в которых значительно лучше разработаны вопросы автоматизации, съема и обработки сигнала датчика, обладающих сравнительно простой измерительной схемой и меньшей зависимостью от температуры окружающей среды, чем другие типы ньютоньометров.

**Список литературы:** 1. Лозинская, А. М. Аэрогравиметрическая аппаратура на базе струнных датчиков / А. М. Лозинская, З. П. Фомина, И. Л. Яшаев // Прикладная геофизика. — 1973. — Вып. 70. — С. 175 — 185. 2. Лунц, Я. Л. Введение в теорию гироскопов / Я. Л. Лунц. — М.: Наука, 1972. — 296 с. 3. Попов, Е. И. Аппаратурные и опытно-методические работы по морской гравиметрии: Сборник статей / Е. И. Попов. — М.: Наука, 1973. — 131 с. 4. Ткачев, Л. И. Системы инерциальной ориентировки. Ч. 1. Основные положения теории. / Л.И. Ткачев. — М.: МЭИ, 1993. — 213 с. 5. Wilmoth, E. D. An investigation of methods for determining gravity anomalies from an aircraft: Sc. D. Thesis. / E. D. Wilmoth. — Mass. Inst. of Tech. 1989. — 76 p. 6. Безвесільна, О. М. Авіаційні гравіметричні системи та гравіметри: Монографія / О. М. Безвесільна. — Житомир: ЖДТУ, 2007. — 604 с.

*Поступила в редколлегию 01.12.2010*

**УДК 519.687.1**

**Г.М. ЗАХАРЕНКО**, студент, НТУ «ХП»

**Д.В. КУКЛЕНКО**, канд. техн. наук, доц. каф. АСУ НТУ «ХП»

## **ЗАСТОСУВАННЯ ЕКСПЕРТНИХ СИСТЕМ У ВИРШЕННІ ЗАДАЧІ УПРАВЛІННЯ ПРОДУКТИВНІСТЮ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ РЕСУРСІВ БІЛНГОВОЇ СИСТЕМИ МОБІЛЬНОГО ОПЕРАТОРА**

В статті проаналізовано причини збільшення навантажень на обчислювальні ресурси