

(кривая 5) в результатах моделирования зависимости дисперсии линии задержки в непрерывном времени D_{t_q} , среднего квадратического отклонения σ и среднее время задержки пакета данных \bar{t}_q от длины канала связи Dm , приведенных на рисунках 4, 5 и 6 соответственно.

Вывод. В заключении необходимо отметить, что количество бит пакета данных и полей из которых он состоит, а также их длины отличны у сетей, работающих по интернет протоколу (IPv4 или IPv6), однако эти изменения будут отражены лишь в численных значениях коэффициентов, выражения (1),(3),(5),(7)-(11) останутся неизменными.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сорочинская К.В. Модели и методы расчета локальных сетей реального времени : автореферат ... кандидата технических наук : 05.12.13.- Санкт-Петербург, 2001.- 267 с.
2. Компьютерные сети. 5-е изд. / Э. Таненбаум. — СПб.: Питер, 2012. - 992 с.

УДК 519.711.3

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ УГЛА НАКЛОНА ПЛОСКОСТИ ДВУХКООРДИНАТНОГО МАГНИТОСТРИКЦИОННОГО УГЛОМЕРА ОТНОСИТЕЛЬНО ГОРИЗОНТАЛЬНОЙ ПЛОСКОСТИ

А.А. Воронцов¹

¹кандидат технических наук, доцент кафедры «Вычислительные машины и системы», федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Пензенский государственный технологический университет», г. Пенза, Россия, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

Аннотация. В данной статье получена расчетная формула угла наклона плоскости двухкоординатного магнитострикционного угломера через углы наклона во взаимно перпендикулярных плоскостях α и β . Совпадение численных значений результатов, полученных при моделировании и экспериментальным методом свидетельствует об адекватности расчетной формулы.

Ключевые слова: угол наклона плоскости, расчет угла наклона, двухкоординатный магнитострикционный угломер, магнитострикционный угломер.

THEMATICAL MODELLING AND CALCULATION OF THE TILT ANGLE OF THE PLANE OF THE TWO-COORDINATE MAGNETOSTRICTIVE TILTMETER OF RATHER HORIZONTAL PLANE

Alexander Vorontsov¹

¹Ph.D., associate professor 'Computers and systems', federal state-funded educational institution of the highest education 'Penza state technological university', Penza, Russia, e-mail: aleksander.vorontsov@gmail.com

Abstract. In this article the settlement formula of a tilt angle of the plane of a two-coordinate magnetostrictive goniometer through tilt angles in mutually perpendicular planes is received. Coincidence of numerical values of the results received when modeling and an experimental method demonstrates adequacy of a settlement formula.

Keywords: plane tilt angle, calculation of a tilt angle, two-coordinate magnetostrictive goniometer, magnetostrictive tiltmeter.

Введение. Магнитострикционные приборы нашли применение во многих отраслях современной промышленности. Работая в составе систем автоматического регулирования, они позволяют решать широкий круг задач и гарантируют высокую точность полученных результатов. Их отличает широкая область возможного применения, низкая себестоимость, простота конструкции, высокое быстродействие и разрешающая способность [1-2]. Так, например, для определения угла наклона объекта относительно горизонтали или вертикали используют приборы или устройства, называемые наклономерами.

Магнитострикционные угломеры можно условно разделить на две основные группы – однокоординатные (ОМУ) и двухкоординатные (ДМУ). ДМУ позволяют проводить одновременное измерение двух углов наклона объекта во взаимноперпендикулярных плоскостях относительно вертикали или горизонтали.

Один из вариантов реализации первичного преобразователя двухкоординатного магнитострикционного угломера приведен на рисунке 1.

Он содержит магнитострикционный преобразователь перемещений, выполненный в виде сферического корпуса 1 из немагнитного материала, например пластика, с заполненной наполовину рабочей жидкостью 2, поплавок 3 с кольцевым постоянным магнитом 4, однотипными С-образными волнодами 5, 6 из магнитострикционного материала [2].

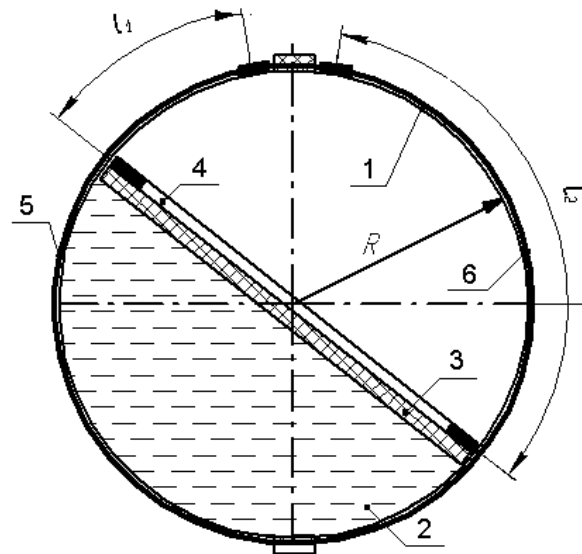


Рисунок 1 – Первичный преобразователь двухкоординатного магнито-стрикционного угломера.

Одной из возможностей предложенной конструкции двухкоординатного магнитострикционного угломера является возможность косвенного определения кодов величины и знака угла наклона объекта в отклоняемой плоскости γ по рассчитанным значениям кодов углов отклонения объекта в двух взаимно перпендикулярных плоскостях относительно горизонтали (рисунок 2, углы α и β соответственно), о чем не сказано в упомянутом источнике.

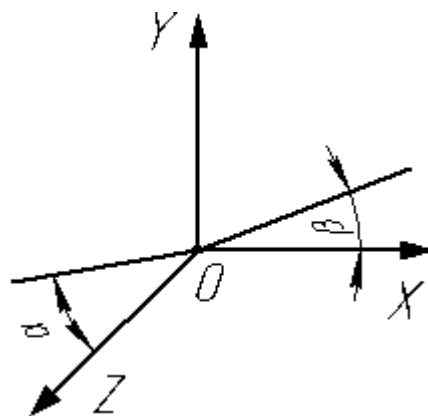


Рисунок 2 – Углы наклона объекта относительно вертикальной плоскости

Целью работы является вывод, проверка и моделирование формулы расчета угла γ через α и β . Это позволит расширить диапазон применения описанных устройств.

Материал и результаты исследований.

Представим ДМУ в виде горизонтальной плоскости П1 с базисными векторами $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ (рисунок 3а).

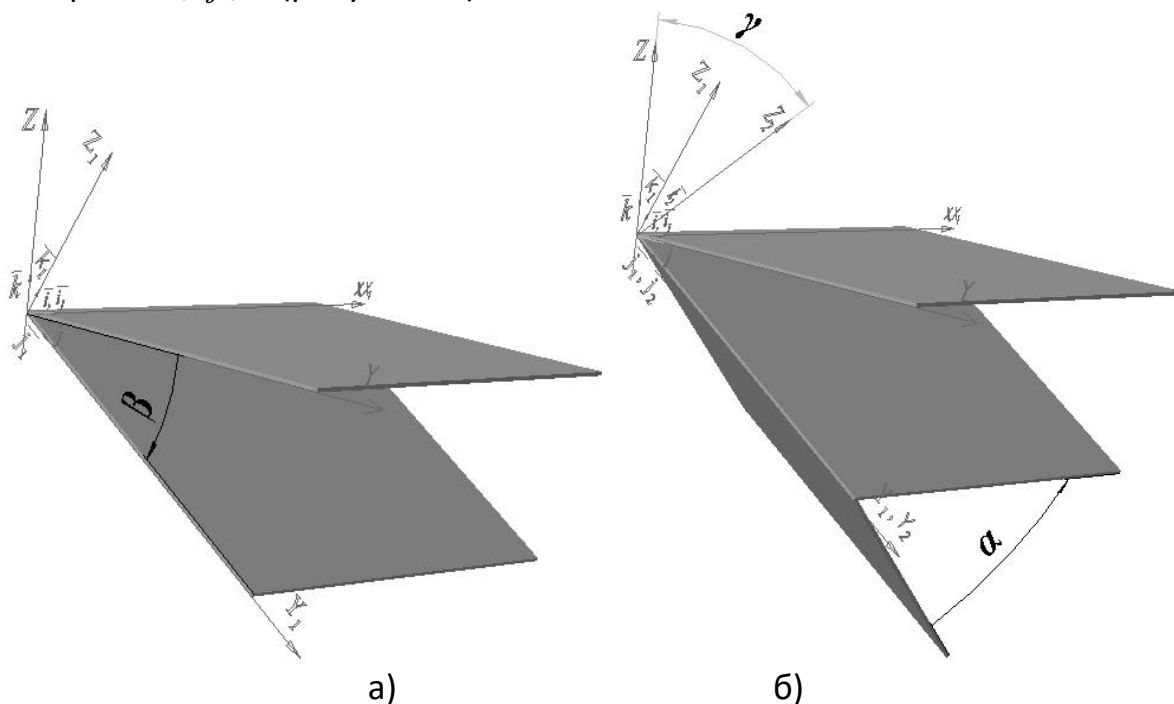


Рисунок 3 – Поворот ДМУ в одной и двух взаимноперпендикулярных плоскостях

Перейдем к новой системе координат K1 с репером $\langle 0, i_1, j_1, k_1 \rangle$, смещенной на произвольный угол α в плоскости YOZ относительно K. Базисные вектора систем координат K и K1 будут связаны между собой в соответствии с выражением (1):

$$\begin{cases} \vec{i}_1 = \vec{i} \\ \vec{j}_1 = 0 \cdot \vec{i} + \cos \alpha \cdot \vec{j} + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \alpha\right) \cdot \vec{k} \\ \vec{k}_1 = 0 \cdot \vec{i} + \cos\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \cdot \vec{j} + \cos \alpha \cdot \vec{k} \end{cases} \quad (1)$$

Поворачивая систему координат K1 на произвольный угол β (рисунок 3б) в плоскости XOZ, получаем систему координат K2 с репером $\langle 0, i_2, j_2, k_2 \rangle$. Базисные вектора систем координат K1 и K2 будут связаны между собой соответственно:

$$\begin{cases} \bar{i}_2 = \bar{i}_1 \cdot \cos \beta + 0 \cdot \bar{j}_1 + \cos\left(\frac{\pi}{2} + \beta\right) \cdot \bar{k}_1 \\ \bar{j}_2 = \bar{j}_1 \\ \bar{k}_2 = \cos\left(\frac{\pi}{2} - \beta\right) \cdot \bar{i}_1 + 0 \cdot \bar{j}_1 + \cos \beta \cdot \bar{k}_1 \end{cases} \quad (2)$$

Связь между старым базисом (\bar{k}) и новым (\bar{k}_2) базисными векторами, согласно (1) и (2), определяется выражением (3), где коэффициент перед \bar{k} и есть направляющий косинус угла γ (4).

$$\bar{k}_2 = \sin \beta \cdot \bar{i} + \cos \beta \cdot (\sin \alpha \cdot \bar{j} + \cos \alpha \cdot \bar{k}) = \sin \beta \cdot \bar{i} + \cos \beta \cdot \sin \alpha \cdot \bar{j} + \cos \beta \cdot \cos \alpha \cdot \bar{k} \quad (3)$$

$$\cos \gamma = \cos \beta \cdot \cos \alpha \Rightarrow \gamma = \arccos(\cos \beta \cdot \cos \alpha) \quad (4)$$

Знак угла γ , а также четверть, в которой происходит отклонение поляризатора относительно вертикальной плоскости можно узнать по отклонениям углов α и β .

Для численной проверки формулы (4) авторами статьи была собрана экспериментальная установка, изображение которой приведено на рисунке 4, состоящей из пластины из оргстекла 1, имитирующей плоскость отклонения ДМУ от горизонтальной поверхности, представленной поверхностью стола, трех транспортиров 2, предназначенных для фиксации углов отклонения во взаимноперпендикулярных плоскостях α и β относительно горизонтальной плоскости, а также угла наклона плоскости ДМУ относительно последней γ .

Так как угол наклона плоскости удобнее измерять над поверхностью пластины 1, то для задания горизонтальной плоскости, относительно которой и определялся угол наклона плоскости γ был использован жидкостный однокоординатный уровень 3. Для определения направления отклонения плоскости в конструкцию был использован жидкостный двухкоординатный уровень 4.

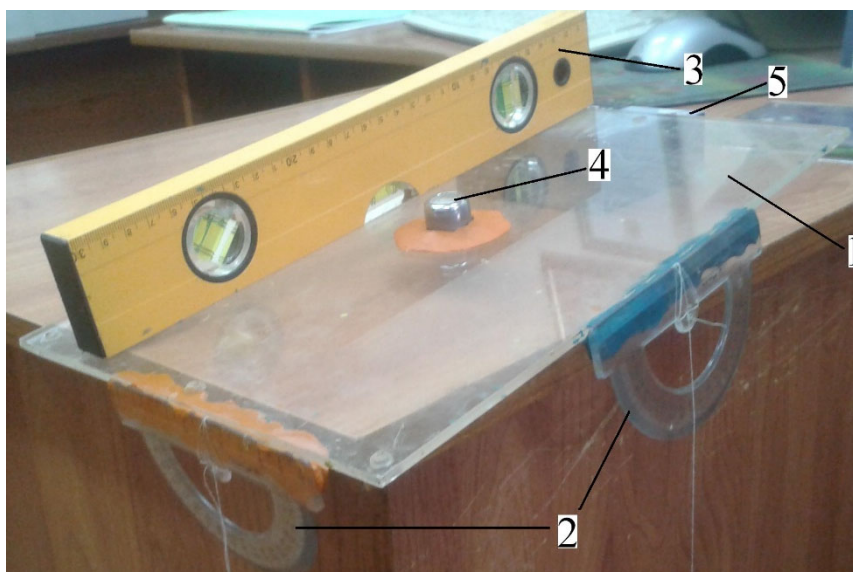


Рисунок 4 – Экспериментальная установка

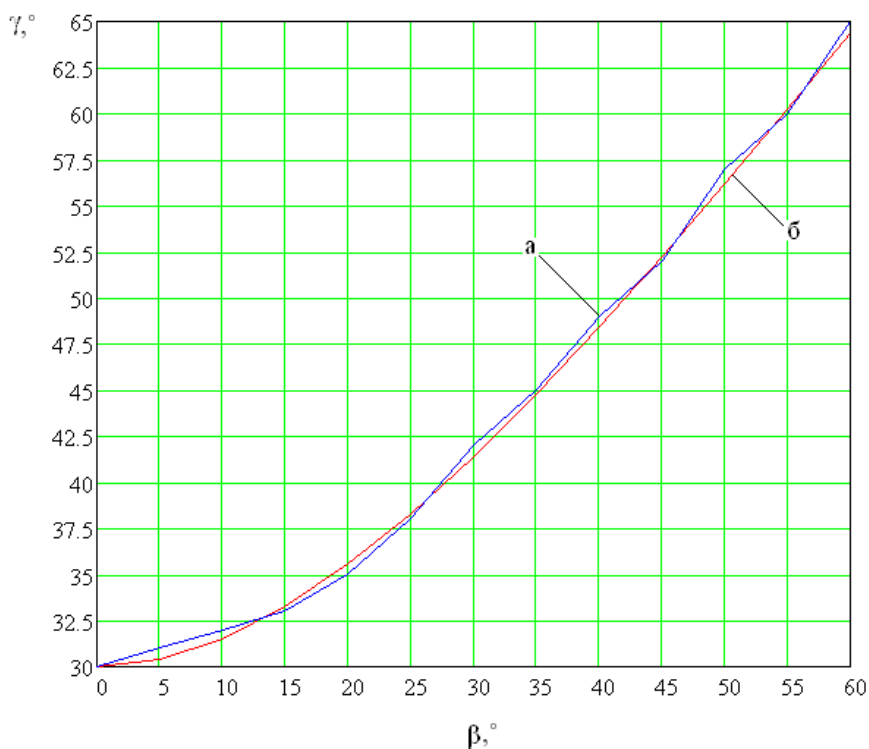


Рисунок 5 – Зависимость угла наклона плоскости ДМУ γ от β при $\alpha = 30^\circ$, полученная по расчетной формуле(а) и экспериментальным путем(б)

Так, для одного из опытов при изменении одного из углов отклонения β с помощью книг разной толщины β и при неизменном значении второго угла наклона α были получены результаты, приведенные на рисунке 5. Как видно, полученные экспериментальным путем значения отличаются не более 2° от рассчитанных по формуле (4), что свидетельствует о достоверности полученной формулы.

Данная погрешность вычислений вполне допустима для приведенного стенда, так как систематическая погрешность каждого из транспортиров составляет $0,5^\circ$. Также нужно учитывать случайную погрешность, вызванную несовершенством органов чувств наблюдателя.

Вывод. Таким образом, в данной статье была получена и экспериментально проверена расчетная формула по определению угла наклона плоскости ДМУ относительно горизонтальной плоскости. Это позволяет существенно увеличить область применения приборов данного класса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электромагнитное поле: Учебник. – 9-е изд., перераб. и доп. – М: Гардарики, 2001. – 317 с.
2. Демирчян К.С. Теоретические основы электротехники. Т.2/ К.С. Демирчян, Л.Р. Нейман, Н.В. Коровкин. – СПб.: Питер, 2009. – 432 с.
3. Купалян С.Д. Теоретические основы электротехники. Ч.3. Электромагнитное поле. Издание 3-е, исправленное и дополненное. – М.: Энергия, 1970. – 248 с.
4. Воронцов А.А. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитоотрицательных наклонных магнитов, содержащих постоянный магнит в форме прямоугольного параллелепипеда/ Ю.Н. Слесарев, А.А. Воронцов, Э.В. Карпучин// Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – т.19. – №1. – С.25-29.
5. Математическое моделирование магнитных полей двухкоординатных магнитоотрицательных наклонных магнитов, содержащих постоянный магнит в форме прямоугольного параллелепипеда Слесарев Ю.Н., Воронцов А.А., Карпучин Э.В. Вестник Тамбовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 19. – № 1. – С. 25–29
6. Mathematical Modeling of Magnetic Fields of the Permanent Magnets and Solenoids, and Comparing the Results Obtained. Slesarev U.N., Mikhajlov P.G. and Vorontsov A.A. International Journal of Applied Engineering Research (IJAER) Volume 11, Number 20 (2016) pp. 10338–10342