

УДК 681.586:531.768:53.088

## КОМПЕНСАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ПОГРЕШНОСТЕЙ В КОМПОНЕНТАХ КОМПЬЮТЕРИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ КОНТРОЛЯ ОРИЕНТАЦИИ ОБЪЕКТОВ

ЖИВЦОВА Л. И.<sup>1</sup>, ассистент

<sup>1</sup> Кафедра автоматики и электротехники, Государственное высшее учебное заведение “Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры”, ул. Чернышевского, 24-а, 49600, Днепропетровск, Украина, тел. +38(066) 77-57-354, e-mail: [777\\_211@mail.ru](mailto:777_211@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-6176-1781

**Аннотация.** Целью данной работы является применение метода компенсации температурных погрешностей в компонентах компьютеризированных систем контроля ориентации объектов для снижения температурного дрейфа первичных преобразователей акселерометра. **Методика.** В работе проведено математическое моделирование инклинометрического преобразователя реализованного на основе блока двухосного акселерометра, учитывающий температурный дрейф первичных преобразователей блока акселерометра, аппроксимированный линейными функциями. Компенсация температурных погрешностей компонентов компьютеризированных систем ориентации осуществлялась по предварительно проведенным экспериментальным исследованиям первичных преобразователей акселерометра. При постоянном угле отклонения от вертикали определяются величины температурного дрейфа показаний первичных преобразователей, с последующим учетом их при определении искомым углов ориентации. Экспериментальные исследования проводились в термокамере создающей реальные температурные условия. **Результаты.** Разработана математическая модель двухосного блока акселерометра для инклинометра компьютеризированной системы контроля ориентации объектов. Математическая модель учитывает температурный дрейф первичных преобразователей, аппроксимированный линейными функциями. Предложена методика определения коэффициентов, описывающих закон температурного дрейфа первичных преобразователей с использованием экспериментальных данных. Результаты экспериментальных исследований показывают, что учет температурного дрейфа блока акселерометра в диапазоне изменения температур  $-40...+40$  °C позволяют существенно снизить погрешность в измерении углов ориентации объектов. **Научная новизна.** Получил дальнейшее развитие метод компенсации температурных погрешностей в компонентах компьютеризированных систем ориентации объектов, при обработке результатов измерений в эксплуатационных условиях, повышающий точность измерения угловых параметров пространственной ориентации. **Практическая значимость** заключается в разработке математической модели, положенной в основу инклинометрических преобразователей реализованных на основе блока двухосного акселерометра для контроля пространственной ориентации объектов. Применение метода компенсации температурных погрешностей в компонентах компьютеризированных системах контроля ориентации объектов с микропроцессорной техникой позволит улучшить технические характеристики первичных преобразователей и повысить точность определения углов ориентации контролируемых объектов.

**Ключевые слова:** блок акселерометра; математическая модель; погрешность; температура; метод компенсации; ориентация объектов; компьютеризированная система

## КОМПЕНСАЦІЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ ПОХИБОК В КОМПОНЕНТАХ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ОРІЄНТАЦІЇ ОБ'ЄКТІВ

ЖИВЦОВА Л. І.<sup>1</sup>, асистент

<sup>1</sup> Кафедра автоматики та електротехніки, Державний вищий навчальний заклад “Придніпровська державна академія будівництва та архітектури”, вул. Чернишевського, 24-а, 49600, Дніпропетровськ, Україна, тел. +38(066) 77-57-354, e-mail: [777\\_211@mail.ru](mailto:777_211@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-6176-1781

**Анотація.** Метою даної роботи є застосування методу компенсації температурних похибок в компонентах комп'ютеризованих систем контролю орієнтації об'єктів для зниження температурного дрейфу первинних перетворювачів акселерометра. **Методика.** У роботі проведено математичне моделювання інклінометричного перетворювача реалізованого на основі блоку двохосного акселерометра, що враховує температурний дрейф первинних перетворювачів блоку акселерометра, апроксимований лінійними функціями. Компенсація температурних похибок компонентів комп'ютеризованих систем орієнтації здійснювалася по заздалегідь проведеним експериментальним дослідженням первинних перетворювачів акселерометра. При постійному куті відхилення від вертикалі визначалися величини температурного дрейфу свідчень первинних перетворювачів, з подальшим обліком їх при визначенні шуканих кутів орієнтації. Експериментальні дослідження проводилися в термокамері, яка створює реальні температурні умови.

**Результати.** Розроблена математична модель двовісного блоку акселерометра для інклінометра комп'ютеризованої системи контролю орієнтації об'єктів. Математична модель враховує температурний дрейф первинних перетворювачів, апроксимований лінійними функціями. Запропонована методика визначення коефіцієнтів, що описує закон температурного дрейфу первинних перетворювачів з використанням експериментальних даних. Результати експериментальних досліджень показали, що облік температурного дрейфу блоку акселерометра в діапазоні зміни температур  $-40...+40^{\circ}\text{C}$  дозволяють істотно знизити похибку у вимірюванні кутів орієнтації об'єктів. **Наукова новизна.** Отримав подальший розвиток метод компенсації температурних похибок в компонентах комп'ютеризованих систем орієнтації об'єктів, при обробці результатів вимірювань в експлуатаційних умовах, що підвищує точність вимірювання кутових параметрів просторової орієнтації. **Практичне значення** полягає в розробці математичної моделі, покладеної в основу інклінометричних перетворювачів реалізованих на основі блоку двовісного акселерометра для контролю просторової орієнтації об'єктів. Застосування методу компенсації температурних похибок в компонентах комп'ютеризованих систем контролю орієнтації об'єктів з мікропроцесорною технікою дозволить поліпшити технічні характеристики первинних перетворювачів і підвищити точність визначення кутів орієнтації контрольованих об'єктів.

**Ключові слова:** блок акселерометра; математична модель; похибка; температура; метод компенсації; орієнтація об'єктів; комп'ютеризована система

## COMPENSATION OF TEMPERATURE ERRORS IN THE COMPONENTS OF COMPUTERISED SYSTEMS OF CONTROL AND ORIENTATION OF OBJECTS

ZHIVTSOVA L. I., <sup>1</sup> assistant

<sup>1</sup> Department of Automation and Electrical Engineering, State Higher Education Establishment «Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture», 24-A, Chernishevskogo str., Dnipropetrovs'k 49600, Ukraine, ph. +38(066) 77-57-354, e-mail: [77\\_211@mail.ru](mailto:77_211@mail.ru), ORCID ID: 0000-0002-6176-1781

**Abstract. Purpose.** The aim of the given work is the application of the method of compensation of temperature of errors of the given work for decreasing temperature drift of primary converter of accelerometer. **Methodology.** The work investigated mathematical modelling of inclinometric converter realised on the base of the block of two-axial accelerometer, taking into account temperature drift of primary converters of the block of accelerometer approximated by linear functions. Compensation of temperature error components of computerised systems is completed according to previously experimental researches of primary converters of accelerometer. At deflection angle from a vertical such data are defined as temperature drift of primary converters with the following account of defining required angles of orientation. Experimental researches were held in a heat chamber making a real temperature conditions. **Findings.** We have elaborated mathematical model of two-axial block of accelerometer for inclinometer of computerised system of control of objects orientation. Mathematical model takes into account temperature drift of primary converters approximated by linear functions. We have offered the methods of defining coefficients describing the law of temperature drift of primary converters using experimental data. The results of experimental research show that accounting of temperature drift of accelerometer block ranging  $-40...+40^{\circ}\text{C}$  allow considerably to decrease error measuring the angles of objects orientation.

**Originality.** The method of compensation of temperature errors in the components of computerised systems of objects orientation has been developed treating the measurement results under operating conditions and which allows increasing the accuracy of angular parameters measurement of special orientation. **Practical importance** lies in the development of mathematical model based on the inclinometer converters realised on the base of the block of two-axial accelerometer to control special orientation of objects. The application of the method of compensation of temperature errors in the components of computerised systems of control of objects orientation with microprocessor equipment will allow to improve technical characteristics of primary converters and to increase the accuracy of defining the angles of orientation of controlled objects.

**Key words:** accelerometer; mathematical model; error; temperature; method of compensation; object orientation; computerized system

### Введение

Одной из задач, возникающих при эксплуатации машиностроительной техники, в частности, большегрузных самосвалов в карьерах для горнодобывающей промышленности, является контроль угловых параметров пространственной ориентации объектов для обеспечения устойчивости объектов при эксплуатации [10, 11].

Безопасная работа машиностроительной техники обеспечивается компьютеризованными системами контроля ориентации, в состав которой входит инклінометр как компонент компьютеризированной системы, реализованный на основе блока акселерометра [5].

Для контроля ориентации объектов, в последнее время, находят применением акселерометры серии ADXL измеряющие ускорение  $\pm 1,7\text{ g}$ , с порогом

чувствительности  $5 \cdot 10^{-3} g$  [12]. При этом габаритные размеры не превышают 5 мм, что позволяет поместить его в корпусе инклинометра.

Однако, в процессе эксплуатации первичные преобразователи блока акселерометра подвержены влиянию повышенных температур. Это оказывает существенное влияние на показания электронных компонентов компьютеризированных систем ориентации, в частности – дрейф информационного сигнала блока акселерометра, что приводит к появлению погрешности в определении углов ориентации.

Таким образом, компенсация температурных погрешностей в компонентах компьютеризированных систем ориентации, при обработке информации за счет определения закона изменения температурного дрейфа первичных преобразователей блока акселерометра, с целью повышения точности измерений представляет вполне определенный научный и практический интерес.

#### Анализ исследований и публикаций

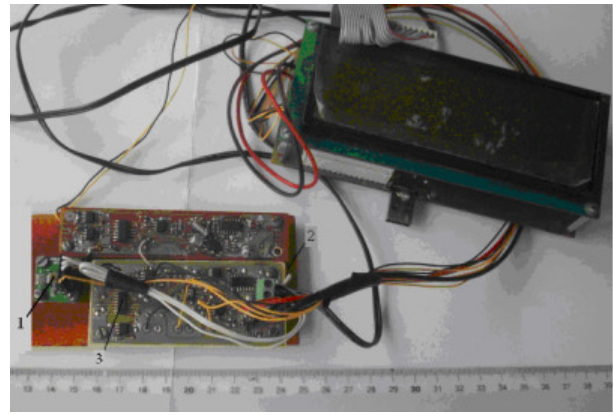
Анализ известных работ в области создания первичных преобразователей для компьютеризированных систем ориентации показывает, что преобладающим все еще являются конструкторские и технологические методы компенсации температурных погрешностей [1, 2, 3]. В то же время возрастает интерес исследователей к математическим методам улучшения технических характеристик преобразователей с применением вычислительной техники [4, 7, 8, 9]. Что является целесообразным, так как в современных системах ориентации применяется микропроцессорная техника для улучшения технических характеристик компонентов компьютеризированных систем ориентации.

#### Цель

Целью данной работы является применение метода компенсации температурных погрешностей в компонентах компьютеризированных систем контроля ориентации объектов для снижения температурного дрейфа первичных преобразователей акселерометра.

#### Методика

Для определения пространственного положения объекта ориентации предлагается применять инклинометрический преобразователь, реализованный на основе блока двухосного акселерометра серии ADXL 203CE, блока магнитометра, жестко закрепленные в корпусе устройства и датчика температуры, рис. 1.



*Рис. 1 Макет разработанного инклинометра для отработки способа компенсации температурной погрешности с использованием микропроцессорной техники: 1-блок двухосного акселерометра; 2-датчик температуры; 3 – блок магнитометра / Model of the developed inclinometer for working off the method of indemnification a temperature error with the use of microprocessor technique: 1- dual axis accelerometer; 2- temperature sensor; 3 – block of magnetometer*

Предварительно проводятся температурные испытания первичных преобразователей блока акселерометра при постоянных значениях углов отклонения от вертикали. Экспериментальные исследования проводились в термокамере, создающей реальные температурные условия. На основании экспериментальных данных определяются температурные коэффициенты дрейфа блока акселерометра, которые в последствии учитываются при вычислении углов отклонения от вертикали в процессе измерений.

Составим математическую модель данного инклинометра с учетом температурного дрейфа первичных преобразователей блока акселерометра.

Введем в рассмотрение правую систему координат (рис. 2):

$R_0$  – неподвижный репер, связанный с Землей, соответствующий географической системе координат  $O\xi\eta\zeta$ , ось  $O\xi$  – по вертикали места измерения, ось  $O\eta$  лежит в плоскости горизонта и направлена по магнитному меридиану на Север, ось  $O\xi$  – перпендикулярно осям  $O\eta$ ,  $O\xi$ .

$R_2$  – подвижный репер, связанный с наклоном системы. Система координат –  $O X_2 Y_2 Z_2$  Трехгранник координат  $O X_2 Y_2 Z_2$ , получен вращением относительно трехгранника  $O\xi\eta\zeta$  на угол  $\upsilon$  и угол  $\psi$ .

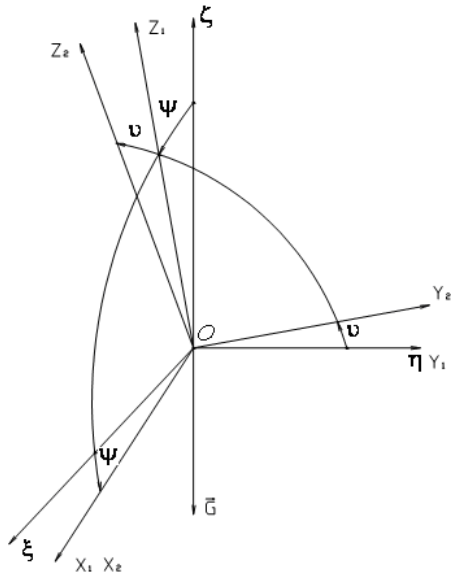


Рис. 2 Системы координат подвижных наземных объектов / Coordinate system moving mobile ground objects

Проекция вектора  $\bar{G}_{R_0}$ , заданные в неподвижной системе координат  $O\xi\eta\zeta$  (репер  $R_0$ ) – в системе координат  $O X_2 Y_2 Z_2$  (репер  $R_2$ ), отыщутся из матричного равенства:

$$\bar{G}_{R_2} = A_{\psi(2)} \cdot A_{\nu(1)} \cdot \bar{G}_{R_0}, \quad (1)$$

где  $\bar{G}_{R_2}$  – система координат связанная с корпусом устройства:

$$\bar{G}_{R_2} = \|G_x, G_y, G_z\|, \quad (2)$$

$A_{\psi(2)}, A_{\nu(1)}$  – соответственно матрицы направляющих косинусов:

$$A_{\psi(1)} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\psi) & \sin(\psi) \\ 0 & -\sin(\psi) & \cos(\psi) \end{pmatrix}, \quad (3)$$

$$A_{\nu(2)} = \begin{pmatrix} \cos(\nu) & 0 & -\sin(\nu) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\nu) & 0 & \cos(\nu) \end{pmatrix}, \quad (4)$$

$\bar{G}_{R_0}$  – вектор силы тяжести в неподвижной системе координат ( $O\xi\eta\zeta$ ):

$$\bar{G}_{R_0} = \|0, 0, G\|. \quad (5)$$

Подставляя (3), (4), (5) в (1) получим:

$$\begin{cases} b_1 = -\sin(\psi) \\ b_2 = \sin(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ b_3 = \cos(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1. \end{cases} \quad (6)$$

где  $b_i, i=1, 2, 3$  – выходные сигналы блока акселерометра, приведенные к

безразмерному виду:  $b_1 = \frac{G_x}{G}, b_2 = \frac{G_y}{G},$   
 $b_3 = \frac{G_z}{G}.$

Математическая модель инклинометра на основе блока акселерометра с учетом индивидуальных электрических параметров первичных преобразователей примет вид:

$$\begin{cases} \bar{G}_{R_2} = A_{\psi(2)} \cdot A_{\nu(1)} \cdot \bar{G}_{R_0}, \\ U_1^a = U_{01}^a + U_{m1}^a \cdot b_1, \\ U_2^a = U_{02}^a + U_{m2}^a \cdot b_2, \\ U_3^a = U_{03}^a + U_{m3}^a \cdot b_3. \end{cases} \quad (7)$$

где  $U_{0i}^a$  – нулевой сигнал с первичного преобразователя не зависящий от угла поворота;

$U_{mi}^a$  – наибольшее значение выходного сигнала с первичного преобразователя.

В математической модели электрической части первичных преобразователей блока акселерометра параметры  $U_{0i}^a, U_{mi}^a$  являются функциями температуры:

$$U_i^a(T) = U_{0i}^a(T) + U_{mi}^a(T) \cdot b_i.$$

Для определения  $U_{0i}^a, U_{mi}^a$  проводим температурные испытания для нескольких угловых положений инклинометра  $b_i^1, b_i^2$ , откуда:

$$U_{0i}^a(T) = U_i^a(T) - \frac{b_i^{(1)}}{b_i^{(1)} - b_i^{(2)}} \cdot [U_i^a(T) - \bar{U}_i^a(T)], \quad (8)$$

$$U_{mi}^a(T) = \frac{1}{b_i^{(1)} - b_i^{(2)}} \cdot [U_i^a(T) - \bar{U}_i^a(T)]. \quad (9)$$

Считаем, что выходные параметры блока акселерометра прямо пропорциональны температуре, аппроксимируем их относительно температуры линейными функциями:

$$U_i^a(T_0) \cong U_{0i}^a(T_0) - \Delta_{0i}^a \cdot t + (U_{mi}^a(T_0) - \Delta_{mi}^a \cdot t) \cdot b_i, \quad (10)$$

где  $\Delta_{0i}^a, \Delta_{mi}^a$  – искомые коэффициенты температурного дрейфа блока акселерометра.  $t = T - T_0$ ;

$T_0$  – начальная температура, при которой определены  $U_{0i}^a, U_{mi}^a$ .

На основе экспериментальных данных:  $U_{ijk}^a(\psi_i, \nu_j, T_k) i=1, 2, j=1, 2, \dots, m, k=1, 2, \dots, n,$  определим искомые параметры методом наименьших квадратов [6].

Введем функцию:

$$\Psi(\Delta_{0i}, \Delta_{mi}) = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n [U_{ijk}^a - \lambda_{ijk}]^2, \quad (11)$$

где  $\lambda_{ijk} = U_{0i}^a(T_0) + \Delta_{0i}^a \cdot t + (U_{mi}^a(T_0) + \Delta_{mi}^a \cdot t) \cdot b_{ij}.$

В соответствии с методом наименьших квадратов приравняем к нулю частные производные функции (11) по искомым параметрам. Разрешим систему линейных уравнений и определим коэффициенты температурного дрейфа блока акселерометра.

Подставляя искомые параметры в систему уравнений (7) получим математическую модель инклинометра на основе блока двухосного акселерометра. Математическая модель позволяет скомпенсировать температурный дрейф первичных преобразователей акселерометра и повысить точность при определении углов ориентации наземных объектов контроля.

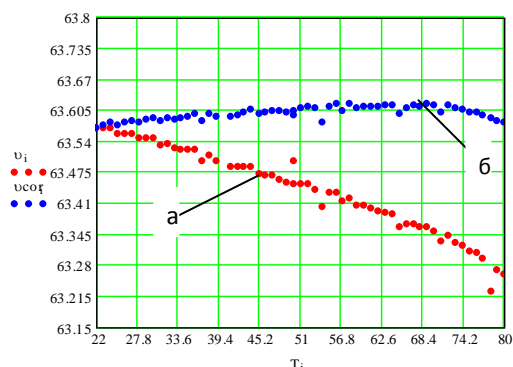


Рис. 3 График вычисления угла наклона объекта: а – без коррекции показаний; б – с коррекцией показаний / The chart of calculation of angle of a slope of object: a – without correction of readings; б – with correction of readings

Экспериментальные исследования подтвердили адекватность разработанной математической модели.

Экспериментальные исследования проводились в термокамере, создающей реальные температурные условия. При этом положение блока акселерометра

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ / REFERENCES

1. Алексеева, В. В. Метод компенсации температурной погрешности коэффициента преобразования прецизионных акселерометров / В. В. Алексеева, Д. А. Скаморин // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Пензенский государственный университет», – 2009. – Вып №1(9). – С. 118 – 123.

Alekseeva V. V., Skamirin D. A. Metod kompensatsii temperaturnoy pogreshnosti koeffitsienta preobrazovaniya pretsizionnykh akselerometrov [Method of compensation temperature error coefficient conversion precision accelerometers]. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki. – News of Higher Schools. Volga region. Technical science.* – «Penzenskiiy gosudarstvennyi universitet» – «Penza State University», 2009, no1(9), pp. 118-123.

2. Алексеева, В. В. О совершенствовании способов и методик компенсации влияния изменений температуры окружающей среды на коэффициент преобразования

относительно вертикали не изменялось, а изменялась температура окружающей среды от  $+20^{\circ}\text{C}$  до  $+80^{\circ}\text{C}$ . Затем вычислялись искомые углы ориентации, следующие из (7) с учетом температурного дрейфа показаний и без температурной коррекции, рис. 3.

## Выводы

1. Разработана математическая модель инклинометра на основе блока двухосного акселерометра для подвижных наземных объектов. Математическая модель учитывает температурный дрейф первичных преобразователей блока акселерометра, аппроксимированный линейными функциями.

2. Предложена методика определения коэффициентов, описывающая закон температурного дрейфа первичных преобразователей акселерометра по экспериментальным данным. Температурные испытания проводились при постоянном угле отклонения от вертикали, при этом определялись величины температурного дрейфа показаний первичных преобразователей акселерометра, с последующим учетом их при определении искомого угла ориентации.

3. Для температурного дрейфа, описываемого линейной зависимостью, найдены коэффициенты температурного дрейфа первичных преобразователей блока акселерометра.

4. Экспериментальные исследования показывают, что учет температурного дрейфа в формулах вычисления углов ориентации позволит снизить погрешность в измерениях при изменении температуры окружающей среды.

высокоточных акселерометров / В. В. Алексеева // Труды Международного симпозиума «Надежность и качество», – 2011. – Том 2. – С. 1 – 10.

Alekseeva V. V., O sovershenstvovaniy sposobov i metodik kompensatsii vliyaniya izmeneniy temperatury okruzhayushchey sredy na koeffitsient preobrazovaniya vyokototchnykh akselerometrov [On improvement of methods and techniques compensate for the effect of changes in ambient temperature on the conversion factor of precision accelerometers]. *Trudy Mezhdunarodnogo simpoziuma «Nadezhnost i kachestvo» – Proceedings of the International Symposium «Reliability and quality»*, 2011, tom 2, pp. 1-10.

3. Ковшов, Г. Н. Инклинометры (Основы теории и проектирования) / Г. Н. Ковшов, Р. И. Алимбеков, А. В. Жибер. — Уфа: Гилем, 1998.—380 с.

Kovshov G. N., Alimbekov R. I., Zhiber A. V., *Inklinometry (Osnovy teorii i proektirovaniya)* [Inclinometers (Basic theory and design)]. Ufa, Gilem Publ., 1998. 380p.

4. Ковшов, В. Д. Датчик угла наклона на основе интегрального акселерометра: реализация и исследование характеристик / Ковшов В. Д., Хакимьянов М. И., Сакаев А. Ф. // Электротехнологии, электропривод и электрооборудование предприятий: сб. науч. ст., Уфа:

Уфимский государственный нефтяной технический университет, – 2005. – С. 61 – 65.

Kovshov V. D., Hakimianov M. I., Sakaev A. F. Datchik ugla naklona na osnove integralnogo akselerometra: realizatsia i issledovanie kharakteristik [Tilt sensor based on the integrated accelerometer: the implementation and study characteristics]. *Elektrotehnologii, elektroprivod i elektrooborudovanie predpriyatii: sb. nauch. st. – Electrotechnology, electric and electrical enterprises: interuniversity collection of scientific articles*. Ufa State Petroleum Technological University, 2005, pp. 61-65.

5. Ковшов, Г. Н. Датчики крена для грузовых машин. / Г. Н. Ковшов, А. В. Садовникова, Л. И. Живцова // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – 2010. – №10. – С. 35 – 40.

Kovshov G. N., Sadovnikova A. V., Zhivtsova L. I. Datchiki krena dlia gruzovykh mashin. [Tilt sensor for trucks] *Visnyk Prydniprovskoi derzhavnoi akademii budivnytstva ta arkhitektury – Visnyk of Pridneprovsk State Academy of Civil Engineering and Architecture*, 2010, no.10, pp. 35 – 40.

6. Лоусон, Ч. Численное решение задач методом наименьших квадратов / Ч. Лоусон, Р. Хентон. – М.: Наука – 1986. – 656 с.

Louson CH., Khenton R. *Chislennoe reshenie zadach metodom naimenshikh kvadratov* [Numerical solution of the least squares method]. Moscow, Nauka Publ., 1986. 656p.

7. Миловзоров, Д. Г. О полиномиальной коррекции температурных погрешностей акселерометрических датчиков / Миловзоров Д. Г., Морозова Е. С., Ковшов Г. Н., Ужеловский А. В. // Вестник Уфимского государственного авиационного технического университета, 2014. – Т. 18. №1(62). – С. 145 – 149.

Milovzorov D. G., Morozova E. S., Kovshov G. N., Uzhelovskiy A. V. O polinomnoy korektsii temperaturnykh pogreshnoctey akcelometricheskikh datchukov [Polynomial correction accelerometer sensor temperature error]. *Vestnik Ufmskogo gosydarstvennogo aviatsionnogo yunivertsiteta* [Bulletin of Ufa state aviation technical university], 2014, vol.18, no. 1(65), pp. 145 – 149.

8. Садовникова, А. В. Теоретическое обоснование, методы и устройства преобразования с цифровой коррекцией параметров наклонов для систем управления объектов: диссертация канд. тех. наук: 05.13.05 / Садовникова Александра Владимировна; Одесский национальный политехнический университет. – Одесса, 2006. – 172 с.

Sadovnikova A. V. *Teoreticheskoe obosnovanie, metody i ustroystva preobrazovaniya s tsifrovoy korektsiey parametrov naklonov dlia system upravleniya obektov*: dissertatsiya kandidata tekhn. nauk.: 05.13.05 [Theoretical substantiation, methods and devices of transformation with digital correction parameters of inclinations for control systems of objects orientation: The dissertation research of obtaining scientific degree of candidate of engineering science in speciality 05.13.05]. Odessa, 2006, 172 p.

9. Слива, Е. С. Коррекция по температуре измерительных преобразователей физических величин на базе микроконтроллера MSP430F149 фирмы Texas

Instruments // Chip news Украина. Инженерная микроэлектроника. – 2001. – №5. – С.12 – 16.

Sliva E. S. Korrektsia po temperature izmeritelnykh preobrazovateley fizicheskikh velichin na baze mikrokontrollera MSP430F149 firmy Texas Instruments [Correction for temperature transducers of physical quantities based on MSP430F149 microcontroller from Texas Instruments] *Chip news Ukraine. Inzhenernaya mikroelektronika*. – 2001. – no. 5. – P.12 – 16.

10. Сушинский, В. А. Развитие и применение технических средств безопасности грузоподъемных машин. [Электронный ресурс] / В. А. Сушинский // Подъемно – транспортное дело. Эксплуатация, безопасность, экология. – 2008. – № 5. – С. 10 – 13. Режим доступа:

[http://www.nppego.com/Libr/Pressa/PTD/PTD\\_5\\_2008.pdf](http://www.nppego.com/Libr/Pressa/PTD/PTD_5_2008.pdf). – Загл. с экрана. – Проверено : 3.11.15.

Sushinskiy V. A. Razvitiye i priminenie texnicheskikh sredstv bezopasnosti gruzopodemnykh mashin [Development and application of technical security of lifting equipment]. *Podemno-transportnoe delo. Ekspluatatsiya, bezopasnost, ekologiya – Lifting - transport business. Operating, safety, ecology*, 2008, no. 5, pp. 10 – 13. Available at: [http://www.nppego.com/Libr/Pressa/PTD/PTD\\_5\\_2008.pdf](http://www.nppego.com/Libr/Pressa/PTD/PTD_5_2008.pdf). (Accessed 3 November 2015).

11. Внедрение автоматизированных систем контроля угла наклона в конструкцию аэродромных грузоподъемных механизмов. [Электронный ресурс] / И. В. Курганников, А. В. Великанов, М. М. Боков, Е. В. Иванов // VII Международная студенческая электронная научная конференция «Студенческий научный форум» – 2015. – Режим доступа: <http://www.scienceforum.ru/2015/1191/12468>. – Загл. с экрана. – Проверено : 3.11.15.

Kurgannikov I. V., Velikanov A. V., Bokov M. M., Ivanov E. V. Vnedrenie avtomatizirovannykh sistem kontrolya ugla naklona v konstruksiyu aerodromnykh gruzopodemnykh mekhanizmov [The introduction of automated systems of control of the tilt angle in the aerodrome design of lifting devices]. *VII Mezhdunarodnaya studencheskaya elektronnaya nauchnaya konferentsiya «Studencheskiy nauchnyy forum» – VII International Student electronic scientific conference «Student scientific forum»*, 2015, Available at: <http://www.scienceforum.ru/2015/1191/12468> (Accessed 3 November 2015).

12. [ADXL103/203](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL103_203.pdf). Precision  $\pm 1,7$  g,  $\pm 5$  g,  $\pm 18$  g Single-/Dual-Axis iMems Accelerometer [Virtual Resource]: Analog Devices, Inc. – 2004-2014. – Access Mode [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADXL103\\_203.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL103_203.pdf). – Title from Screen. – Date of Access: 1 November 2015.

[ADXL103/203](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL103_203.pdf). Precision  $\pm 1,7$  g,  $\pm 5$  g,  $\pm 18$  g Single-/Dual-Axis iMems Accelerometer. [ADXL103/203](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL103_203.pdf). Precision  $\pm 1,7$  g,  $\pm 5$  g,  $\pm 18$  g Single-/Dual-Axis iMems Accelerometer. Analog Devices, Inc. – 2004 – 2014. – Available at: [http://www.analog.com/static/imported-files/data\\_sheets/ADXL103\\_203.pdf](http://www.analog.com/static/imported-files/data_sheets/ADXL103_203.pdf). (Accessed 1 November 2015).