

3. Запропонований метод можна використовувати для створення датчиків кутів нахилів зі змінною ємністю або індуктивністю.

4. Метод дозволяє підвищити точність вимірів, зменшити час вимірювання, спростити конструкцію перетворювача, знизити споживання електроенергії.

ЛІТЕРАТУРА

1. Мирошников В.В. Феррозонд с повышенной помехоустойчивостью для многоэлементных датчиков // Технічна електродинаміка. – 1999. – №2. – С. 74 – 76.

2. Мирошников В.В., Шевченко А.И. Проектирование дифференциального феррозонда // Вісник Східноукраїнського державного університету. – 1997. – №4. – С. 135 – 140.

3. Пат. 5198764 USA, 30.03.1993. Position detector apparatus and method utilizing a transient voltage waveform processor.

4. А. с. 2168728 RU, МКИ⁷ G 01 R 27/02/ В.И. Смирнов (Россия). – №99126361/09; Заявлено 14.12.99; Опубл.10.06.01, Бюл. №16. – 5 с.

УДК 519.87:681.586:53.088

Г.Н. КОВШОВ, докт.техн.наук, Л.И. ЖИВЦОВА, аспирант.

Приднепровская государственная академия строительства и архитектуры

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДАТЧИКА КРЕНА НА ОСНОВЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ ДЛЯ ГРУЗОВЫХ МАШИН

Постановка проблемы. Для контроля и определения угла отклонения от вертикали кузова грузовой машины при погрузке и разгрузке, применяются датчики крена [10].

При разгрузке грузовой машины происходит смещение центра тяжести груза и кузова грузовой машины по вертикали вверх. Из-за небольших наклонов в вертикальной плоскости, за счет не горизонтальности поверхности в месте разгрузки, возможно опрокидывание.

Для предотвращения опрокидывания предлагается контролировать отклонение кузова грузовой машины от вертикали.

В качестве датчика отклонения от вертикали могут быть использованы микромеханические акселерометры [1].

Иностранными фирмами, например, такими как Analog Devices, Bosch, Delphi, Freescale, Kionix, Silicon Designs, STMicroelectronics, серийно выпускается большая серия одно-, двух-, трехосных микромеханических акселерометров, которые могут быть использованы как датчики крена для грузовых машин.

Автомобильная сфера применения акселерометров сконцентрирована в области систем безопасности и включает задачи: обнаружения аварий, активация систем безопасности и контроля разворачивания подушек безопасности, запись данных об аварии, контроль неровности дороги [8].

Микромеханические акселерометры обладают рядом достоинств: широким диапазоном рабочей температуры $\pm 50^{\circ}\text{C}$, низким порогом чувствительности 10^{-3} g , малой массой, габаритами и энергопотреблением.

Однако блок микромеханического акселерометра, будучи размещенным в корпусе грузовой машины относительно осей измерения, устанавливается с некоторой ошибкой. Ошибки первоначальной установки акселерометра сказываются на точности определения угла отклонения от вертикали.

Цель статьи. Разработать математическую модель, датчика крена с использованием акселерометров, позволяющая определить угол отклонения от вертикали кузова грузовой машины, учитывающая ошибки первоначальной установки акселерометров в корпусе машины и индивидуальные электрические параметры акселерометров.

Основной материал. Для составления математической модели введем неподвижную систему координат. R_0 – неподвижный репер, связанный с Землей, $R_0 (O\xi\eta\zeta)$, направим ось $O\xi$ – по вертикали места и вверх, оси $O\eta$, $O\zeta$ лежат в плоскости горизонта. С корпусом грузовой машины свяжем систему координат $O x_2 y_2 z_2$ (репер R_2) (рис. 1).

Спроектируем вектор ускорения силы тяжести \vec{g}_{R_0} на оси чувствительности акселерометров.

$$\vec{G}_{R_2} = A_v \cdot A_\psi \cdot \vec{G}_{R_0} \quad (1)$$

где \vec{G}_{R_0} – вектор силы тяжести в неподвижной системе координат $R_0 (O\xi\eta\zeta)$:
 $\vec{G}_{R_0} = (0, 0, G)$, а в системе координат связанной с корпусом $\vec{G}_{R_2} = (Gx, Gy, Gz)$.

A_ψ , A_v – соответственно матрицы направляющих косинусов поперечного и продольного крена.

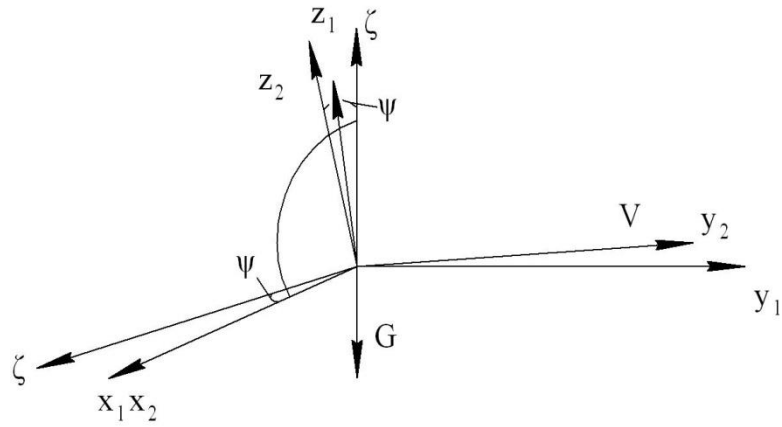


Рис. 1 Система координат для определение угла отклонения от вертикали.

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

Поэтому

$$\begin{pmatrix} Gx \\ Gy \\ Gz \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\psi) & 0 & -\sin(\psi) \\ \sin(\nu) \cdot \sin(\psi) & \cos(\nu) & \sin(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ \cos(\nu) \cdot \sin(\psi) & -\sin(\nu) & \cos(\nu) \cdot \cos(\psi) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ G \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Перепишем соотношение (3) в скалярной форме, введя обозначения :

$$b_1 = \frac{G_x}{G}, \quad b_2 = \frac{G_y}{G}, \quad b_3 = \frac{G_z}{G}, \quad (4)$$

где b_i , $i=1, 2, 3$ – выходные сигналы акселерометров, приведенные к безразмерному виду.

$$\begin{cases} b_1 = -\sin(\psi) \\ b_2 = \sin(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ b_3 = \cos(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1 \end{cases} \quad (5)$$

Отсюда углы поперечного и продольного крена кузова грузовой машины соответственно определены из соотношения:

$$\psi = \arcsin(-b_1), \quad \nu = \arctg\left(\frac{b_2}{b_3}\right), \quad (6)$$

но так как $b_3 = \sqrt{1 - b_1^2 - b_2^2}$, тогда

$$\psi = \arcsin(-b_1), \quad \nu = \arctg\left(\frac{b_2}{\sqrt{1 - b_1^2 - b_2^2}}\right). \quad (7)$$

Если в качестве датчика крена применить блок трехосного микромеханического акселерометра, то для определения угла отклонения от вертикали можно воспользоваться четвертым уравнением соотношения (5). В этом случае первичный датчик акселерометра будет измерять синус, а другой тангенс угла крена. Но поскольку во избежание аварий и несчастных случаев наиболее важен продольный крен кузова, то целесообразно рассматривать акселерометр находящийся в продольной плоскости измерения и измерять \arctg угла крена.

Микромеханические акселерометры являются датчиками прямого преобразования их показания зависят от температуры окружающей среды. Как правило, микромеханические акселерометры создаются на одном кристалле [9], это означает размещение на одном кристалле чувствительных элементов датчика близких по коэффициентам температурного дрейфа акселерометра. Если применить функцию \arctg , то возможно частично компенсировать погрешность от температуры.

Поскольку трехосные микромеханические акселерометры на порядок дороже двухосных. Предлагается применить двухосный микромеханический акселерометр для измерения угла крена кузова грузовой машины.

Продольный и поперечный крен кузова грузовой машины будет определяться из выражения (8, 9).

$$\psi = \arcsin(-b_1) . \quad (8)$$

$$\nu = \arcsin\left(\frac{b_2}{\sqrt{1-b_1^2}}\right) . \quad (9)$$

В данном случае при измерении угла крена будет значительная погрешность от температуры. В некоторых микромеханических акселерометрах помимо первичных датчиков размещенных на одном кристалле дополнительно размещен датчик температуры, для уменьшения температурного дрейфа акселерометра.

Блок двухосного акселерометра неподвижно закреплен в корпусе грузовой машины и образует своими осями чувствительности ортогональную систему координат. Оси чувствительности акселерометра, при сборке в корпусе, устанавливаются с некоторой погрешностью. Из-за неточной первоначальной установки акселерометра в корпусе возникает погрешность в показаниях первичных датчиков акселерометра.

Зададим погрешность поворота осей чувствительности блока акселерометров, соответственно векторами $\vec{\varepsilon}_1 (\varepsilon_{11}, \varepsilon_{21}, \varepsilon_{31})$, $\vec{\varepsilon}_2 (\varepsilon_{12}, \varepsilon_{22}, \varepsilon_{32})$, здесь обозначено $\varepsilon_{1i}, \varepsilon_{2i}$ $i = 1, 2$, – малые углы поворота оси чувствительности акселерометра вокруг первой оси $(0, x_2)$, второй

(0, y_2) оси. Введем кососимметричные матрицы $\tilde{\varepsilon}_1, \tilde{\varepsilon}_2$, сопоставимые векторам $\vec{\varepsilon}_1, \vec{\varepsilon}_2$ [5]:

$$\tilde{\varepsilon}_1 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\varepsilon_{11} \\ 0 & \varepsilon_{11} & 0 \end{vmatrix}, \tilde{\varepsilon}_2 = \begin{vmatrix} 0 & 0 & \varepsilon_{21} \\ 0 & 0 & 0 \\ -\varepsilon_{21} & 0 & 0 \end{vmatrix}.$$

Спроектируем вектор ускорения силы тяжести \vec{g}_{R_0} на оси чувствительности первичных датчиков акселерометра, повернутого относительно репера R_2 , связанного с корпусом на углы $\varepsilon_{11}, \varepsilon_{21}$.

Таким образом, базовое уравнение (1) будет представлено в виде:

$$\vec{g}_{R_4}^* = A_1 \cdot A_2 \cdot A_\psi \cdot \vec{g}_{R_0}, \quad (10)$$

где $\vec{g}_{R_4}^*$ - вектор ускорения свободного падения в проекциях, соответственно, на оси координат связанные с погрешностью установки первичных датчиков акселерометров.

A_1, A_2 - матрицы малых поворотов.

$$A_1 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \varepsilon_{11} & \sin \varepsilon_{11} \\ 0 & -\sin \varepsilon_{11} & \cos \varepsilon_{11} \end{vmatrix} = E + \varepsilon_{11} \begin{vmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{vmatrix} + 0 \cdot (\varepsilon_{11}) = E + \varepsilon_{11} \cdot E_1, \quad (11)$$

$$A_2 = E + \varepsilon_{21} \cdot \begin{vmatrix} 0 & 0 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{vmatrix} + 0 \cdot (\varepsilon_{21}) = E + \varepsilon_{21} \cdot E_2. \quad (12)$$

С точностью до малых второго порядка малости. Перемножим матрицы A_1, A_2 :

$$A_1 \cdot A_2 = (E + \varepsilon_{11} E_1) \cdot (E + \varepsilon_{21} E_1) = E - \begin{vmatrix} 0 & 0 & \varepsilon_{21} \\ 0 & 0 & -\varepsilon_{11} \\ -\varepsilon_{21} & \varepsilon_{11} & 0 \end{vmatrix} = E - \tilde{\varepsilon}_{ij}, \quad (i, j = 1, 2).$$

Подставив выражения (2, 11, 12) в (10), получим:

$$\vec{B}^* = (E - \tilde{\varepsilon}_{ij}) \cdot \vec{B} \quad (i, j = 1, 2), \quad (13)$$

где $\vec{B}^*(b_1^*, b_2^*, b_3^*)$ – показания акселерометров, с учетом погрешности первоначальной установки в корпусе.

$\vec{B}(b_1, b_2, b_3)$ – при отсутствии погрешности от первоначальной установки, или представленные в скалярном виде:

$$\begin{aligned}
b_1^* &= b_1 + \varepsilon_{21} b_3, \\
b_2^* &= b_2 - \varepsilon_{11} b_3, \\
b_3^* &= b_3 - \varepsilon_{21} b_1 + \varepsilon_{11} b_2.
\end{aligned} \tag{14}$$

или

$$\begin{aligned}
b_1^* &= -\sin(\psi) + \varepsilon_{21} \cos(\nu) \cos(\psi), \\
b_2^* &= \sin(\nu) \cdot \cos(\psi) - \varepsilon_{11} \cos(\nu) \cos(\psi), \\
b_3^* &= \cos(\nu) \cos(\psi) - \varepsilon_{21} \sin(\psi) + \varepsilon_{11} \sin(\nu) \cdot \cos(\psi).
\end{aligned} \tag{15}$$

Системы уравнений (14, 15) являются основными скалярными уравнениями, связывающие показания блока акселерометров \vec{b}_i^* с погрешностью $\vec{\varepsilon}^{(i)}$ установки блока акселерометров в корпусе. Если экспериментально определены погрешности установки $\vec{\varepsilon}_i$, то можно ввести поправку в значения углов продольного и поперечного крена. Для этого разрешим матричное уравнение (13) относительно вектора \vec{B} , умножив его слева на обратную матрицу $(E - \tilde{\varepsilon}_{ij})^{-1}$:

$$\begin{aligned}
(E - \tilde{\varepsilon}_{ij})^{-1} \vec{B}^* &= (E - \tilde{\varepsilon}_{ij})^{-1} (E - \varepsilon_{ij}) \vec{B}, \\
\vec{B} &= (E + \tilde{\varepsilon}_{ij}) \cdot \vec{B}^*.
\end{aligned} \tag{16}$$

Или в скалярном виде

$$\begin{aligned}
b_1 &= b_1^* - \varepsilon_{21} b_3, \\
b_2 &= b_2^* + \varepsilon_{11} b_3, \\
b_3 &= b_3^* + \varepsilon_{21} b_1 - \varepsilon_{11} b_2.
\end{aligned} \tag{17}$$

Поперечный и продольный углы крена кузова грузовой машины с учетом погрешности установки блока двухосного акселерометра в корпусе, таковы:

$$\psi = \arcsin(-b_1^* + \varepsilon_{21} b_3); \tag{18}$$

$$\nu = \arcsin \frac{b_2^* + \varepsilon_{11} b_3}{\sqrt{1 - (b_1^* - \varepsilon_{21} b_3)^2}}. \tag{19}$$

Электрические параметры первичных датчиков, составляющие блок микромеханического акселерометра отличны друг от друга.

Базовая модель выходных сигналов с датчиков представлена в виде [5]:

$$\begin{cases} U_1^a = U_{01}^a + U_{m1}^a \cdot b_1 \\ U_2^a = U_{02}^a + U_{m2}^a \cdot b_2 \\ U_3^a = U_{03}^a + U_{m3}^a \cdot b_3 \end{cases} \tag{20}$$

U_{0i}^a - нулевой сигнал акселерометров, не зависящий от угла поворота, U_{mi}^a - наибольшее значение выходного сигнала акселерометров $U_{mi}^a = k_i \cdot |G|$, $i = 1, 2, 3$.

Математическая модель блока акселерометров для системы контроля положения кузова грузовой машины, учитывающая индивидуальные электрические параметры U_{0i}^a , U_{mi}^a и погрешность от первичной установки в корпусе, такова:

$$\begin{cases} U_1^a = U_{01}^a + U_{m1}^a \cdot (-\sin(\psi) + \varepsilon_{21} \cos(v) \cos(\psi)) \\ U_2^a = U_{02}^a + U_{m2}^a \cdot (\sin(v) \cdot \cos(\psi) - \varepsilon_{11} \cos(v) \cos(\psi)) \\ U_3^a = U_{03}^a + U_{m3}^a \cdot (\cos(v) \cos(\psi) - \varepsilon_{21} \sin(\psi) + \varepsilon_{11} \sin(v) \cdot \cos(\psi)) \end{cases} \quad (21)$$

Выводы.

1. Предложена математическая модель датчика крена на основе блока акселерометров, в скалярном и матричном виде.
2. Математическая модель позволяет определить угол отклонения от вертикали кузова грузовой машины, учитывая погрешность от первоначальной установки блока микромеханического акселерометра относительно корпуса и индивидуальные электрические параметры акселерометров U_{0i}^a и U_{mi}^a .
3. Для определения угла отклонения от вертикали кузова грузовой машины возможно применить как двухосный так и трехосный микромеханический акселерометр.
4. Коррекция коэффициентов температурного дрейфа блока двухосного микромеханического акселерометра возможна в случаях размещения на одном кристалле помимо первичных датчиков акселерометра, датчика температуры.
5. Компенсировать погрешность от температуры блока трехосного микромеханического акселерометра возможно при использовании функции arctg .

ЛИТЕРАТУРА

1. Горшков Б. Л. Методы практического конструирования при нормировании сигналов с датчиков. Основана на материалах, состоявшегося в 1999 году, семинара фирмы Analog Devices - "Practical Design Techniques For Sensor Signal Conditioning". / Перевод и редакция книги выполнена фирмой АВТЭКС СПб (Б. Л. Горшков, В. И. Силантьев). - 1999. - 75 с.
2. Байда Л. И. Электрические измерения / Байда Л. И., Добротворский Н. С., Душин Е. М. – Л. Энергия. 1973 – 424с.

3. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. / Гантмахер Ф. Р. – М., Наука ГФМЛ, 1967. – 567с.
4. Живцова Л. И. “Датчики крена для грузовых машин” / Ковшов Г. Н., Садовникова А. В., Живцова Л. И. // Вісник Придніпровської державної академії будівництва та архітектури. – Дніпропетровськ : ПДАБА, 2010. - №10. – С.14-21.
5. Ковшов Г. Н. Инклинометры (Основы теории и проектирования). / Ковшов Г. Н., Алимбеков Р. И., Жибер А. В. – Уфа: Гилем, 1998. – 380 с.
6. Ковшов Г. Н. Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении. / Ковшов Г. Н., Коловертнов Г. Ю. - Уфа: Издательство УГНТУ, 2001. – 228с.
7. Лурье А. И. Аналитическая механика. / Лурье А. И – М.: Физматгиз, 1961. – 824с.
8. Сысоева С. Автомобильные акселерометры. Часть 1. Автомобильные акселерометры - важнейший сегмент в конъюнктуре современного рынка автомобильных датчиков. / Сысоева С. // Компоненты и технологии. – 2005 - №8. – 164 с.
9. Сысоева С. Автомобильные акселерометры. Часть 4. Развитие технологий и элементной базы емкостных акселерометров. / Сысоева С. // Компоненты и технологии. – 2006 - №3. – 84 с.
10. Датчики. Каталог продукции. ООО “Микросенсорные технологии”, Москва. – 2009. -21 с.

УДК 621.317.08

О.А. КОВАЛЬ, канд. техн. наук, Н.М. ЄФІМЕНКО, аспірант.

Харківський національний автомобільно-дорожній університет

НЕОБХІДНІСТЬ ІНТЕЛЕКТУАЛІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ СИСТЕМИ В ДОРОЖНІХ МАШИНАХ

Вступ. Сучасний рівень розвитку дорожнього машинобудування характеризується створенням і освоєнням машин підвищеної одиничної потужності, автоматизацією управління робочими органами, поліпшенням умов праці операторів (машиністів).

Підвищення якості дорожнього будівництва нерозривно пов'язане з проблемами ефективного використання дорожніх машин (ДМ). До них ставляться все більш високі вимоги з продуктивності і точності технологічних операцій. Виконання цього завдання неможливе без автоматизації робочих процесів. На протязі всього терміну експлуатації ДМ змінюється технічний стан як окремих вузлів, так і машини в цілому. З метою проведення ком-