

ВИКОРИСТАНА ЛІТЕРАТУРА

1. Мартыненко И. И., Лысенко В. Ф. Проектирование систем автоматики. - М. : Агропромиздат, 1990. – 243 с.
2. Ралко А. В., Крупа А. А. Тепловые процессы в технологии силикатов. – К. : Вища школа, 1986. – 232 с.
3. Бейко И. В., Бублик Б. М. Методы и алгоритмы задач оптимизации. – К. : Вища школа, 1983. – 512 с.
4. Дьяконов В. Simulink 4. Специальный справочник, СПб, Питер. – 2002. – 528 с.
5. Дьяконов В. MATLAB 6: учебный курс, СПб., Питер. – 2001. – 592 с.

УДК 531.768:531.74

ДАТЧИКИ КРЕНА ДЛЯ ГРУЗОВЫХ МАШИН

Г. Н. Ковшов, д. т. н., проф., А. В. Садовникова, к. т. н., Л. И. Живцова, асп.

Ключевые слова: датчики крена, микромеханический акселерометр, математическая модель, угол отклонения от вертикали, оси чувствительности.

Постановка проблемы. По мере роста научно-технического прогресса и технического уровня строительства совершенствуются технологии и, соответственно, машины, работающие в тяжелых карьерных условиях. В настоящее время для определения пространственного положения объекта во многих строительных фирмах мира используют системы автоматического контроля строительной техникой. Повышаются требования к надежности, долговечности и технологичности строительной продукции.

Создание системы контроля погрузки и разгрузки тяжелых грузовых машин, работающих в карьерах, позволяет с успехом решить научно-техническую задачу, заключающуюся в определении угла отклонения кузова грузовой машины от вертикали, поскольку при погрузке возможно неравномерное распределение груза, что вызывает опрокидывание грузовых машин.

В статье рассматривается статическое равновесие объекта, без учета существующих инерционных сил.

Грузовые машины работают в тяжелых карьерных условиях, при значительных колебаниях температуры окружающей среды $\pm 50^{\circ}\text{C}$, температурные перепады оказывают существенное влияние на работу элементов системы контроля. Одним из наиболее важных элементов системы контроля положения кузова грузовых машин является датчик отклонения от вертикали.

При неравномерной погрузке и движении тяжелых грузовых машин по неровной поверхности возможно смещение центра тяжести, что может привести к опрокидыванию машины.

Целесообразно было бы разработать систему контроля положения кузова грузовой машины. Разработка такой системы требует использования датчика крена (рис. 1).

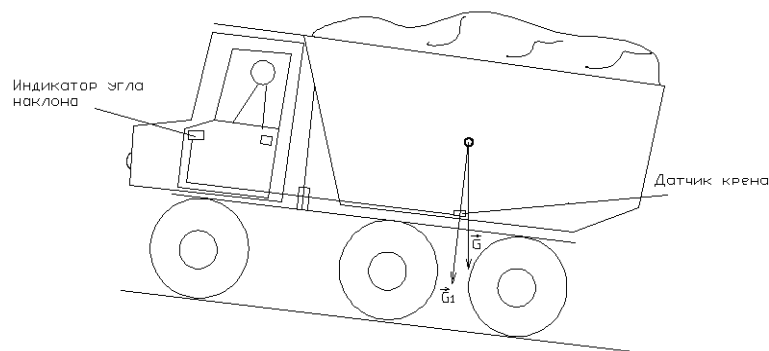


Рис. 1. Схема расположения датчика крена грузовой машины

Анализ исследований и публикаций. На сегодняшний день для определения угла отклонения кузова грузовой машины от вертикали предложено много типов датчиков крена. Однако все они обладают рядом существенных недостатков, основным из которых является их высокая стоимость.

Современное развитие микромеханики позволило сконструировать микромеханические акселерометры, которые обладают рядом преимуществ: ударо- и вибростойкостью, широким диапазоном рабочих температур, миниатюрностью и т. д. В работе [11] представлены сведения о возможностях применения в автомобильной промышленности современных типов акселерометров.

Таким образом, целесообразно в качестве датчика крена применить микромеханический акселерометр, позволяющий определять углы отклонения кузова от вертикали. Использование такого датчика позволит контролировать угловые смещения в двух взаимно ортогональных плоскостях. Для получения абсолютного значения угла наклона необходимо учитывать величину обоих углов. Акселерометры неподвижно закреплены в корпусе, оси чувствительности которых взаимно ортогональны. При наклоне кузова грузовой машины измеряются проекции силы тяжести g на оси, коллинеарные осям чувствительности датчиков.

Цель статьи. Разработать математическую модель “идеального” датчика крена на основе микромеханического акселерометра для использования системы контроля положения кузова грузовой машины при работе ее в карьерах.

Основной материал. Рассмотрим систему координат для определения угла отклонения от вертикали (рис. 2).

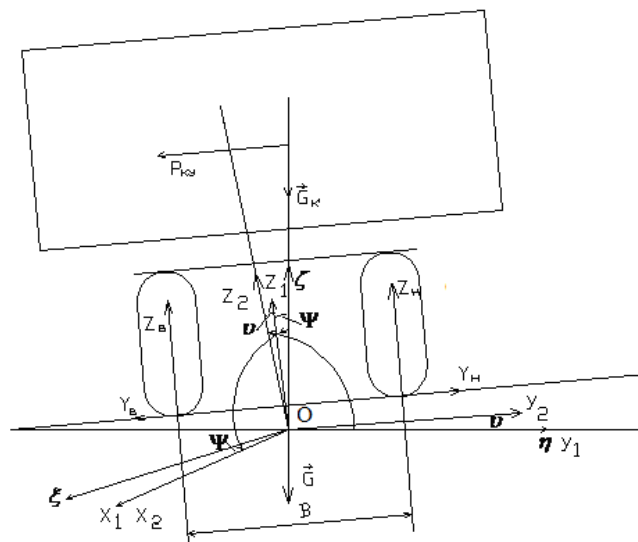


Рис. 2. Система координат для определения угла отклонения от вертикали

Для составления математической модели датчика крена введем правую систему координат.

R_0 – неподвижный репер, связанный с Землей, соответствующий географической системе координат $O\xi\eta\zeta$, ось $O\zeta$ – по вертикали места измерения, ось $O\eta$ лежит в плоскости горизонта и направлена по географическому меридиану на Север, ось $O\xi$ – перпендикулярно осям $O\eta$, $O\zeta$, таким образом, чтобы трехгранник осей был правым [4].

R_2 – подвижный репер, связанный с наклоном системы. Система координат – $O x_2 y_2 z_2$. Трехгранник координат $O x_2 y_2 z_2$ повернут относительно $O\xi\eta\zeta$ на угол ψ и угол ν .

Проекции векторов силы тяжести $\vec{G}$ на оси реперов R_0, R_1, R_2 будут $\vec{G} = (0, 0, G)$.

Переход от неподвижного репера R_0 ($O\xi\eta\zeta$), связанного с Землей, к подвижному реперу R_2 ($O x_2 y_2 z_2$) осуществляется последовательным вращением на угол ψ и на зенитный угол ν , соответствующие углам Эйлера [6].

В результате первого поворота получаем репер $(O x_1 y_1 z_1)$, после второго поворота – репер $(O x_2 y_2 z_2)$. При этом репер R_1 получаем из репера R поворотом вокруг оси $O\eta$ на угол ψ , репер R_2 из репера R_1 поворотом вокруг оси $O\xi$ на угол ν (рис. 2).

Переход от системы координат $R_0 (O\xi\eta\zeta)$ к системе $R_2 (O x_2 y_2 z_2)$ задается матрицей направляющих косинусов между соответствующими осями:

от системы R_0 к R_1 матрицей:

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

от системы R_1 к R_2 матрицей:

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

Таким образом, системы координат $R_0 (O\xi\eta\zeta)$ и $R_2 (O x_2 y_2 z_2)$ связаны формулой:

$$\begin{pmatrix} x_2 \\ y_2 \\ z_2 \end{pmatrix} = A_\psi A_\nu \begin{pmatrix} \xi \\ \eta \\ \zeta \end{pmatrix}. \quad (3)$$

Здесь x_2, y_2, z_2 – компоненты некоторого вектора $\vec{G}$ в репере R_2 , а $\xi\eta\zeta$ – компоненты этого вектора в репере R_0 .

Матрицы направляющих косинусов между репером R_0 и R_2 найдены как произведение матриц между промежуточными осями :

$$A = A_\nu \cdot A_\psi = \begin{pmatrix} \cos(\nu) & \sin(\nu) \cdot \sin(\psi) & -\sin(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ 0 & \cos(\psi) & \sin(\psi) \\ \sin(\nu) & -\cos(\nu) \cdot \sin(\psi) & \cos(\nu) \cdot \cos(\psi) \end{pmatrix}. \quad (4)$$

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

$$\vec{G}_{R_0} = \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ G \end{pmatrix}. \quad (5)$$

Спроектируем вектор $\vec{G}_{R_0}$ на оси, связанные с данной системой, коллинеарные осям репера R_2 :

$$\vec{G}_{R_2} = A_\nu \cdot A_\psi \cdot \vec{G}_{R_0}.$$

Учитывая равенство модулей вектора, в неподвижном репере – R_0 и подвижном репере – R_2 , получаем обобщенную математическую модель датчика крена :

$$\begin{cases} \vec{G}_{R_2} = A_\nu \cdot A_\psi \cdot \vec{G}_{R_0} \\ |\vec{G}_{R_2}| = |\vec{G}_{R_0}| \end{cases}. \quad (6)$$

Или

$$\begin{pmatrix} Gx \\ Gy \\ Gz \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \cos(\nu) & \sin(\nu) \cdot \sin(\psi) & -\sin(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ 0 & \cos(\psi) & \sin(\psi) \\ \sin(\nu) & -\cos(\nu) \cdot \sin(\psi) & \cos(\nu) \cdot \cos(\psi) \end{pmatrix} \cdot \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ G \end{pmatrix} \quad (7)$$

Перепишем соотношение (7) в скалярной форме, введя обозначения :

$$b_1 = \frac{G_x}{G}, \quad b_2 = \frac{G_y}{G}, \quad b_3 = \frac{G_z}{G}, \quad (8)$$

где b_i , $i=1, 2, 3$ – выходные сигналы акселерометров, приведенные к безразмерному виду, перепишем соотношение (6) в скалярном виде :

$$\begin{cases} b_1 = -\sin(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ b_2 = \sin(\psi) \\ b_3 = \cos(\nu) \cdot \cos(\psi) \\ b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 = 1 \end{cases} \quad (9)$$

$$\psi = \arcsin b_2, \quad \nu = \arcsin\left(-\frac{b_2}{\cos(\psi)}\right), \quad \nu = \arccos\frac{b_3}{\cos(\psi)}. \quad (10)$$

Получены зависимости для нахождения малых углов отклонения от вертикали для “идеального” датчика крена (10).

Если в качестве датчика крена применить трехосный микромеханический акселерометр, тогда можно воспользоваться соотношением (9).

Если применять двухосный микромеханический акселерометр, то по измерениям с двух любых можно вычислить и значение третьего, воспользовавшись соотношением системы (9), четвертым уравнением системы.

Датчик крена на основе микромеханического акселерометра работает в широком диапазоне температур $\pm 50^\circ\text{C}$. При изменении температуры окружающей среды показания акселерометров меняются, появляется значительная погрешность от температуры.

Для уменьшения температурной погрешности акселерометров применяют функцию $\arctg$. Скомпенсировать температурный дрейф акселерометра и тем самым повысить точность определения пространственного положения системы можно в случае совпадения знаков коэффициентов (знак коэффициента температурного дрейфа акселерометра может быть как положительным, так и отрицательным) [5]. При использовании функции $\arctg$ происходит частичная компенсация погрешности от температуры:

$$\operatorname{tg}(\psi) = \frac{b_2}{\sqrt{b_3^2 + b_1^2}}; \quad \psi = \arctg\left(\frac{b_2}{\sqrt{b_3^2 + b_1^2}}\right). \quad (11)$$

$$\operatorname{tg}(\nu) = \frac{-b_1}{b_3}; \quad \nu = \arctg\left(\frac{-b_1}{b_3}\right). \quad (12)$$

Учитывая четвертое уравнение соотношения (9), выражения (11-12) запишем в следующем виде :

$$\operatorname{tg}(\psi) = \frac{b_2}{\sqrt{1 - b_2^2}}; \quad \psi = \arctg\left(\frac{b_2}{\sqrt{1 - b_2^2}}\right). \quad (13)$$

$$\operatorname{tg}(\nu) = \frac{-b_1}{\sqrt{1 - b_2^2 - b_1^2}}; \quad \nu = \arctg\left(\frac{-b_1}{\sqrt{1 - b_2^2 - b_1^2}}\right). \quad (14)$$

Если в качестве датчика крена применять двухосный микромеханический акселерометр, оси чувствительности которого взаимно ортогональны, то выходной сигнал акселерометров (напряжение, В) можно представить в виде :

$$\begin{cases} U_1^a = U_{01}^a + U_{m1}^a \cdot b_1, \\ U_2^a = U_{02}^a + U_{m2}^a \cdot b_2. \end{cases} \quad (15)$$

где U_{01}^a , U_{02}^a – нулевой сигнал акселерометров, не зависящий от угла поворота, U_{m1}^a ,

U_{m2}^a – наибольшее значение выходного сигнала акселерометров $U_{mi}^a = k_i \cdot |G|$.

Учет выходных характеристик акселерометров осуществляется по формулам [5]:

$$b_1 = \frac{U_1^a - U_{01}^a}{U_{m1}^a}, \quad b_2 = \frac{U_2^a - U_{02}^a}{U_{m2}^a}. \quad (16)$$

Для вычисления неизвестных коэффициентов U_{0k}^a и U_{mk}^a , $k = 1, 2$, используем метод наименьших квадратов. Согласно этому методу введем функцию :

$$\Phi = \sum_{i=0}^n (U_{li} - U_{0l}^a + U_{m1}^a \sin(\nu) \cos(\psi_i))^2 + \sum_{i=0}^n (U_{2i} - U_{02}^a - U_{m2}^a \sin(\psi_i))^2. \quad (17)$$

Система линейных уравнений для определения неизвестных коэффициентов будет следующей:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n U_{li} - (n+1)U_{0l}^a + U_{m1}^a \sin(\nu) \sum_{i=0}^n \cos(\psi_i) = 0, \\ \sum_{i=0}^n U_{li} \cos(\psi_i) - U_{0l}^a \sum_{i=0}^n \cos(\psi_i) + U_{m1}^a \sin(\nu) \sum_{i=0}^n \cos^2(\psi_i) = 0, \\ \sum_{i=0}^n U_{2i} - (n+1)U_{02}^a - U_{m2}^a \sum_{i=0}^n \sin(\psi_i) = 0, \\ \sum_{i=0}^n U_{2i} \cdot \sin(\psi_i) - U_{02}^a \sum_{i=0}^n \sin(\psi_i) - U_{m2}^a \sum_{i=0}^n \sin^2(\psi_i) = 0. \end{cases} \quad (18)$$

$$\sum_{i=0}^n \cos(\psi_i) = 1, \quad \sum_{i=0}^n \sin(\psi_i) = 0. \quad (19)$$

$$\sum_{i=0}^n \sin^2(\psi_j) = (n+1) - \frac{n+2}{2} = \frac{n}{2}. \quad (20)$$

$$\sum_{i=0}^n \cos^2(\psi_j) = \frac{n+2}{2}. \quad (21)$$

Учитывая (19 – 21), формулы (18) запишем следующим образом:

$$\begin{cases} \sum_{i=0}^n U_{li} - (n+1)U_{0l}^a + U_{m1}^a \sin(\nu) = 0, \\ \sum_{i=0}^n U_{li} \cos(\psi_i) - U_{0l}^a + \frac{(n+2)}{2} U_{m1}^a \sin(\nu) = 0, \\ \sum_{i=0}^n U_{2i} - (n+1)U_{02}^a = 0, \\ \sum_{i=0}^n U_{2i} \sin(\psi_i) - \frac{n}{2} U_{m2}^a = 0. \end{cases} \quad (22)$$

Таким образом, неизвестные коэффициенты:

$$\begin{aligned} U_{0l}^a &= \frac{A_l}{\Delta}, \quad U_{m1}^a = \frac{A_2}{\Delta}; \\ \Delta &= \left[-\frac{(n+1) \cdot (n+2)}{2} + 1 \right] \cdot \sin(\nu), \\ A_l &= -\frac{n+2}{2} \sin(\nu) \sum_{i=0}^n U_{li} + \sin(\nu) \sum_{i=0}^n U_{li} \cos(\psi_i), \\ A_2 &= (n+1) \sum_{i=0}^n U_{li} \cos(\psi_i) - \sum_{i=0}^n U_{li}, \\ U_{02}^a &= \frac{1}{n+1} \sum_{i=0}^n U_{2i}, \quad U_{m2}^a = \frac{2}{n} \sum_{i=0}^n U_{2i} \sin(\psi_i). \end{aligned} \quad (23)$$

Выводы. В качестве датчика крена для грузовых машин предлагается применить двухосный микромеханический акселерометр.

С использованием матричных методов предложена математическая модель “идеального” датчика крена на основе двухосного микромеханического акселерометра, оси чувствительности которого взаимно ортогональны. Получены математические зависимости между проекциями силы тяжести g на оси чувствительности датчика и искомыми углами отклонения от вертикали, контролируемой системы, выраженные через углы Эйлера. В математической модели учтена неидентичность электрических параметров датчиков. Для вычисления неизвестных коэффициентов предложен метод наименьших квадратов.

При использовании функции $\arctg$ для определения углов отклонения от вертикали происходит частичная компенсация погрешности микромеханического акселерометра от температуры.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. Аврутов В. В. Випробування та калібрування мікромеханічних акселерометрів. / Аврутов В. В. Бондар П. М., Мелешко В. В. // Вісник НТУУ “КПІ”. Серія приладобудування. – 2008. Вип. 36. – С. 12 – 19.
2. Арутюнов В. О. Расчет и конструирование электроизмерительных приборов. – Ленинград : Гос. энергет. изд-во Москвы, 1956. – 552 с.
3. Гантмахер Ф. Р. Теория матриц. – М. : Наука, ГФМЛ, 1967. – 567 с.
4. Ковшов Г. Н., Алимбеков Р. И., Жибер А. В. Инклинометры (Основы теории и проектирования). – Уфа: Гилем, 1998г. – 380 с.
5. Ковшов Г.Н., Коловертнов Г.Ю. Приборы контроля пространственной ориентации скважин при бурении. – Уфа : Издательство УГНТУ, 2001. – 228 с.
6. Лурье А. И. Аналитическая механика. – М. : Гос. изд-во физико-математической литературы, 1961. – 824 с.
7. Лоусон Ч., Хентон Р. Численное решение задач методом наименьших квадратов – М. : Наука, 1986. – 656 с.
8. Парс Л. А. Аналитическая динамика. – Н., Наука, 1971. – 635 с.
9. Постников М. М. Аналитическая геометрия. – М., “Наука”, 1979 – 335 с.
10. Сысоева С. Автомобильные акселерометры // Компоненты и технологии – 2005. – № 8. – С. 12 – 18.
11. Электрические измерения / Байда Л. И., Добротворский Н. С., Душин Е. М. – Л. : Энергия. 1973 – 424 с.

УДК 004.4'24: 004.414.23

ДОСЛІДЖЕННЯ МОЖЛИВОСТЕЙ ПОЛІПШЕННЯ РОБОТИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЛІНІЄЮ РІЗАННЯ ГОФРОВАНОГО КАРТОНУ

В. О. Ужеловський, к. т. н., доц., В. В. Шевченко, магістр

Ключові слова: алгоритм, гофрований картон, комп'ютерне дослідження, математична модель, моделювання, оптимізація, програмування.

Вступ. Картонна упаковка на сьогоднішній день настільки міцно увійшла до нашого життя, що не тільки використовується для транспортування товару, як тара, а й продовжує служити споживачу після свого первинного використання. Завдяки тому, що картонна упаковка стала універсальною і може змінюватися від малих розмірів (ексклюзив) до великогабаритної транспортної тари, споживачі використовують її повсюдно і повсякденно, починаючи від вирощування розсади до використання при переїздах. Такому багаторазовому використуванню сприяє і те, що картонна упаковка легка і міцна, до того ж, її можна скласти і зберігати у такому вигляді до виникнення потреби.

Найпоширенішим видом тари, широко вживаним у всіх сферах виробництва, є доладні коробки і ящики з гофрованого картону. Секрет їх популярності криється в низькій вартості, а також у зручності виконання основних технологічних операцій: виготовлення, складання, заповнення продукцією. Гофрований картон – екологічно чистий матеріал, легко піддається вторинній переробці, володіє всіма властивостями картонної тари, але довше виготовляється. За рахунок чого досягається велика міцність гофрованого картону? Відповідь проста і виходить з визначення терміна.

Гофрований картон – це багатошаровий матеріал, який має 1, 2 або більше гофрованих і плоских шарів.

Гофрований двошаровий картон – самостійна сировина для виготовлення оригінальної упаковки [1].

Метою дослідження є поліпшення технологічного процесу, що стосується точності різання гофрованого листа, поліпшення техніко-економічних показників шляхом розробки програми