

Д.М. КЛЕЦ, канд. техн. наук, ХНАДУ, Харьков

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА ПРОДОЛЬНОГО НАКЛОНА АВТОМОБИЛЯ ПРИ ПРОВЕДЕНИИ ДИНАМИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ

У статті запропоновано методику визначення кута позовжнього нахилу автомобіля, а також ухилу дороги при проведенні динамічних (кваліметричних) випробувань. Дана методика значно знижує погрішність при записі траєкторії колісної машини, а також випробуваннях на дорозі з нерівностями або нерівномірним ухилом.

In this article the method of vehicle longitudinal inclination angle definition and road inclination at dynamic (qualimetric) testing is offered. This method makes sizeable lower mistake at vehicle patch recording and at testing on road with aliasing or irregular inclination.

Введение. Увеличение количества транспортных средств в нашей стране ведет к постоянному повышению интенсивности дорожного движения. С увеличением ввоза подержанных автомобилей зарубежного производства, а также повышением требований к новым моделям [3], актуальными являются вопросы кваліметрической оценки и сертификации указанных транспортных средств.

Для решения указанной проблемы в настоящее время активно применяются мобильные вычислительные комплексы [5, 6, 7, 9] отечественного и зарубежного производства, которые позволяют без вмешательства в конструкцию автомобилей осуществлять определение его кинематических и динамических параметров. В качестве чувствительных элементов используются акселерометры, которые нашли свое применение также в системах динамической стабилизации, транспортной навигации, активной и пассивной безопасности и многих других системах современных транспортных средств [6, 10].

Анализ последних достижений и публикаций. Исследованию динамических свойств колесных машин с помощью акселерометров посвящено значительное количество работ [1, 2, 5, 6, 7, 8, 9]. О. П. Алексеевым предложен микропроцессорный комплекс [5], основанный на использовании метода косвенных измерений динамики транспортного средства.

На кафедре ТМ и РМ ХНАДУ под общим руководством проф. Подригало М. А. разработан мобильный измерительный комплекс, состоящий из двух датчиков ускорений Freescale Semiconductor модели MMA7260QT, а также ЭВМ для снятия и архивации данных [7]. Использованные датчики MMA7260QT – емкостные акселерометры с тремя рабочими осями и пределом измерения $\pm 1.5 g$. Данный комплекс позволяет определять суммарную силу сопротивления движению, коэффициент

аэродинамического сопротивления, мощность двигателя и прочие энергетические и динамические показатели автомобилей при динамических (квалиметрических) испытаниях [6, 7, 8, 9].

Проведение квалиметрических испытаний колесных машин усложняется проблемой определения угла продольного наклона транспортного средства и уклона дороги в режиме реального времени. При подготовке динамических испытаний датчик ускорения, а значит, и оси его чувствительности жестко закрепляются в салоне автомобиля. В процессе движения, например, при разгоне автомобиля, разгружается передняя ось и несколько приподымается его передняя часть, а при торможении – наоборот, происходит «клевок» автомобиля. Таким образом, получаемый выходной сигнал датчика представляет собой лишь только часть истинной величины ускорения. Еще большее влияние оказывают неровности или уклон дороги. При записи ускорения относительно поверхности земли возникает значительная погрешность, что усложняет запись траектории колесной машины («черный ящик»), определение координат при плохом сигнале или отсутствии GPS, проведение динамических испытаний на дороге с неровностями или неравномерным уклоном.

Автор работы [1] предлагает схему калибровки акселерометров для уменьшения погрешности за счет применения специальных фильтров. С помощью данной методики [1] погрешность определения скорости транспортного средства составит около 5%. Однако, согласно ДСТУ 3310-96, при оценке устойчивости погрешность измерения скорости автомобиля должна составлять не более 0,5%. Таким образом, вопрос повышения точности при динамических испытаниях требует дополнительных исследований.

Цель и постановка задачи. Целью исследования является определение угла продольного наклона автомобиля, а также уклона дороги при проведении квалиметрических испытаний. Для достижения указанной цели необходимо решить следующие задачи:

- определить угол установки датчика по отношению к днищу автомобиля;
- определить ускорение автомобиля относительно продольной и перпендикулярной оси к земной поверхности;
- определить угол продольного наклона дороги в реальном времени с использованием акселерометра.

Определение угла установки датчика по отношению к днищу автомобиля. При подготовке к динамическим испытаниям, в салон автомобиля устанавливается мобильный измерительный комплекс, состоящий из двух трехосных акселерометров и ноутбука (или нетбука). Дополнительно под некоторым углом в вертикальной плоскости размещается акселерометр с двумя или более рабочими осями (см. рис. 1) и жестко закрепляется в салоне.

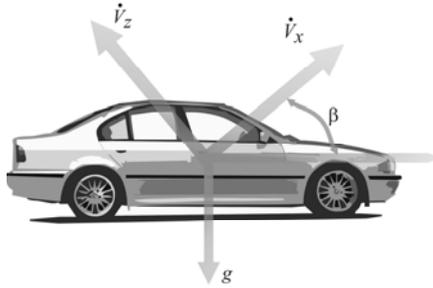


Рисунок 1 – Схема определения угла установки акселерометра по отношению к днищу автомобиля

Угол β , полученный при произвольной установке акселерометра по отношению к днищу автомобиля, определяется при проведении замера ускорений в статике (при установке автомобиля на ровной горизонтальной поверхности) с помощью выражения [2]

$$\beta = \arctg(\dot{V}_x / \dot{V}_z). \quad (1)$$

Определение ускорения автомобиля относительно продольной и перпендикулярной оси к земной поверхности. Используя показания акселерометра по двум осям, можно определить продольное ускорение автомобиля отдельно от ускорения свободного падения. Продольное ускорение автомобиля и ускорение свободного падения в данном случае раскладываются по двум осям, лежащим в вертикальной плоскости (см. рис. 2).

Единичные вектора продольной и вертикальной оси определяются с помощью несложных тригонометрических преобразований (см. рис. 2)

$$\bar{X} = \bar{V}_x \cdot \cos \beta - \bar{V}_z \cdot \sin \beta, \quad (2)$$

$$\bar{Z} = \bar{V}_x \cdot \sin \beta + \bar{V}_z \cdot \cos \beta. \quad (3)$$

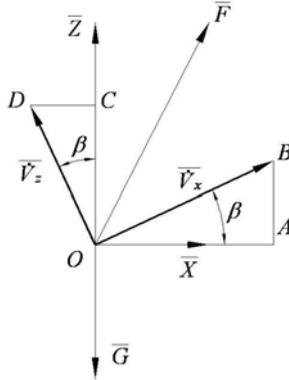
Выражение для определения вектора ускорения свободного падения имеет следующий вид

$$\bar{G} = g \cdot \bar{Z}. \quad (4)$$

Выражение для определения некоторого вектора \bar{F} можно записать в двух видах

$$\overline{F} = \dot{v}_x \cdot \overline{V}_x + \dot{v}_z \cdot \overline{V}_z, \quad (5)$$

$$\overline{F} = x \cdot \overline{X} + z \cdot \overline{Z}. \quad (6)$$



\overline{V}_x – единичный вектор показания продольной оси акселерометра; \overline{V}_z – единичный вектор показания вертикальной оси акселерометра; \overline{Z} – единичный вектор вертикальной оси; \overline{X} – единичный вектор продольной оси; \overline{G} – вектор ускорения свободного падения; β – угол установки акселерометра по отношению к днищу автомобиля; \dot{v}_x – показания продольной оси акселерометра; \dot{v}_z – показания вертикальной оси акселерометра; z – компонента ускорения, приходящаяся на вертикальную ось; x – компонента ускорения, приходящаяся на продольную ось.

Рисунок 2 – Схема определения ускорения автомобиля относительно продольной и перпендикулярной оси к земной поверхности

Из уравнений (2), (3) и (6) получим после проведения преобразований

$$\overline{F} = x \cdot (\overline{V}_x \cdot \cos \beta - \overline{V}_z \cdot \sin \beta) + z \cdot (\overline{V}_x \cdot \sin \beta + \overline{V}_z \cdot \cos \beta), \quad (7)$$

откуда

$$\overline{F} = (x \cdot \cos \beta + z \cdot \sin \beta) \cdot \overline{V}_x + (z \cdot \cos \beta - x \cdot \sin \beta) \cdot \overline{V}_z. \quad (8)$$

Из выражений (5) и (8) следует, что

$$\dot{v}_x = x \cdot \cos \beta + z \cdot \sin \beta, \quad (9)$$

$$\dot{v}_z = z \cdot \cos \beta - x \cdot \sin \beta. \quad (10)$$

Из выражения (9) получим выражение для определения ускорения автомобиля относительно продольной оси к земной поверхности

$$x = (\dot{v}_x - z \cdot \sin \beta) / \cos \beta . \quad (11)$$

Из выражений (10) и (11) получим

$$\dot{v}_z = z \cdot \cos \beta - \sin \beta \cdot (\dot{v}_x - z \cdot \sin \beta) / \cos \beta . \quad (12)$$

Решая выражение (12) относительно z , получим выражение для определения ускорения автомобиля относительно перпендикулярной оси к земной поверхности

$$z = \dot{v}_z \cdot \cos \beta + \dot{v}_x \cdot \sin \beta . \quad (13)$$

Таким образом, устанавливая акселерометр в салоне автомобиля с некоторым углом β по отношению к его днищу, можно определить компоненты ускорения, приходящиеся на продольную и перпендикулярную ось к земной поверхности, используя зависимости (11) и (13) соответственно.

Определение угла продольного наклона дороги в реальном времени с использованием акселерометра. Используя показания акселерометра по вертикальной и продольной оси, можно определить угол наклона дороги α с помощью несложных тригонометрических преобразований (см. рис. 3).

Косинус угла продольного уклона дороги определяется из следующего выражения (см. рис. 3)

$$\cos \alpha = g_z / g , \quad (14)$$

где g_z – компонента ускорения свободного падения, приходящаяся на вертикальную ось;

g – вектор ускорения свободного падения.

Подставляя выражение (13) в (14) получим

$$\cos \alpha = (\dot{v}_x \cdot \sin \beta + \dot{v}_z \cdot \cos \beta) / g . \quad (15)$$

Угол продольного наклона дороги, таким образом

$$\alpha = \arccos(\dot{v}_x \cdot \sin \beta + \dot{v}_z \cdot \cos \beta) / g . \quad (15)$$

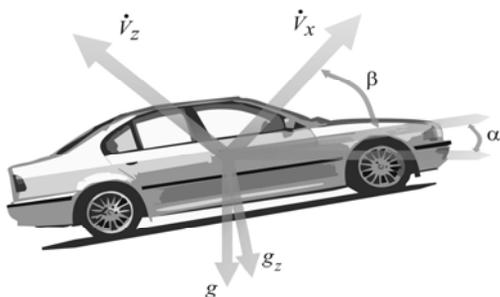


Рисунок 3 – Схема определения продольного уклона дороги в режиме реального времени при проведении динамических испытаний

Выводы. 1. Предложенная методика не требует дорогостоящего дорожного оборудования и позволяет в автоматическом режиме с точностью до 1% (что соответствует требованиям ДСТУ 3310-96) определять продольные, боковые и вертикальные ускорения автомобиля с поправкой на уклон дороги в режиме реального времени. **2.** Определение поправки на «клевок» автомобиля, а также на уклон дороги позволяет снизить погрешность при записи траектории колесной машины, определении координат при плохом сигнале или отсутствии GPS, проведении динамических испытаний на дороге с неровностями или неравномерным уклоном.

Список литературы: 1. *Handel P.* Combating the effect of chassis squat in vehicle performance calculations by accelerometer measurements / P. Handel, B. Enstedt, M. Ohlsson // Measurement. – 2010. – № 3. С. 483–488. **2.** *T. Yoshida.* Inclination sensing of moving vehicle. #AN-00MX-012 Application Note n/r 3/12/03 (MEMSIC Inc.). **3.** The Federal Motor Vehicle Safety Standards, [http://nhtsa.gov/cars/mles/standards/FMVSS Regs/index.htm](http://nhtsa.gov/cars/mles/standards/FMVSS%20Regs/index.htm). **4.** *Аш Ж.* Датчики измерительных систем: В 2 книгах / Аш. Ж. [пер. с франц.] – М.: Мир, 1992. – 480 с. **5.** *Гаврилов Э. В.* Принципы работы мобильных вычислительных комплексов / Алексеев О. П., Смирнов О. П. // Информационные технологии. – Харьков: Магдебург. – ХГПУ, 1999. – с.139-141. **6.** *Клец Д. М.* Применение акселерометров в системах пассивной безопасности автомобилей / Д. М. Клец, А. И. Коробко, Я. В. Ревтов, Д. А. Безъязычный // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. – 2009. – № 24. – С. 41-44. **7.** Пат. 51031 Україна, МПК G01P 3/00 25.06.2010. Система для визначення параметрів руху автотранспортних засобів при динамічних (кваліметричних) випробуваннях / Подригало М. А., Коробко А.И., Клец Д.М., Файст В.Л.; заявник та патентовласник Харківський нац. автом.-дорожн. університет. - № u 2010 01136; заявл. 04.02.10 ; опубл. 25.06.10, Бюл. № 12. **8.** *Подригало М. А.* Метод визначення сумарної сили опору руху автомобіля за допомогою датчиків лінійних прискорень / М. А. Подригало, А. І. Коробко, Д. М. Клец, О. О. Назарько, А. М. Мостова // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – 2010. – Вип. 28 (травень, 2010). – С. 432-434. **9.** *Подригало М.А., Клец Д.М., Мостовая А.Н., Коробко А.И.* Метод определения энергетических и динамических показателей автомобилей с помощью датчиков линейных ускорений / Вісник СНУ ім. В. Даля №7 (149) 2010 Луганськ, с. 40-44. **10.** *Сысоева С.* Автомобильные акселерометры / С. Сысоева // Компоненты и технологии. – 2005. – №8. – С. 12-18.

Поступила в редколлегию 02.05.2011