

**Д.О. ВОЛОНЦЕВИЧ**, д-р техн. наук, НТУ “ХПИ”,

**В.С. БОГАЧ** аспирант, НТУ “ХПИ”,

**А.Е. ИСТОМИН**, канд. техн. наук, НТУ “ХПИ”

## **ВЫБОР ДАТЧИКОВОЙ АППАРАТУРЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ СТАБИЛИЗАЦИИ КУРСОВОЙ УСТОЙЧИВОСТИ АВТОМОБИЛЯ**

В статті розглядаються питання використання в якості датчикової апаратури системи стабілізації курсової стійкості доступних датчиків кутової швидкості. Зроблена оцінка вихідних сигналів мікромеханічного гіроскопа, а також розроблена методика використання замість датчика кутової швидкості двох акселерометрів.

In the paper a problem of using of low-cost angular rate sensors in Electronic Stability Programme systems is considered. Analysis of the output angular rate MEMS-sensor signals and a method of using of two accelerometers instead of gyro sensor are presented.

Увеличение количества автомобилей, плотности потока движения, а также неопытность среднестатистического водителя приводит к возрастанию количества аварий на дорогах связанных с потерей устойчивости автомобиля. И, если даже не брать в рассмотрение извилистые горные дороги, гололёд и другие отягощающие факторы, аварии происходят даже на ровных автомагистралях, скорость движения на которых довольно высока. Причиной всех подобных аварий является практически неконтролируемое падение сцепления колёсных шин автомобиля с дорожным покрытием, которое ещё более ослабевает при появлении продольного или поперечного скольжения, т.е. юза колёс [1]. При движении юзом автомобиль плохо поддаётся управлению и вывести его из такого состояния может далеко не каждый водитель. Продольный юз или пробуксовка вызывает потерю поперечной устойчивости.

Для помощи водителю в предотвращении потери управляемости автомобиля предназначена система стабилизации курсовой устойчивости (ESP). ESP – Electronic Stability Programme (у разных производителей данная технология именуется по-разному: VDC, VSC, DSTC, DSC, ATTS) – система электронной динамической стабилизации и поддержания курсовой устойчивости автомобиля [2, 3]. Задача ESP заключается в том, чтобы контролировать поперечную динамику автомобиля и помогать водителю в критических ситуациях – предотвращать срыв автомобиля в занос и боковое скольжение. То есть сохранять курсовую устойчивость, траекторию движения и стабилизировать положение автомобиля в процессе выполнения манёвров, особенно на высокой скорости или на плохом покрытии. Иногда эту систему называют «противозаносной» или «системой поддержания курсовой устойчивости».

Целью данной статьи является оценка точности ДУС принципиально возможных для установки в систему ESP, а так же разработка математического аппарата для замены ДУС на акселерометры.

Задаваясь вопросом создания противозаносной системы, исследователь сталкивается с проблемой выбора её компонентов, перечень которых в современной литературе хорошо определён и изучен [2, 3, 6]. На рисунке 1 представлен наиболее полный список датчиков, применяемых в комплексной системе стабилизации курсовой устойчивости [4].

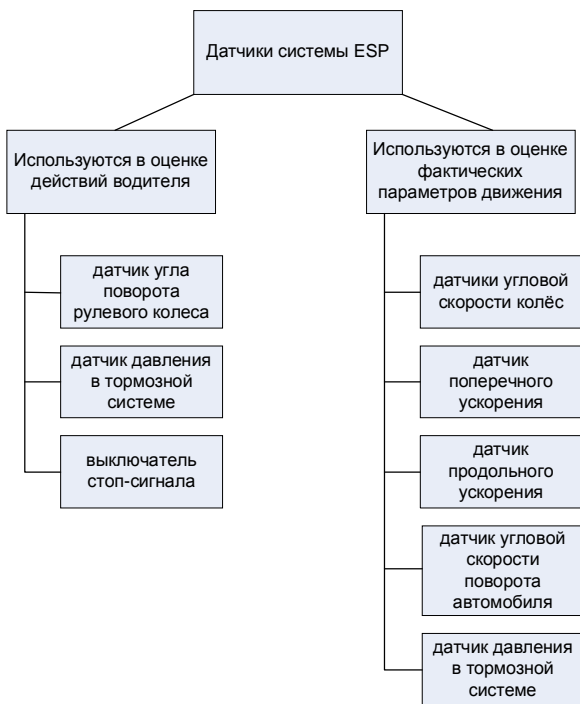


Рисунок 1 – Датчики комплексной системы стабилизации курсовой устойчивости

Однако, учитывая актуальность снижения стоимости всей системы и обеспечения её доступности для внедрения на недорогие авто, задача сильно усложняется и требует поиска новых технических решений.

В большинстве случаев ESP строиться на базе противоблокировочной системы торможения, а данные для контроля потери управляемости получает от двух основных датчиков: датчика угловой скорости (ДУС) вращения вокруг вертикальной оси и датчика поперечного ускорения. Третий датчик –

датчик угла поворота рулевого колеса ввиду своей относительной простоты в данной работе не рассматривался.

В современной литературе, раскрывающей системы ESP, даётся описание лишь физического принципа действия ДУС. Так, системах BOSCH встраивается датчик микромеханического типа (MEMS-гироскопы).

Применяемые при производстве MEMS-датчиков технологии современной твердотельной микроэлектроники, а также используемые материалы позволяют обеспечить малые габариты, вес и энергопотребление, высокую надежность и устойчивость к внешним воздействиям, низкую стоимость микромеханических датчиков. Технологическая совместимость механической части датчика и сервисной электроники позволяют создавать практически в единых технологических процессах интегральные модули – чипы – гироскопы и акселерометры, а также сборки инерциальных элементов объемом 5–10 см<sup>3</sup> с потребляемой мощностью 0,5–1 Вт.

Учитывая стоимость современных ESP и задаваясь целью её снижения для внедрения на доступные автомобили, было принято решение оценить точность доступных ДУС.

Компания Analog Devices выпускает гироскоп ADIS16250 по iMEMS технологии с чувствительностью в диапазоне  $\pm 80^\circ/\text{с} \dots \pm 320^\circ/\text{с}$ . с программируемыми функциями [7, 8]. ADIS16250 – цифровой датчик в портативном корпусе со встроенной схемой обработки сигнала, образуя законченную систему измерения угловой скорости. Выход гироскопа предварительно откалиброван. Среди круга применений, на который нацелена данная разработка, производитель отмечает промышленный инструментарий, системы стабилизации платформы, системы навигации, системы управления движением, авионика, робототехника.

На рисунке 2 показан типичный сигнал датчика ADIS 16250 в статическом положении.

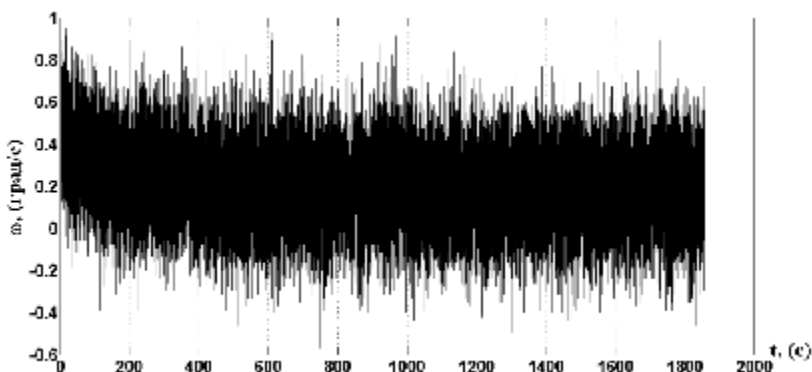


Рисунок 2 – Выходной сигнал ДУС ADIS16250 в статическом положении

Датчик был запрограммирован на диапазон измерений  $\pm 80$  °/с, частота опроса составляла 50 Гц, время опроса составляло приблизительно 30 мин. Математическое ожидание сигнала ДУС составило 0,2083 °/с.

Как видно из графика присутствие шума в статическом положении ДУС не позволяет использовать этот сигнал без фильтрации для работы ESP, хотя стоимость ADIS16250 составляет 1/8...1/10 самой ESP.

Становится актуальным разработка методики определения угловой скорости вращения вокруг вертикальной оси другими методами, не прибегая к использованию дорогих ДУС и сложных фильтраций сигналов. Так, имеется возможность измерения искомой угловой скорости посредством двух акселерометров.

В общем случае движения возникает проблема определения контрольной точки, кинематические параметры которой будут характеризовать скорость и ускорения машины. Эти параметры необходимо определять в направлении продольной оси автомобиля. В работе [5] определено, что контрольной точкой должен являться полюс поворота, который является центром упругости автомобиля в плоскости, параллельной плоскости дороги. Полюс поворота лежит на продольной оси автомобиля и среди всех точек, принадлежащих этой оси, имеет наименьшие значения линейной скорости и ускорения. Поскольку координата полюса поворота изменяется со временем, то для уменьшения погрешности определения кинематических параметров, угловых ускорений и скорости автомобиля предложено использовать две контрольные точки, в которых необходимо устанавливать два трехкоординатных датчика ускорений.

На рисунке 3. приведена схема линейных ускорений автомобиля в общем случае движения в тяговом режиме. При жестких в боковом направлении колес мгновенный центр поворота лежит на продолжении задней оси автомобиля. При движении автомобиля с эластичными в боковом направлении колесами, мгновенный центр поворота перемещается в точку  $O_2$ , а полюс поворота – в точку  $D$ . Точка  $D$  является центром упругости автомобиля в плоскости, параллельной плоскости дороги. Ее положение изменяется в зависимости от среднего угла  $\bar{\alpha}$  поворота управляемых колес, углов увода  $d_1$  передней и  $d_2$  задней осей.  $\bar{a}_A^k$ ,  $\bar{a}_A^n$ ,  $\bar{a}_B^k$ ,  $\bar{a}_B^n$  – компоненты ускорений точек  $A$  и  $B$  (контрольных точек, в которых установлены датчики ускорений);  $X_A$ ,  $X_B$ ,  $Y_A$ ,  $Y_B$  – координаты точек установки датчиков;  $\alpha_A$ ,  $\alpha_B$  – углы установки датчиков ускорений к мгновенному центру поворота

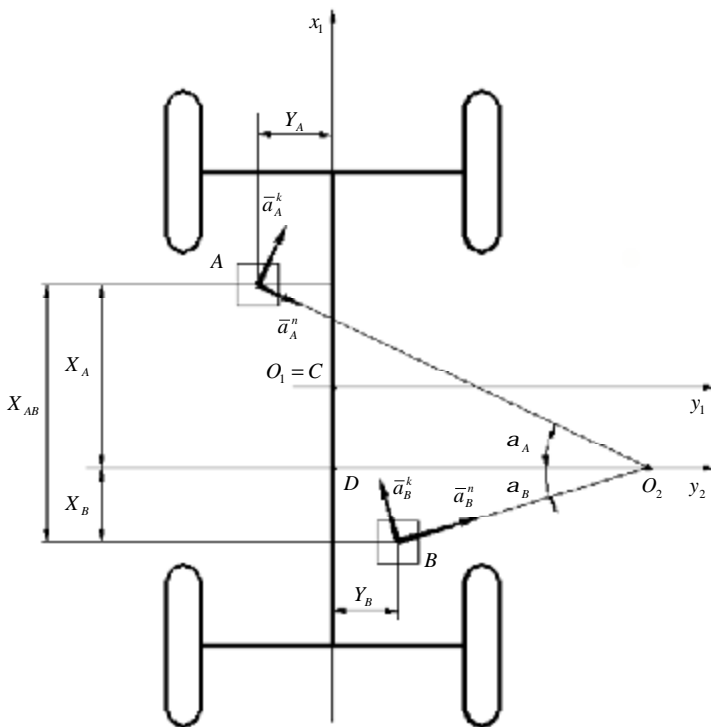


Рисунок 3 – Схема измерения линейных ускорений автомобиля при установке двух акселерометров

Угловая скорость автомобиля в плоскости дороги определяется из следующего соотношения

$$\omega = \sqrt{\frac{(\alpha_A X_A - \alpha_B X_B) \cdot (V_B - V_A) + X_{AB} \cdot (\alpha_A Y_A - \alpha_B Y_B)}{(V_B - V_A)^2 + X_{AB}^2}} \quad (1)$$

Угловое ускорение автомобиля

$$\varepsilon = \frac{(\alpha_A X_A - \alpha_B X_B) \cdot (V_B - V_A) + X_{AB} \cdot (\alpha_A Y_A - \alpha_B Y_B)}{(V_B - V_A)^2 + X_{AB}^2} \quad (2)$$

Координаты мгновенного центра поворота

$$X_A = \frac{0,5 \cdot X_{AB} \cdot (\varepsilon^2 + \omega^4) + \varepsilon \cdot \alpha_B Y_B - \omega^2 \cdot \alpha_A X_A}{0,5 \cdot \varepsilon^2 + \omega^4} \quad (3)$$

$$X_B = X_{A,B} - X_A, \quad (4)$$

Мгновенный радиус поворота автомобиля

$$R_D = \frac{\sigma_{Y1} + 0,5 \cdot \sigma_{X_{A,B}}}{\omega^2} - \frac{\sigma}{\omega^2} \cdot \left( \frac{0,5 \cdot X_{A,B} (\varepsilon^2 + \omega^4) + \sigma \cdot \sigma_{Y1} - \omega^2 \cdot \sigma_{X1}}{0,5 \cdot \varepsilon^2 + \omega^4} \right). \quad (5)$$

В результате проведенной работы можно сделать следующие выводы:

1. Учитывая стоимость системы стабилизации курсовой устойчивости, был проведен поиск принципиально возможного к установке в проектируемую ESP датчика угловой скорости. Основными критерием при поиске датчика были выбраны: стоимость ДУС, которая закладывалась не более 1/8 цены всей ESP, а так же физический принцип действия датчика, который раскрывался в описании наиболее часто применимых систем стабилизации курсовой устойчивости таких мировых производителей как BOSCH и ITT-AUTOMOTIVE.

2. Был выбран ДУС фирмы Analog Devices марки ADIS16250 построенный по iMEMS технологии с чувствительностью в диапазоне  $\pm 80^\circ/\text{с}$ . Для оценки его выходных характеристик был построен стенд, благодаря которому были получены выходные данные.

3. ДУС ADIS16250 или другой, подобный ему по выходным характеристикам не даёт сигнал желаемой точности. Для получаемых с выхода сигналов требуется дополнительная обработка по фильтрации и коррекции нулевого значения.

4. была разработана методика определения искомой величины посредством двух акселерометров.

Приведенные выше математический аппарат, позволяющий получать угловую скорость вращения автомобиля вокруг вертикальной оси посредством применения двух акселерометров, требует дальнейшей экспериментальной проверки.

**Список литературы:** 1. *Соснин Д.А., Яковлев В.Ф.* Новейшие автомобильные электронные системы. – М.: СОЛОН-Пресс. 2005 – 240 с. 2. <http://www.drive.ru>. 3. <http://systemsauto.ru>. 4. *Волонцевич Д.О.* Обзор и классификация существующих систем стабилизации курсовой устойчивости автомобиля / *Волонцевич Д.О. Богач В.С.* // Механіка та машинобудування. - 2009. – №2 – С. 16-20. 5. *Клец Д.* Применение акселерометров в системах пассивной безопасности автомобилей / *Д. Клец, А. Коробко, Я. Ревтов, Д. Безъязычный* // Автомобильный транспорт. Сборник научных трудов. - 2009. – Вып. 24 – С. 41-44. 6. *Подригало М. А., Волков В. П., Степанов В. Ю., Доброгорский М. В.* Устойчивость колесных машин при заносе и способы ее повышения /; под ред. *М. А. Подригало.* - Харьков: Изд-во ХНАДУ, 2006. – 335 с. 7. <http://www.analog.com>. 8. <http://www.freescale.com>.

Поступила в редколлегию 29.09.10