

УДК 628.052.7; 629.054; 629.016; 629.018

¹Подригало М.А., ²Оліярник Б.О., ¹Коробко А.І., ¹Байдала В.Ю., ¹Зяблов Я.С.,
²Власюк П.С.¹Харківський національний автомобільно-дорожній університет²Державне підприємство «Львівський науково-дослідний радіотехнічний інститут»

УДОСКОНАЛЕННЯ ЗАСОБІВ ВИМІРЮВАННЯ ШВИДКОСТІ РУХОМИХ ОБ'ЄКТІВ

В статті запропоновано новий спосіб вимірювання таких параметрів руху рухомих об'єктів, як кутові швидкість і прискорення, миттєвий радіус повороту, лінійна швидкість, використовуючи в якості засобів вимірювальної техніки інтегральні акселерометри на основі MEMS-технологій. Розроблена вимірювальна система може використовуватись в якості системи навігації при визначенні просторово-часової орієнтації наземного об'єкту, оскільки крім вимірювання указаних параметрів вона дозволяє визначати напрям вектору лінійної швидкості. Порівняно з існуючими способами вимірювання указаних параметрів.

Ключові слова: вимірювальна система, акселерометр, гіроскоп, просторово-часова орієнтація, параметри руху

Постановка проблеми. Динамічні випробування рухомих об'єктів, і автомобілів в тому числі, на сьогоднішній день є одним із найбільш розповсюджених і достовірних способів оцінювання їх якості як при оцінюванні відповідності, так і в експлуатації. Для забезпечення необхідного рівня безпеки необхідно розширювати контроль різних механізмів, перейти на якісно більш високий рівень випробувань і впроваджувати нові пристрої контролювання з більш високими функціональними можливостями. Використання акселерометрів відіграє значну роль у вирішенні указаної проблеми. В зв'язку з вищесказаним, виникає проблема розробки і застосування при проведенні динамічних випробувань рухомих об'єктів вимірювально-реєстраційних комплексів, які дозволять без втручання в конструкцію здійснювати визначення їхніх динамічних і кінематичних параметрів.

В статті запропоновано новий спосіб вимірювання таких параметрів руху рухомих об'єктів, як кутові швидкість і прискорення, миттєвий радіус повороту, лінійна швидкість, використовуючи в якості засобів вимірювальної техніки інтегральні акселерометри на основі MEMS-технологій.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В Харківському національному автомобільно-дорожньому університеті сумісно з Харківським національним технічним університетом сільського господарства імені Петра Василенка на протязі ряду років проводиться розробка методів і засобів проведення динамічних випробувань автомобілів і тракторів [1, 2, 3]. В основу розроблених методів покладено універсальний метод парціальних прискорень [4], заснований на вимірюванні лінійних прискорень, що виникають при русі об'єкту випробувань. Вимірювання прискорень здійснюється лінійними акселерометрами. Було доведено, що для того, щоб об'єкт випробувань був повністю спостережним, необхідно, щоб кожній степені свободи рухомого об'єкту відповідала своя вимірювальна вісь [5]. Для реалізації указанного положення запропоновано вимірювальну систему, що складається з двох триосьових акселерометрів і обчислювального блоку [1]. Метрологічні характеристики такої вимірювальної системи дозволяють проводити вимірювання параметрів руху з похибкою, що не перевищує 5 %.

Відомі також інші системи для вимірювання швидкості об'єкту, що містять в собі вимірювальний провідник, розташований в горизонтальному напрямку, перпендикулярному напрямку руху об'єкту, з можливістю впливу на цей провідник магнітного поля Землі, і бортовий обчислювач, виконаний з можливістю визначення швидкості руху об'єкту в залежності від різниці електричного потенціалу між різними точками вимірювального провідника, додатково може бути встановлений давач магнітного поля і інклінометр або акселерометр [6].

Інший спосіб вимірювання швидкості руху наземного транспортного засобу, полягає в тому, що при використанні двох вимірювачів швидкості (основного і додаткового) здійснюють безперервне вимірювання швидкості руху об'єкта основним і періодичні вимірювання з високою точністю додатковим вимірювачем, використовуючи вимірювання часу затримки сигналу другого каналу щодо першого високоточним вимірювачем в певних межах часових інтервалів, попередньо обумовлених менш точним вимірювачем швидкості [7].

Виділення невирішеної проблеми. Описані вимірювальні системи [6, 7], безумовно, є перспективними і конкурентоспроможними в області навігації наземних рухомих об'єктів, проте вони мають і недоліки. Найбільшими є відсутність універсальності в застосуванні, підвищена складність встановлення на об'єкті внаслідок необхідності обладнання спеціальних посадочних місць під різні давачі, неможливість визначення напрямку вектору швидкості. На результат вимірювання значно впливають подовжній і поперечний ухили поверхні, по якій рухається об'єкт, що вимагає застосування складних методів коригування похибки вимірювання і застосування додаткових технічних засобів [8].

Мета і постановка задач дослідження. Метою дослідження є підвищення автономності і зменшення похибки вимірювання параметрів руху (лінійного прискорення, лінійної швидкості, кутового прискорення, кутової швидкості, миттєвого радіусу повороту, напрямку вектору лінійної швидкості) рухомих об'єктів при випробуваннях та підвищення функціональності навігаційних систем при визначенні просторово-часової орієнтації об'єктів і при управлінні рухомими об'єктами. Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу вибору інформаційного обладнання для вимірювальної системи і розробити методику вимірювання лінійного прискорення, лінійної швидкості, кутового прискорення, кутової швидкості, миттєвого радіусу повороту і напрямку вектору лінійної швидкості наземних об'єктів.

Результати дослідження. Для визначення кінематичних параметрів руху транспортних засобів пропонується використовувати вимірювальну систему, що складається із триосьового давача лінійного прискорення і давача кутової швидкості (гіроскопа). На рис. 1 наведено схему вимірювання лінійних прискорень що виникають при русі наземного об'єкту.

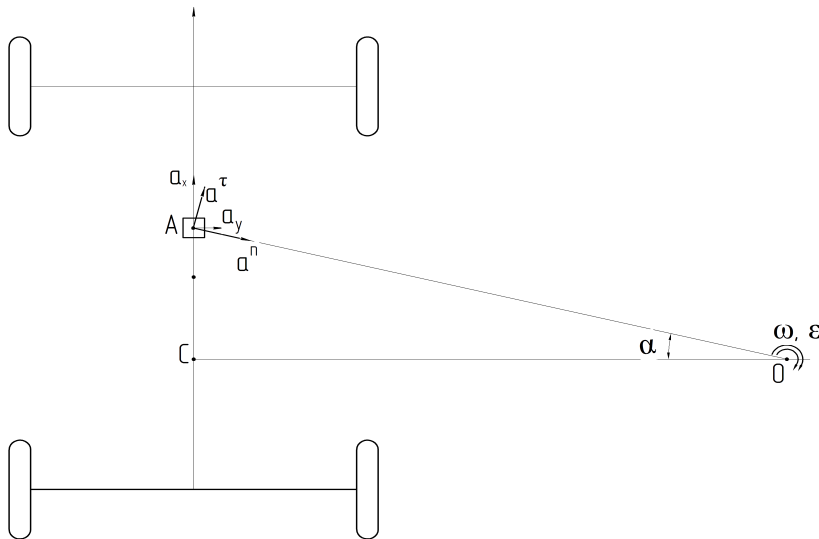


Рис. 1. Схема лінійних прискорень що виникають при русі транспортного засобу

Компоненти прискорень точки А, в якій встановлені давачі:

$$a^n = \omega^2 R = \omega^2 OA; \quad (1)$$

$$a^\tau = \varepsilon R = \varepsilon OA, \quad (2)$$

де a^n , a^τ – нормальне і дотичне прискорення в точці А, відповідно; ω – кутова швидкість точки А; ε – кутове прискорення в точці А; R – миттєвий радіус повороту (на рис. 1 – величина відрізка ОС).

Компоненти лінійних прискорень, які реєструються давачами лінійних прискорень:

$$a_x = a^\tau \cos \alpha + a^n \sin \alpha; \quad (3)$$

$$a_y = a^\tau \sin \alpha + a^n \cos \alpha. \quad (4)$$

Після підстановки (1) – (2) в (3) – (4), а також з урахуванням геометричного визначення кута α згідно схеми на рис. 1 маємо:

$$a_x = \varepsilon R + \omega^2 Rtg \alpha; \quad (5)$$

$$a_y = -\varepsilon Rtg \alpha + \omega^2 R. \quad (6)$$

Розв'язуючи сумісно (5) і (6) знайдемо миттєвий радіус повороту

$$R = \frac{a_y \omega^2 - a_x \varepsilon}{\omega^4 - \varepsilon^2}. \quad (7)$$

Величину кутового прискорення ε можна знайти використовуючи додатковий давач кутового прискорення, або продиференціювати значення кутової швидкості ω :

$$\varepsilon = \frac{\omega_2 - \omega_1}{\Delta t}; \quad (8)$$

де ω_1, ω_2 – значення кутової швидкості виміряні в поточний і попередній моменти часу відповідно; Δt – проміжок часу з яким здійснюється вимірювання кутової швидкості.

Рівняння (7) з урахуванням (8) буде мати вид

$$R = \frac{a_y \omega_2^2 \Delta t^2 - a_x \Delta t (\omega_2 - \omega_1)}{\omega^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2}. \quad (9)$$

Лінійну швидкість транспортного засобу можна визначати не інтегруванням по часові, а по відомій формулі

$$v = \omega R. \quad (10)$$

Або з урахуванням (9)

$$v = \frac{a_y \omega_2^3 \Delta t^2 - a_x \Delta t \omega_2 (\omega_2 - \omega_1)}{\omega^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2}. \quad (11)$$

Похибка вимірювання швидкості транспортного засобу визначається наступним чином

$$\varepsilon_v = \left(\left| \frac{\partial v}{\partial a_y} \right| + \left| \frac{\partial v}{\partial a_x} \right| \right) \varepsilon_a + \left(\left| \frac{\partial v}{\partial \omega_2} \right| + \left| \frac{\partial v}{\partial \omega_1} \right| \right) \varepsilon_\omega + \left| \frac{\partial v}{\partial \Delta t} \right| \varepsilon_{\Delta t}. \quad (12)$$

де $\varepsilon_a, \varepsilon_\omega, \varepsilon_{\Delta t}$ – абсолютні похибки вимірювання лінійного прискорення, кутової швидкості і часу відповідно;

$$\frac{\partial v}{\partial a_y} = \frac{\omega_2^3 \Delta t^2}{\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2}; \quad (13)$$

$$\frac{\partial v}{\partial a_x} = - \frac{\Delta t (\omega_2^2 - \omega_2 \omega_1)}{\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2}; \quad (14)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \omega_2} = \frac{3a_y \omega_2^2 \Delta t^2 - a_x \Delta t (2\omega_2 - \omega_1)}{\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2} - \frac{[4\omega_2^3 \Delta t^2 - 2(\omega_2 - \omega_1)][a_y \omega_2^3 \Delta t^2 - a_x \omega_2 \Delta t (\omega_2 - \omega_1)]}{[\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2]^2}; \quad (15)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \omega_1} = \frac{a_x \omega_2 \Delta t}{\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2} - \frac{2(\omega_2 - \omega_1)[a_y \omega_2^3 \Delta t^2 - a_x \omega_2 \Delta t (\omega_2 - \omega_1)]}{[\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2]^2}; \quad (16)$$

$$\frac{\partial v}{\partial \Delta t} = \frac{2a_y \omega_2^3 \Delta t - a_x (\omega_2 - \omega_1)}{\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2} - \frac{2\omega_2^4 \Delta t [a_y \omega_2^3 \Delta t^2 - a_x \omega_2 \Delta t (\omega_2 - \omega_1)]}{[\omega_2^4 \Delta t^2 - (\omega_2 - \omega_1)^2]^2}. \quad (17)$$

Висновки. Розроблена математична модель вимірювання дозволяє вимірювати такі параметри руху, як лінійне прискорення, лінійна швидкість, кутове прискорення, кутова швидкість, миттєвий радіус повороту. Розроблена вимірювальна система може використовуватись в якості системи навігації при визначенні просторово-часової орієнтації наземного об'єкту, оскільки крім вимірювання указаних параметрів вона дозволяє визначати напрям вектору лінійної швидкості. Порівняно з існуючими способами вимірювання указаних параметрів.

Інформаційні джерела

1. Коробко А. І. Удосконалення методів та метрологічного забезпечення проведення динамічних випробувань автомобілів : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.01.02 «Стандартизація, сертифікація та метрологічне забезпечення» / А. І. Коробко. – Харків, 2013. – 20 с.
2. 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 Луцького національного технічного університету.

- Міжвузівський збірник (за галузями знань «Машинобудування та металообробка», «Інженерна механіка», «Металургія та матеріалознавство»). – 2010. – Вип. 28 (травень, 2010). – С. 432-434.
3. Радченко Ю. А. Экспресс-метод диагностирования рулевого управления шарнирно-сочлененных машин / Радченко Ю. А., Назарько О. А., Коробко А. И., Подригало М. А. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. Воронеж : ФГБОУ ВО «ВЛГТА им. Г. Ф. Морозова» – 2015. – № 2. – С. 132-137.
 4. Метод парциальных ускорений и его приложения в динамике мобильных машин / Артемов Н. П., Лебедев А. Т., Подригало М. и др. ; под. ред. М. А. Подригало. – Х. : Изд-во «Міськдрук», 2012. – 220 с.
 5. Артёмов М. Питання точності вимірювань під час динамічних випробувань мобільних машин // М. Артёмов, М. Подригало, А. Коробко, Д. Клец // Метрологія та прилади. Науково-виробничий журнал – 2012. - № 5. – С. 27-31
 6. RU 2307356 Устройство для измерения скорости объекта, МПК G01P3/50 / Коровин В. А., Коровин В. К.; Патентообладатель: ООО «Научно-производственное предприятие «Резонанс» RU.; – 2006104665/28, Дата подачи заявки: 14.02.2006; Опубликовано: 27.09.2007, Бюл. № 27
 7. RU 2431847 Способ определения скорости движения наземного транспортного средства, МПК G01P3/50 / Кулешов В. В., Макаров В. А., Кутузов С. В. ; Патентообладатель: Федеральное государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Военная академия Ракетных войск стратегического назначения имени Петра Великого МО РФ (RU). – 2010101941/28, Дата подачи заявки: 22.01.2010; Опубликовано: 20.10.2011, Бюл. № 29.
 8. Шеин В. С. Определение продольного угла наклона дороги в процессе движения автомобиля / Шеин В. С., Коробко А. И., Абрамов Д. В., Подригало М. А. // Альтернативные источники энергии в транспортно-технологическом комплексе: проблемы и перспективы рационального использования. Воронеж : ФГБОУ ВО «ВЛГТА им. Г. Ф. Морозова». – 2014. – № 1. – С. 163-168.

¹Подригало М.А., ²Олиярник Б.А., ¹Коробко А.И., ¹Байдала В.Ю., ¹Зяблов Я.С., П.С. ²Власюк

¹Харьковский национальный автомобильно-дорожный университет

²Государственное предприятие «Львовский научно-исследовательский радиотехнический институт»

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СРЕДСТВ ИЗМЕРЕНИЯ СКОРОСТИ ПОДВИЖНЫХ ОБЪЕКТОВ

В статье предложен новый способ измерения параметров движения подвижных объектов, как угловая скорость и ускорение, мгновенный радиус поворота, линейная скорость, используя в качестве средств измерительной техники интегральные акселерометры на основе MEMS-технологий. Разработанная измерительная система может использоваться в качестве системы навигации при определении пространственно-временной ориентации наземного объекта, поскольку кроме измерения указанных параметров она позволяет определять направление вектора линейной скорости. По сравнению с существующими способами измерения указанных параметров.

Ключевые слова: измерительная система, акселерометр, гироскоп, пространственно-временная ориентация, параметр движения.

M.¹Podrigalo, B.²Oliyarnik, A.¹Korobko, V.¹Baydala, Ya.¹Zyablov, P.²Vlasyuk

¹Kharkiv national automobile and highway University

²State enterprise "Lviv radio engineering research Institute"

IMPROVEMENT OF MEASUREMENTS MEANS THE SPEED OF MOVING OBJECTS

The paper addresses a new method of moving objects measuring motion parameters. This: angular velocity, angular acceleration, instantaneous turn radius, linear velocity. Measuring instruments using integrated accelerometers based on MEMS-technology. The developed measuring system can be used as navigation system in determining the spatio-temporal orientation of the ground object. Because in addition to measuring these parameters it allows you to determine the direction of the vector of linear speed. Compared to existing methods of measuring these parameters.

Keywords: measurement system, accelerometer, gyroscope, spatial-temporal orientation, a characteristic of motion.