

УДК 629.4.086

ВИБІР МЕТОДУ ВИЗНАЧЕННЯ НАПРЯМКУ ЗАКРУГЛЕННЯ ДІЛЯНКИ ШЛЯХУ, ЯКИЙ ПРОХОДИТЬ ЛОКОМОТИВ

Клюєв С.О., Брагін М.І.

THE CHOICE OF THE METHOD FOR DETERMINING THE DIRECTION OF CURVATURE OF THE PATH SECTION TRAVERSED BY THE LOCOMOTIVE

Kliuiev S., Brahin N.

У статті розглянуто спільне використання супутників і інерційних систем при керованому русі-ванні колісної пари в рейкової колії, використання який забезпечує необхідну точність вимірювання координат розташування локомотива на ділянці шляху. Основна ідея полягає в комплексуванні сигналу від супутникового і інерційного блоку, з метою зменшення похибки вимірювання координат кожної з систем. Розроблено технічне рішення спільного використання супутникового і інерційного вимірювання.

Ключові слова: супутникова навігація, інерціальна система, положення колісної пари, комплексування, система координат, локомотив.

Вступ. Зростаючий обсяг вантажних перевезень і збільшення швидкості руху поїздів підвищують роль оперативного контролю параметрів вузлів рухомого складу з точки зору забезпечення безпеки руху. Елементом, який найбільшою мірою впливає на безпеку руху, є колісна пара локомотива і її взаємодія з рейкової колією [1, 2].

Для зниження силового впливу гребня колеса з головкою рейки при русі локомотива на криволінійних ділянках колії доцільно змінювати кут набігання колеса локомотива на колії поворотом колісних пар. Контроль стану колісною парою локомотива можливо за допомогою оперативного вимірювання фактичного кута набігання колеса на рейку.

Для реалізації такої системи необхідна достовірна інформація про величину кута набігання колеса на рейку. Існуючі методи визначення кута набігання колеса на рейку без установки стаціонарно датчика на залізничне полотно використовують непрямі вимірювання для обчислення значення кута набігання і не відображають процесів силового взаємодії колеса і рейки. Існуючі методи визначення кута набігання колеса на рейку передбачають отримання даних в постобробці. Розробка методу контролю кута набігання колеса на рейку дозволить розробити систему автоматичного керування положенням колісної пари

в рейкової колії, завдяки чому підвищиться якість управління, безпеку руху в криволінійних ділянках шляху і знизиться знос коліс і рейок. Розробка методу контролю кута набігання колеса на рейку дозволить розробити систему автоматичного керування положенням колісної пари в рейкової колії.

Існуючі системи моніторингу кута набігання колеса локомотива на колії недосконалі і містять велику кількість неуніфікованих пристроїв і різних методів контролю. Для стимулювання робіт, спрямованих на удосконалення існуючих систем моніторингу стану колеса щодо рейки, в Європі створюється єдиний стандарт на основі розроблених інструкцій TSI.

Постановка проблеми. В даний час на українському рухомому складі не проводиться моніторинг стану колеса щодо рейки. У західних країнах для моніторингу стану колеса щодо рейки використовуються датчики емнісних і індуктивних типів. Контроль проводиться найчастіше в метрополітенах і місцях з підвищеними вимогами безпеки (мости, тунелі). В існуючих системах повороту колісних пар в горизонтальній площині не контролюється кут набігання колеса на рейку, що призводить до інтенсивного зносу колеса і рейки, зниження безпеки і стійкості руху.

Відомо метод акустичної емісії визначення кута набігання колеса на рейку не чутливий до напрямку набігання або збігання колеса на рейок [3, 4]. Тому одним із завдань є визначення напрямку закруглення криволінійної ділянки шляху, яку проходить локомотив.

Одним з способів визначення напрямку закруглення криволінійної ділянки шляху, яку проходить локомотив полягає у знаходженні зміни координат місцеположення. Постає проблема у точному визначенні координат місцезнаходження локомотива під час руху, так як ця інформація використовується

при управлінні колісними парами локомотива і помилки неприпустимі.

Застосування систем супутникової навігації на локомотивах є одним з інструментів для ідентифікації транспортних засобів на ділянці шляху, але для керованого руху колісної пари в рейкової колії не забезпечують необхідної точності вимірювань. Контактні методи отримання даних про переміщення локомотива не дозволяють визначити положення локомотива на ділянці шляху в кожен момент часу і вимагають стаціонарної установки датчика вздовж залізничного полотна [5].

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Застосування систем супутникової навігації на локомотивах, на думку фахівців локомотивного господарства "Укрзалізниці", є найбільш ефективним інструментом для ідентифікації транспортних засобів та створення цифрової моделі колії залізниць України [6].

На магістральних тепловозах, широке застосування отримало супутникові радіонавігаційні системи (СРНС) [7, 8].

Мета статті. Вибір методу визначення напрямку закруглення ділянки шляху, яку проходить локомотив і підвищення точності вимірювань при керованому русі колісної пари в рейкової колії.

Основний зміст. Для однозначної ідентифікації локомотива на залізничному полотні необхідно мати в наявності цифрову карту шляху і наявність наступною інформацією [9]:

- номером ділянки шляху проходження рухомої одиниці, обмеженого стрілочними переводами та/або ізольованими стиками з відомими координатами;

- координатами, отриманими від навігаційного обладнання;

- матрицею переходу між загальноземної системою координат і місцевої станційної системою координат;

- номером функції, яка описує ділянку шляху.

Володіючи інформацією про швидкість руху, про шлях, пройдений локомотивом, здійснюється контроль роботи навігаційного обладнання локомотива, підставивши дані значення в якості вихідних даних в функції, що описують ділянку шляху, визначаються координати локомотива в станційної системі координат.

Одометр є основним приладом, за показаннями якого визначається пройдено локомотивом відстань. Використання одного лише одометра не дозволяє точно локалізувати об'єкт через його похибки, яка залежить від таких факторів, як лінійна швидкість, прослизання колеса щодо рейки, погодні умови і може становити до 5 м на 1 км. Найбільш ефективним способом підвищення точності вимірювання пройденого шляху є інтегрування одометра з інерційної і навігаційною системою [10].

Ні супутникова, ні інерційна система окремо не забезпечує необхідної точності вимірювань.

Інерційних блок пов'язаний з датчиком шляху, що вимірює відстань по голівці рейки. На підставі вимірів збільшень в відстані і кутових зсувів визначаються просторові координати руху в умовній системі координат. Таким чином двічі, незалежно один від одного, визначається просторове положення локомотива в двох різних системах координат, які окремо не задовольняють необхідної точності. Дані інерційного блоку максимально точні на коротких відстанях і спотворюються пропорційно часу через відхід гіроскопів.

Для корекції супутникових вимірювань і досягнення необхідної точності використовується інерційних блок, завданням якого є визначення кутових зсувів в трьох площинах.

Інерційних блок закріплюється на платформі ходового візка і включає в себе:

- два волоконних датчика обертання, вісь чутливості одного з яких розташована в азимутальній площині, а другого збігається з поздовжньою віссю комплексу;

- акселерометр типу ДЛСУ, вісь чутливості якого розташована під кутом 90^0 до вектору руху;

- акумулятор 12 В;

- контролер.

Принцип роботи інерційного блоку заснований на вимірюванні збільшення кутової швидкості осей чутливості щодо вихідного положення [11].

Акселерометр забезпечує визначення кута нахилу поперечної осі блоку просторової орієнтації відносно горизонту.

Контролер призначений для прийому і виконання команд від кишенькового переносного комп'ютера, зчитування інформації з датчиків і передачі інформації назад.

Збільшення надійності і точності отримання координат просторового положення локомотива на ділянці шляху можливо шляхом об'єднання (комплексування) системи в єдине ціле [12].

Спільна обробка має на увазі синхронізовану роботу супутникового приймача і інерціального блоку. Підвищення точності забезпечується за рахунок придушення помилок в кожній системі [11].

Фільтрація помилок заснована на різниці динамічних властивостей обладнання: чим далі рознесені спектри частот похибок, тим вище ефективність їх придушення. Схема комплексування спільної роботи супутникового приймача і інерціального блоку представлена на рис. 1.

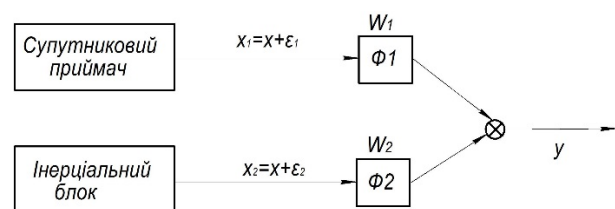


Рис. 1. Структурна схема комплексування

де: y – координата просторового місцеположення локомотива; W_1, W_2 – передавальні функції фільтрів; Φ_1, Φ_2 – фільтри; x_1, x_2 – корисний сигнал $x(t)$; $\varepsilon_1, \varepsilon_2$ – оператори помилки супутникового приймача та інерціального блока.

Завдання комплексування полягає в тому, щоб отримати сигнал y , який дає інформацію про корисної величиною “ x ” з меншими похибками, ніж $\varepsilon_1, \varepsilon_2$. Для цієї мети сигнали проходять через фільтри Φ_1 і Φ_2 . Відповідно до структурної схемою вихідний сигнал “ y ” має вигляд:

$$y = (W_1 + W_2)x + W_1 \varepsilon_1 + W_2 \varepsilon_2.$$

Помилка супутникового приймача $\varepsilon_1(t)$ може бути представлена сумою двох доданків:

$$\varepsilon_1(t) = b + m \cdot \sin(nt),$$

де b – постійна частина (конструктивна похибка);

m – амплітуда динамічної похибки;
 $m \cdot \sin(nt)$ – високочастотна складова помилки (динамічна похибка);
 n – кутова частота коливань,
 t – час.

Помилку інерціального блока можна виразити у вигляді $\varepsilon_2(t)$:

$$\varepsilon_2(t) = r \cdot t$$

де r – середня швидкість дрейфу інерціального блока.

Придушення високочастотної похибки супутникового приймача здійснюється за допомогою фільтра Φ_1 , похибки інерційного блока, фільтром Φ_2 , передавальна функція яких має вигляд:

$$W_1(p) = a / (p+a).$$

Фільтр Φ_2 має передавальну функцію:

$$W_2(p) = 1 - W_1 = p / (p+a).$$

Кінцевим результатом обробки сигналів від супутникового приймача і інерціального блока є отримання точних координат просторового положення колісної пари, процес отримання якої складається з наступних етапів:

- попередня обробка та коригування даних;
- конвертація координат в ГІС (глобальна вимірювальна система);
- поділ точок за належністю до шляхів;
- впорядкування точок по пікетажу;
- фільтрація даних;
- спільна обробка даних інерціальної системи і ГНСС (глобальна навігаційна супутникова система).

Спільна обробка даних інерціальної системи і даних ГНСС складається з наступних процесів:

- розшифровка потоків даних, подання їх у вигляді, найбільш придатному для математичної обробки;

- синхронізація потоків даних по тимчасовим мітках або фіксованим точкам;

- пошук і відбраковування частини грубих помилок;

- при необхідності, згладжування і дискретизація даних;

- інтегрування прискорень по осях ІНС (інерціальна навігаційна система);

- спільна обробка.

Теоретичне рішення по обробці даних інерціального блока полягає в інтегруванні прискорень по координатним осях. Обробка даних виконується в наступній послідовності:

за значеннями прискорень інерціальної системи в довільних точках i ($q_1, q_2, \dots, q_i, \dots, q_n$), знаходимо значення позовжнього кута.

Для знаходження цих складових використовується регресійний аналіз. При цьому деякі з регресорів визначені фізичною природою процесу, інші включаються в міру необхідності в залежності від їх значимості.

Рівняння регресії, що характеризує догляд гіроскопа, описується рівнянням:

$$\xi \alpha_i = b_0 + b_1 t_i + b_2 t_{i2} + b_3 t_{i3} + b_4 A + b_5 B$$

де b_0 – місце нуля догляду гіроскопа;

$b_1 t_i$ – регресор, що характеризує лінійний ухід гіроскопа;

$b_2 t_{i2}, b_3 t_{i3}$ – регресори, що характеризують нелінійний ухід гіроскопа (використовується поліном третього порядку);

$b_4 A$ – регресор, що характеризує ухід гіроскопа внаслідок зміни початкового азимуту шляху;

$b_5 B$ – регресор, що характеризує ухід гіроскопа внаслідок розвороту координатної системи (при поперечних ухилах і т.д.)

Резюмуючи формули, виходить загальна регресійна модель. Обчислюючи приріст відповідної координати (висоти) і порівнюючи з показаннями ГНСС, складаються рівняння поправок для кожної точки ГНСС.

Аналогічно обчислюються оцінки моделей для інших параметрів інерційної системи.

Після цього обчислюються значення кутів і відстаней, а по ним – координати кожної точки моделі ІНС в локальній системі координат.

Після побудови координатної моделі ІНС переходять до процедури калмановської фільтрації. На вхід фільтра Калмана подаються модель ІНС і вправлені координати ГНСС. При цьому відбувається уточнення моделі ІНС і виправлення даних ГНСС. На виході фільтра Калмана виходить високоточна координата розташування колісної пари локомотива на першій ітерації.

Висновок. Обрано метод визначення напрямку закруглення ділянки шляху, яку проходить локомотив використанням супутникових та інерціальних систем спільно.

Розроблено обґрунтовані технічні рішення спільного використання супутникових та інерціальних вимірювань для підвищення точності визначення місцеположення локомотива на ділянці шляху прямування, які забезпечують необхідну точність вимірювань координат для керованого руху колісної пари в рейкової колії. У запропонованому теоретичному вирішенні враховуються всі переваги як супутникових, так і інерціальних вимірювань.

Показана доцільність використання супутникових та інерціальних систем спільно, для визначення просторового положення, з огляду на недостатню точність кожної з систем.

Література

1. Ключев С.О. Підвищення безпеки руху на залізниці. Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк, 2016. № 1 (225). С. 104–107.
2. Simson, S., Cole, C. (2008). Control alternatives for yaw actuated force steered bogies. IFAC Proceedings Volumes, 41 (2), 8281–8286. doi: 10.3182/20080706-5-kr-1001.01400.
3. Kliuiev, S. (2018). Experimental study of the method of locomotive wheel-rail angle of attack control using acoustic emission. East-European Journal of Progressive Technologies, 2/9 (82), 69–75. doi: 10.15587/1729-4061.2018.122131.
4. Spiriyagin, M., Lee, K. S., Yoo, H. H., Spiriyagin, V., Klyuyev, S. (2009). Study on using noise for development of active steering control system of rail vehicle. Proceedings of the 23rd National Conference and Exposition on Noise Control Engineering (Noise-Con 2008) (and the Sound Quality Symposium). USA: Curran Associates, Inc., 499–506.
5. Ключев С.О. Аналіз методів ідентифікації залізничного рухомого складу. Вісник СХУ ім. В. Даля. Северодонецьк, 2017. № 3 (233). С. 85–89
6. Укрзалізниця обладнала системами супутникової навігації 1352 локомотива // <http://www.transport.com.ua/index.php?newsid=43135>.
7. Матвеев СИ., Коугія В.А., Цветков В.Я. Геоинформационные системы и технологии на железнодорожном транспорте. – М., УМК МПС России, 2002. – 288 с.
8. Соловьев Ю.А. Системы спутниковой навигации.- М.: ЭКО – TRED3, 2000.-268 с.
9. Гурин С.Е. Спутниковые радионавигационные системы ГЛОНАСС/GPS на железнодорожном транспорте. – ч. 1. Уч. Пособие. – Москва. 2004 г. – 65 с.
10. Белый О.В. Инновационные проблемы развития транспорта // Бюллетень ОУС ОАО “РЖД” №5, 2012.
11. Жидов В.М. Разработка и исследование системы геодезического контроля пространственного положения железнодорожных путей: дис. к.т.н.: 25.00.32 / Жидов Виталий Михайлович; Сибирский государственный университет путей сообщения. - Новосибирск, 2010. - 125 л.
12. Загоруйко В. В., Конин В. В. Спутниковые навигационные системы. – Деньги и технологии. – 4. – 2000. – С. 60-63.

References

1. Kliuiev, S. O. (2016). Pidvyshchennia bezpeky rukhu na zaliznytsi. Visnyk SNU im. V. Dalia. Sievierodonetsk, 1 (225), 104–107.
2. Simson, S., Cole, C. (2008). Control alternatives for yaw actuated force steered bogies. IFAC Proceedings Volumes, 41 (2), 8281–8286. doi: 10.3182/20080706-5-kr-1001.01400.
3. Kliuiev, S. (2018). Experimental study of the method of locomotive wheel-rail angle of attack control using acoustic emission. East-European Journal of Progressive Technologies, 2/9 (82), 69–75. doi: 10.15587/1729-4061.2018.122131.
4. Spiriyagin, M., Lee, K. S., Yoo, H. H., Spiriyagin, V., Klyuyev, S. (2009). Study on using noise for development of active steering control system of rail vehicle. Proceedings of the 23rd National Conference and Exposition on Noise Control Engineering (Noise-Con 2008) (and the Sound Quality Symposium). USA: Curran Associates, Inc., 499–506.
5. Kliuiev, S. O. (2017). Analiz metodiv identyfikatsiyi zaliznychnoho rukhomoho skladu. Visnyk SNU im. V. Dalia. Sievierodonetsk, 3 (233), 85–89.
6. Ukrzaliznica oborodovala sistemami sputnikovoj navigacii 1352 lokomotiva // <http://www.transport.com.ua/index.php?newsid=43135>.
7. Matveev SI., Kougija V.A., Cvetkov V.Ja. Geoinformacionnye sistemy i tehnologii na zheleznodorozhnom transporte. – M., UMK MPS Rossii, 2002. – 288 s.
8. Solov'ev Ju.A. Sistemy sputnikovoj navigacii.- M.: JeKO – TRED3, 2000.-268 s.
9. Gurin S.E. Sputnikovye radionavigatsionnye sistemyi GLONASS/GPS na zheleznodorozhnom transporte. – ch. 1. Uch. Posobie. – Moskva. 2004 g. – 65 c.
10. Belyiy O.V. Innovatsionnye problemyi razvitiya transporta // Byulleten OUS OAO “RZhD” #5, 2012.
11. Zhidov V.M. Razrabotka i issledovanie sistemy geodezicheskogo kontrolja prostranstvennogo polozhenija zheleznodorozhnyh putej: dis. kand. tehn. nauk: 25.00.32 / Zhidov Vitalij Mihajlovich ; Sibirskij gosudarstvennyj universitet putej soobshhenija. - N., 2010. - 125 l.
12. Zagorujko V. V., Konin V. V. Sputnikovye navigacionnye sistemy. – Den'gi i tehnologii. – 4. – 2000. – S. 60-63.

Ключев С.О., Брагин Н.И. С Выбор метода определения направления закругления проходимого локомотивом участка пути.

В статье рассмотрено совместное использование спутниковых и инерциальных систем при управляемом движении колесной пары в рельсовой колее, использование которой обеспечивает необходимую точность измерения координат местоположения локомотива на участке пути. Основная идея заключается в комплексировании сигнала от спутникового и инерциального блока, с целью уменьшения погрешности измерения координат каждой из систем. Разработано техническое решение совместного использования спутникового и инерциального измерения.

Ключевые слова: спутниковая навигация, инерциальная система, положение колесной пары, комплексирование, система координат, локомотив.

Kliuiev S., Brahin N. The choice of the method for determining the direction of curvature of the path section traversed by the locomotive.

To reduce the power impact of the crest of the wheel with the rail head when the locomotive moves on curvilinear sections of the track, it is advisable to change the angle of the wheel of the locomotive to the rail by turning the wheel pairs. Controlling the position of the locomotive wheel pair is possible by means of an operational measurement of the actual angle of wheel impingement onto the rail. Measurement of the wheel angle on the rail is not performed because it is impossible to determine the value directly.

The article discusses the joint use of satellite and inertial systems with the controlled movement of a wheel pair in a track, the use of which provides the necessary accuracy of measuring the coordinates of the location of the locomotive in the section of the track. The basic idea is to integrate the

signal from the satellite and inertial blocks, in order to reduce the error in measuring the coordinates of each of the systems. A technical solution has been developed for the joint use of satellite and inertial measurements.

Keywords: *satellite navigation, inertial system, position of the wheel pair, integration, coordinate system, locomotive.*

Клюєв С.О. – к.т.н., доц. кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк, e-mail: sergastreet@gmail.com.

Брагін М.І. – асистент кафедри «Логістичне управління та безпека руху на транспорті» СНУ ім. В. Даля, м. Сєвєродонецьк.

Рецензент: д.т.н., проф. **Чернецька-Білецька Н.Б.**

Стаття подана 15.03.2018