

МОЙСЕЄНКО В. І., д. т. н., професор (Український державний університет залізничного транспорту),
САФІН В. Т., аспірант кафедри СКС (Український державний університет залізничного транспорту),
ЖЕБКО В. О. (Харківський фаховий коледж транспортних технологій),
НЕКРАСОВ О. Л. (Слов'янський фаховий коледж національного авіаційного університету)

Аналіз методів визначення швидкості об'єктів систем гіркової автоматизації

Стаття присвячена дослідженню проблем модернізації систем автоматизації сортувальних гірок, зокрема в частині вимірювання швидкості скочування відцепів. Аналіз наукових публікацій з цієї проблеми на залізничному транспорті та в інших галузях техніки вказує на перспективність використання лідара як датчика первинної інформації про параметри руху вагона. Запропоновано технічне рішення системи гіркової автоматизації з використанням лідара як багатоінформаційного перетворювача.

Ключові слова: гіркова автоматика, лідар, аналіз потокового зображення, гірки, залізничний транспорт.

Постановка проблеми дослідження

Системи автоматизації сортувальних гірок постійно оновлюються і набувають нових властивостей. Найбільш динамічно відбувається розвиток програмно-апаратних засобів обробки інформації, причому перевагу мають саме системи програмного забезпечення гіркових комплексів. Стосовно конструкції датчиків та виконавчих пристроїв і методів знімання контрольної інформації, то в цьому плані зміни відбуваються більш повільно.

Переважає більшість систем автоматичного регулювання швидкості скочування відцепів використовує традиційні технічні засоби знімання первинної інформації та методи обробки їхніх сигналів. Така ситуація пояснюється досить жорсткими вимогами галузі до конструктиву та особливостей функціонування колійних датчиків.

Очевидно, вказана проблема не може бути вирішена тільки завдяки удосконаленню конструкції первинних датчиків, необхідно застосувати системний підхід, в основі якого є застосування нових методів знімання інформації про характеристики відцепів.

У зв'язку з цим постає питання формалізації проблеми, вибору найбільш оптимального методу вимірювання та конструкції датчика, сконцентрувавшись на вимірюванні швидкості відчепа.

Аналіз досліджень та публікацій

Розглянемо наукові праці фахівців, в яких досліджуються методи та технічні засоби, за допомогою яких здійснюється вимір швидкості руху об'єктів у різних сферах технічної діяльності. У цьому плані слід виділити роботи, в яких швидкість руху об'єкта визначається за даними відеоспостереження [1–3]. Зокрема патент RU 2695708 C2 «Способ определения скорости по видео» [2] визначає шляхи, на яких виділяють особливі точки, де відображено рух об'єкта та оцінюється піксельне зміщення цих точок при зміні до наступного кадру. За особливі точки приймають пікселі, які розміщені на перехресті пари контурів, відображених від одного рухомого об'єкта. Подібний спосіб визначення належить до авіаційного транспорту, він включає ідентифікацію типу рухомого об'єкта і за його типом визначає інші параметри [2, 6]. Враховуючи розміри об'єкта і співвідношення лінійного зміщення, визначається швидкість об'єкта.

У цьому плані найбільш цікавим є спосіб, який передбачає використання для визначення руху об'єкта камери відеоспостереження [7] (патент WO 2019/045586 A1 «Method for monitoring moving object»). Завдання визначення швидкості об'єкта за допомогою відеокамер вирішують формуванням нових кадрів із декількох кадрів вихідного потоку. Піксельне поле нових кадрів має масив, відображає нерухомий фон, рухомий об'єкт та їхні треки в полі зору камери. По границях треків будується уявна лінія, за якою рухаються об'єкти спостереження. У галузі

залізничного транспорту слід виділити патент WO 2019/045586 A1 [7], де надано теоретичне обґрунтування розроблення алгоритмів обробки сигналів відеоспостереження для отримання даних про параметри руху довгомірних об'єктів. За даними автора, вказаний метод дає змогу визначити швидкість руху об'єкта з точністю до 1,5 %.

Мета статті

Дослідження методів і технічних засобів виміру швидкості руху об'єктів та розроблення рекомендацій

щодо удосконалення датчиків виміру швидкості в системах гіркової автоматизації.

Викладення основного матеріалу

На підставі інформації з огляду літератури можна стверджувати, що найбільш поширеними методами для визначення швидкості руху об'єктів є ті, що використовують дані відеоспостереження або відбитий сигнал (рис.1).



Рис. 1. Класифікація методів визначення швидкості руху об'єктів

В основі відеоспостереження покладено аналіз потокового зображення з камер, що фіксують переміщення рухомих предметів. Цим забезпечується визначення швидкості всіх об'єктів, які перебувають у полі зору камери. Також можна збирати додаткову інформацію про об'єкт (тип, колір, розміри, номер та особливості його стану, наприклад пошкодження елементів конструкції чи вантажу).

Перевагою методу є нові можливості в частині ідентифікації типу та стану рухомого складу, немає потреби встановлення великої кількості датчиків на полі.

В основі методу відбитого сигналу покладено принцип вимірювання різниці фаз між опорним та відбитим сигналом. Його перевагою є досить широкий діапазон відстані до рухомих одиниць, в якому відбувається процес вимірювання.

Аналогічний результат дає метод за принципом радіолокатора, який направляє тонко сфокусовані радіохвилі та визначає різницю фаз між опорним та відбитим сигналом, і таким чином визначається місце розташування об'єкта в просторі. Недоліком цього способу є неможливість визначити відстань до об'єктів, які поглинають радіохвилі.

Також є можливість визначити місце знаходження об'єкта в просторі шляхом точкового визначення відстані на прикладі принципу дії лідара (направлення тонкого світлового потоку та визначення різниці часу між відправленням та отриманням відбитого сигналу).

Принцип роботи лідара побудовано на аналізі тимчасової затримки між переданими і прийнятими сигналами. Сучасний інтерес до лідара обумовлений розвитком безпілотних автомобілів, де ставиться завдання динамічного розпізнавання та ідентифікації об'єктів за умов поганої видимості та наявності дестабілізаційних факторів. У цьому значенні він має суттєві переваги перед камерами відеоспостереження [8–13].

Використовуються два основних типи:

– лідари, що працюють за принципом *time-of-flight*;

– лідари, які використовують когерентні властивості лазера.

Переважна більшість сучасних вимірювальних засобів використовує принцип *time-of-flight*, де відстань до об'єкта визначається за допомогою прямого виміру часової затримки між лазерними імпульсами передачі та прийому. Цей метод забезпечує можливість об'ємного зчитування, причому інформація про швидкість руху об'єкта формується шляхом множинних процесів передачі-відображення сигналу від лідара. Але при цьому завдання виміру швидкості значно ускладнюється, крім того, можлива втрата точності вимірів.

На відміну від попередніх, когерентний лідар надсилає частотно-модульований сигнал, а відбитий сигнал визначається за допомогою гомодинирування. Цей тип лідара має достатньо переваг, таких як підвищення відстані сканування, підвищення стійкості

до шумів, особливо до сонячного світла, ефективно функціонує в умовах наявності сигналів інших лідарів.

Однак його технічна реалізація є більш складною у зв'язку з необхідністю здійснювати розпаралелювання сигналів у вигляді безперервних хвиль. Вирішення цих проблем запропоновано вченими Федеральної

політехнічної школи Лозанни під керівництвом професора Тобіаса Кіппенберга [8–10]. Вони розробили удосконалену реалізацію паралельного лідара, що використовує нелінійну фотонну систему, яка забезпечує формування стабільної оптичної послідовності імпульсів (рис. 2).

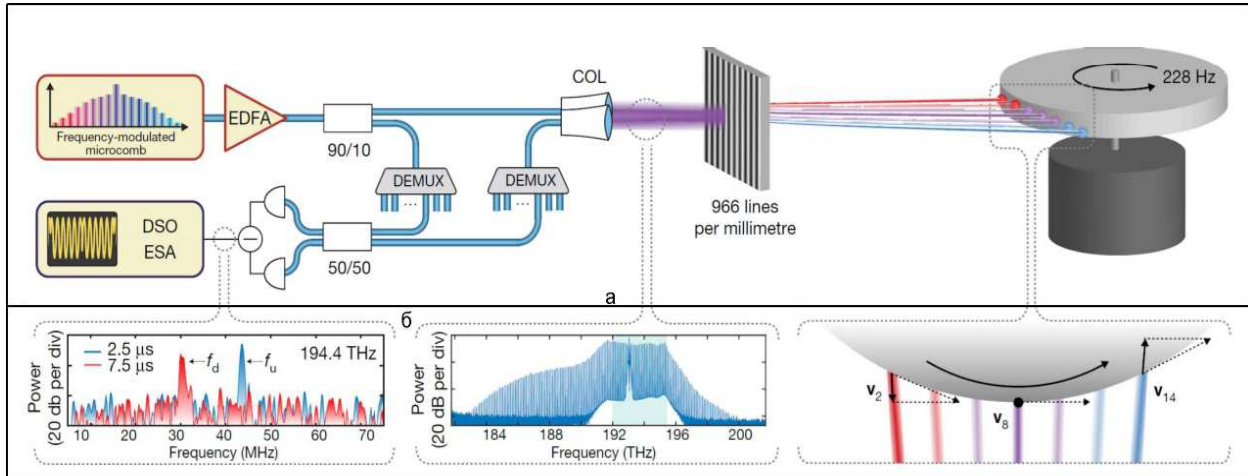


Рис. 2. Конструкція та принцип дії паралельного лідара: а – конструкція лідара; б – принцип дії

Розробники провели експеримент з визначення швидкості обертання колеса та відстані до нього. Результати експериментальних досліджень вказують на широкі можливості цих пристроїв для подальшого використання їх у техніці.

Виконаємо порівняльну характеристику методів дистанційного визначення швидкості руху об'єктів. Результати подано в табл. 1.

Аналізуючи методи, подані у табл. 1, можна стверджувати, що для потреб автоматизації сортувальних гірок можна виділити три потенційно перспективні методи. Це методи на основі аналізу відеозображення, відбитого сигналу радіолокатора та відбитого сигналу лідара. Останні публікації за темою дослідження [11–13] надають перевагу двом останнім, тобто радіолокації та скануванню лідаром. Їхньою перевагою є більш широкі функційні можливості, обумовлені більшою роздільною здатністю, що дає змогу значно розширити функційні можливості приладу.

Останніми роками дуже зміцнилися позиції лідара, про що свідчать останні розробки безпілотного транспорту [13], беззаперечним лідером цього напрямку є автомобіль «Тесла», який розроблений під керівництвом І. Маска. Тому, очевидно, доцільно розглянути саме лідар як багатофункційний пристрій для систем гіркової автоматизації.

Нижче подано перелік функцій системи гіркової автоматизації з лідаром:

- вимірювання швидкості скочування відчепів;

- визначення типу вагона;
- визначення напрямку руху відчепів;
- визначення номера вагона;
- визначення характеру вантажу;
- ідентифікація небезпечних ситуацій (пошкодження вагона чи вантажу тощо).

Зважаючи на сформовані функції, постає питання забезпечення точності роботи лідара. Як показали дослідження [8, 9, 12, 13], основною причиною появи похибки вимірювань є неоднорідності у зовнішньому середовищі – це сніг, дощ, туман (рис. 3).

Порівняльна характеристика методів визначення швидкості руху об'єктів

Назва методу	Точність	Ідентифікація об'єкта	Додаткові можливості
Визначення швидкості за допомогою відео	Залежить від роздільної здатності та швидкості формування кадрів відеозапису, похибка вимірювання становить до 30 %	Присутня	Дає змогу збирати додаткову інформацію про об'єкт
Визначення швидкості руху методом пасивної локації	Залежить від роздільної здатності та швидкості формування кадрів відеозапису, похибка вимірювання становить до 30 %	Присутня	Дає змогу збирати додаткову інформацію про об'єкт
Визначення швидкості руху методом моніторингу	Залежить від роздільної здатності та швидкості формування кадрів відеозапису. Похибка вимірювання зменшується при підвищенні швидкості відеопотоку	Присутня	Дає змогу збирати додаткову інформацію про об'єкт
Метод визначення відстані до об'єкта за допомогою відбитого сигналу	Похибка вимірювання відстані складає до 50 мм	Присутня	Дає змогу збирати додаткову інформацію про об'єкт
Метод визначення відстані до об'єкта за допомогою відбитого сигналу радіолокатора	Похибка вимірювання складає до 1 % на встановлену шкалу вимірювання	Не може ідентифікувати об'єкти, що поглинають радіохвилі	Дає змогу збирати додаткову інформацію про об'єкт

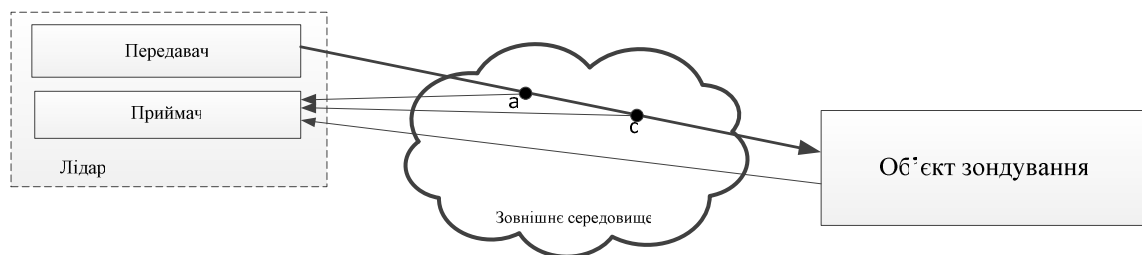


Рис. 3. Вплив зовнішнього середовища на процес зондування

Від об'єкта зондування надходить як корисний сигнал, так і відбитки від неоднорідності у зовнішньому середовищі, які по суті не є корисними сигналами. Загалом ця проблема вирішується завдяки використанню більш потужного програмного середовища обробки сигналів дистанційного зондування.

Схема інтегрування лідара до гіркової автоматизації, очевидно, є можливою тільки для систем із сучасною програмованою елементною базою (рис. 4).

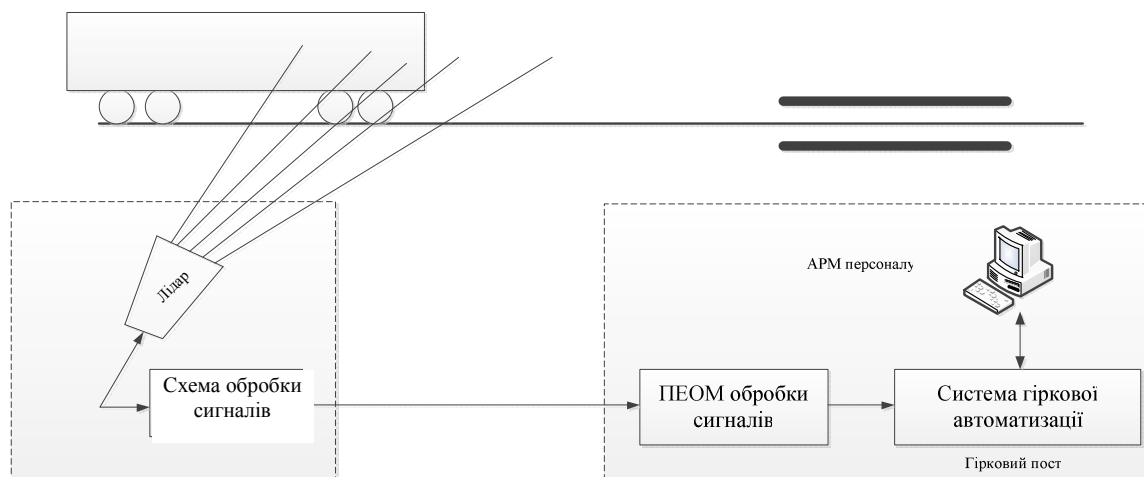


Рис. 4. Структурна схема інтеграції лідара до системи гіркової автоматизації

У разі наближення відчепа визначається його напрям руху (можливе осаджування), тип вагона, його номер і надається інша необхідна додаткова інформація. Якщо буде успішно реалізована функція ідентифікації номера вагона, то визначати окремо його тип не доцільно.

Висновки

У статті виконано аналіз методів і технічних засобів виміру швидкості для систем гіркової автоматизації. Встановлено, що найбільш перспективним є використання методів дистанційного зондування на основі радіолокації та лідара. Зважаючи на успіхи лідарного сканування на транспорті та в інших галузях техніки, запропоновано застосування лідара як багатоінформаційного датчика для систем гіркової автоматизації. Надалі необхідно провести дослідження впливу зовнішніх факторів на процес вимірювань у технологічному процесі сортувальної гірки.

Список використаних джерел

1. Радіонавігаційні прилади та системи: Конспект лекцій. URL: <http://nav-eks.org.ua/RNPiS-na-site/Konspekt-RNPiC-11.pdf>.
2. Способ определения скорости по видео: пат. RU 2695708 С2 Росія: МПК G06T 7/20, G08G 1/052. №2017144004; заявл. 15.12.2017; опубл. 25.07.2019. Бюл. № 21.
3. Способ измерения дальности и линейных размеров объектов по их телевизионным изображениям: пат. RU2381521 С2 Росія: МПК G01S 11/00. № 2008114706/09, 14. заявл. 04.2008; опубл. 10.02.2010. Бюл. № 4.
4. Radar device for a vehicle. US Patent 6,831,591; опубл. Dec 2004. (Horibe, Omron Corporation).
5. Анализ методов обработки сигнала в импульсно-фазовых системах измерения дальности. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-metodov-obrabotki-signalov-v-impulsno-fazovyh-sistemah-izmereniya-dalnosti/viewer>.
6. Яновський Ф. Й. Метеонавігаційні радіолокаційні системи повітряних суден: навч. посіб. Київ: Національний авіаційний університет, 2003. 304 с.
7. Method for monitoring moving object: пат. WO 2019045586 A1 Міжнародний: МПК G06T 7/246. №PCT/RU20 17/000628; опубл. 07.03.2019.
8. McCormack P. LIDAR System Design for Automotive / Industrial / Military Applications. National Semiconductor Corporation, 2006.
9. Nagappan S. Adaptive Cruise Control: Laser Diodes as an Alternative to Millimeter-Wave Radars. Ward's Auto Electronics | September / October, 2005. URL: http://www.ghcc.msfc.nasa.gov/sparticle/sparticle_tutorial_clr.html
10. Method for operating a pre-crash sensing system in a vehicle having a countermeasure system using stereo cameras. US Patent 7,009,500. Опубл. March 2006. (Rao, et al., Ford Global Technologies, LLC).
11. Pinliang Dong, Qi Chen LiDAR Remote Sensing and Applications, London, New York, 2018. 199 p.
12. Principals of Photogrammetry and LiDARcsengineerвеб-сайт. URL: <https://csengineermag.com/principles-of-photogrammetry-and-lidar>.
13. Adaptive Cruise Control: Laser Diodes as an Alternative to Millimeter-Wave Radars. Electronic Design. URL: <https://www.electronicdesign.com/markets/automotive/article/21797633/adaptive-cruise-control-laser-diodes-as-an-alternative-to-millimeterwave-radars>.

Моисеенко В. И., Сафин В. Т., Жебко В. А., Некрасов О. Л. Анализ методов определения скорости объектов систем горочной автоматизации.

Аннотация. Статья посвящена исследованию проблем модернизации систем автоматизации сортировочных горок и в частности измерения скорости скатывания отцепов. Анализ научных публикаций по этой проблеме на железнодорожном транспорте и в других отраслях техники указывает на перспективность использования лидара как датчика первичной информации о параметрах движения вагона. Предложено техническое решение системы горочной автоматизации с использованием лидара как многоинформационного преобразователя.

Ключевые слова: горочная автоматика, лидар, анализ потокового изображения, горки, железнодорожный транспорт.

car number is successfully implemented, it is not advisable to determine its type separately. Analyzing the methods presented in Table 1, it can be argued that for the needs of automation of sorting slides, we can identify three potentially promising methods. These are methods based on the analysis of video image, reflected radar signal and reflected lidar signal. Recent publications on the subject of the study give priority to the last two, ie radar and leader scanning. Their advantage is the wider functionality due to the higher resolution, which allows you to significantly expand the functionality of the device.

Keywords: slide automation, leader, flow image analysis, slides, railway transport.

Надійшла 22.04.2021 р.

Moiseienko V., Safin V., Zhebko V., Nekrasov O. Analysis of methods for determining the speed of objects of slide automation systems.

Abstract. The article is devoted to the study of problems of modernization of automation systems of sorting slides and, in terms of measuring the speed of rolling off the hitches. The analysis of scientific publications on the identified problem in railway transport and other fields of technology indicates the prospects of using the leader as a sensor of primary information about the parameters of the car. The technical solution of the slide automation system with the use of lidar as a multi-information information converter is proposed. In recent years, the position of the leader has greatly strengthened, as evidenced by the latest developments in unmanned vehicles, the undisputed leader in this area is the car Tesla, which was developed under the leadership of I. Mask. Therefore, it is obviously expedient to consider the lidar as a multifunctional device for hill automation systems. In the future it is necessary to study the influence of external factors on the measurement process in the technological process of the sorting slide. To increase the economic effect, it is necessary to improve transportation methods. One of the most important sections is the sorting slides, but currently the sliding automation systems are outdated. Therefore, it is proposed to improve these systems thereby increasing processing capacity and reduce the cost of operating this system. Both a useful signal and imprints from inhomogeneities and in the external environment, which are not essentially useful signals, come from the probing object. In principle, this problem is solved by a more powerful software environment for processing remote sensing signals. When approaching the hitch determines its direction of movement (possible deposition), determines the type of car, its number, and provides other necessary additional information. In principle, if the function of identifying the

Моисеенко Валентин Іванович, д. т. н., професор, завідувач кафедри СКС, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: mvi53@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-8703>

Сафін Вадим Талгатович, аспірант кафедри СКС, Український державний університет залізничного транспорту, Харків, Україна. E-mail: safin@kart.edu.ua

Жебко Володимир Олексійович, завідувач навчально-виробничою практикою, Харківський фаховий коледж транспортних технологій. E-mail: dvnzhktt25@gmail.com

Некрасов Олег Леонідович, завідувач відділення електронно-обчислювальної техніки та програмування, відокремлений структурний підрозділ «Слов'янський фаховий коледж національного авіаційного університету». E-mail: sknau@ukr.net

Moiseienko Valentin, Sc.D.(Eng.), professor, chief of chair Specialized Computer Systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: mvi53@ukr.net, ORCID ID: <https://orcid.org/0000-0003-1377-8703>

Safin Vadym, Postgraduate student, chair of Specialized Computer Systems, Ukrainian State University of Railway Transport, Kharkiv, Ukraine. E-mail: safin@kart.edu.ua

Zhebko Vladimir, Specialist of the highest category. Head of department STATE HIGHER EDUCATIONAL INSTITUTION "KHARKIV COLLEGE OF TRANSPORT TECHNOLOGIES" E-mail: dvnzhktt25@gmail.com

Nekrasov Oleg, Specialist of the highest category. Head of department separate structural subdivision "Sloviansk Applied College of the National Aviation University". Slovyansk, Ukraine. E-mail: sknau@ukr.net