

Ярослав Олександрович Кириленко¹, Юрій Миколайович Кутовий²

¹асистент кафедри автоматизовані електромеханічні системи
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Харків, Україна)
E-mail: Yaroslav.Kyrylenko@iee.khpi.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>

²кандидат технічних наук, професор кафедри автоматизовані електромеханічні системи
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут» (Харків, Україна)
E-mail: yurii.kutovyi@khpi.edu.ua. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>

ДО ПИТАННЯ МЕТОДІВ ПОБУДОВИ СИСТЕМ ЗАХИСТУ ВІД НАДЛИШКОВОГО КОВЗАННЯ КОЛІС РЕЙКОВИХ ТРАНСПОРТНИХ ЗАСОБІВ

Контроль ковзання завжди був вирішальним у залізничному секторі через обмежене тертя між колесами та рейкою. У цьому дослідженні будуть розглянуті різні типи захисту від ковзання та ковзання для залізничних транспортних засобів. На основі чого будувати реалізацію максимальної сили тяги відповідно до умов зчеплення. Підвищення тягового зусилля є комплексною проблемою проектування залізничних транспортних засобів; тому необхідно розробити ефективні системи тяги та алгоритми. Постійний розвиток інтелектуальних систем управління дозволяє будувати системи управління на основі сигналів зовнішнього середовища. Такі типи сигналів можуть бути отримані багатфункціональними датчиками, як камери.

Ключові слова: буксування; юз; швидкість прослизання ковзання; характеристика зчеплення; фрикційні автоколивання.

Рис.: 4. Бібл.: 16.

Актуальність теми дослідження. Залізничні транспортні засоби постійно вдосконалюються, щоб скоротити час подорожі та безпекові показники. Тому їм потрібна потужна система керування тяги, щоб задовольнити зростаючі вимоги до швидкості. Розробка стратегій контролю тяги для досягнення оптимального зчеплення забезпечує безпечне та ефективне водіння, одночасно зменшуючи небажане ковзання між колесом і рейкою. Тому розробка сучасних систем управління, які усувають ці проблеми, є актуальним завданням.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проблема побудови системи керування від надлишкового ковзання та юзу була спеціально досліджена з погляду енергоефективності в багатьох джерелах. Оптимальні стратегії управління були запропоновані для забезпечення компромісного аналізу між часом подорожі потягом і витратами енергії. Аналіз показав що ця тема досліджень є перспективною та потребує інтеграції в такі системи керування інтелектуальних систем керування на базі комп'ютерного зору та машинного навчання. За останнє десятиліття кілька дослідників досягли значних успіхів у використанні різних методів обробки зображення та зору для навігації, уникнення перешкод і керування наземними транспортними засобами. Більшість дослідників використовують методи обробки зображень для створення 3D-простору з 2D-зображень, виявлення перешкод або вилучення руху з отриманих послідовностей зображень. Нещодавно було розроблено багато навігаційних алгоритмів, які можуть обчислювати шлях робота та відносно надійно генерувати карти неструктурованих середовищ. Найбільш помітним є прогрес у методах навігації на основі SLAM. Однак ця стаття зосереджена на оцінці швидкості, яка застосовна до оцінки ковзання.

Метою статті є розглянути різні типи захисту від буксування та юза рельсових транспортних засобів, на основі яких будується реалізація максимальної сили тяги за умовами зчеплення. Базуючись на розглянутих недоліках класичних систем захисту від надлишкового буксування розробити алгоритм вимірювання лінійної швидкості на базі алгоритмів комп'ютерного зору. Метою статті є показати переваги розробленого датчика комп'ютерного зору для визначення положення та швидкості транспортних засобів за допомогою однієї камери. Алгоритм, що використовується датчиком, був перевірений, а його похибка виміряна за допомогою стенду з модельним транспортним засобом, що рухається по відомій трасі.

Виклад основного матеріалу. До рейкових транспортних засобів (РТЗ) належать електровози, тепловози, приміські електрички та електрички метро, трамваї, рудничні електровози, та інші види транспорту з механізмами пересування по рейковій колії. Ці види транспорту виконують основні перевезення в промислово розвинених країнах.

З моменту появи РТЗ, а це понад двісті років, є проблема буксування і юза, або проблема надлишкового ковзання колеса відносно рейки.

Надлишкове ковзання спричиняє мимовільні втрати енергії, додатковий знос колісно-моторного блоку, знижує силу тяги та безпеку руху, призводить до фрикційних автоколивань у тягових електроприводах (ЕП) [1].

Величини надлишкового ковзання U характеризуються швидкістю надлишкового ковзання, яка визначається як різниця:

$$U = V_k - V_d,$$

де V_k – лінійна швидкість на ободі колеса;

V_d – лінійна швидкість РТЗ.

Вимірювання швидкості надлишкового ковзання дає змогу побудувати систему автоматичного регулювання сили тяги на ободі колеса за умовою зчеплення.

Така система, з від'ємним зворотним зв'язком за швидкістю надлишкового ковзання, усуває буксування або юз і забезпечує максимум сили тяги, що своєю чергою збільшує продуктивність праці з перевезення вантажів.

Лінійна швидкість на ободі колеса зазвичай визначається через кутову швидкість за допомогою низки аналогових, цифрових, частотних та інших типів датчиків кутової швидкості.

Вимірювання лінійної швидкості РТЗ є суттєво складнішим завданням, яке вирішуються за допомогою інерційних датчиків, навігаційних систем, одометрії колеса, з використанням відеокамери та технологій комп'ютерного зору.

Завдання спрощується, якщо РТЗ має колісну пару, не пов'язану з тяговим двигуном. Тоді лінійна швидкість на ободі колеса такої пари та лінійна швидкість РТЗ відповідають. Однак для повного використання зчепної ваги локомотива всі його колісні пари зазвичай мають тяговий привід.

Можна виходити з того, що одночасне буксування або юз усіх колісних пар локомотива неможливий. У цьому разі швидкість надлишкового ковзання перебуває як різниця швидкостей буксування і колісної пари, що не буксує. При цьому має бути деяка зона нечутливості, враховується технологічний розкид характеристик двигуна і можливу різницю в діаметрах бандажів колісних пар.

Для РТЗ з малою базою, як рудничний електровоз або трамвай, одночасне буксування і юз досить характерне. Тоді виявлення порушення умов зчеплення можливе за кутовим прискоренням, яке збільшується в 5-10 і більше разів при зриві зчеплення.

Якщо характеристика зчеплення має падаючу ділянку, за певного поєднання параметрів електромеханічної системи, надлишкове ковзання спричиняє фрикційні автоколивання [1]. Фрикційні автоколивання виявляються за допомогою смугового фільтра, налаштованого на частоту (20–60) Гц [2]. І за цими результатами виявляється надлишкове ковзання.

Для побудови системи реалізації максимальної сили тяги за умовами зчеплення виявлення надлишкового ковзання умова необхідна, але недостатня. Процес регулювання передбачає формування сигналу від'ємного зворотного зв'язку пропорційного швидкості надлишкового ковзання. Цей сигнал можна отримати, застосувавши датчик швидкості колісної пари та припустити, що в момент початку буксування t_6 визначивши тим чи іншим способом, а за час регулювання приводом сила тяги швидкості РТЗ через інерційність залишається незмінною. Тоді різницю між поточним значенням швидкості колісної пари й зафіксованим у момент початку буксування, можна вважати швидкістю надлишкового ковзання.

Тоді різницю між поточним значенням швидкості колісної пари і постійним, зафіксованим у момент початку буксування, можна вважати швидкістю надлишкового ковзання коліс, як показано на рис. 1.

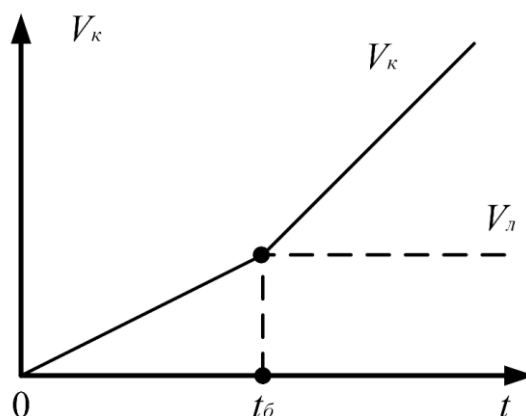


Рис. 1. Зміна швидкості колісної пари під час пуску

Розвиток технологій комп'ютерного зору, зниження вартості відеокамери, покращення її технічних характеристик, розширення бібліотеки програм з відкритим доступом для оброблення зображень дає можливість використовувати відеокамеру для вимірювання лінійної швидкості.

Відеокамера є багатофункціональним сенсором, що визначає не тільки такі фізичні параметри, як положення, швидкість, прискорення, а й може реагувати на середовище, в якому відбувається рух РТЗ [3-8].

Вимірювання лінійної швидкості РТЗ з використанням відеокамери базується на виявленні просторово-часових відмінностей у послідовності зображень, визначенні таких функцій, що відрізнятимуться під час переходу від одного зображення до іншого. Відома низка методів аналізу та алгоритмів обробки відео потоку. Алгоритм Лукаса-Канаде кращий, оскільки забезпечує достатню точність, нечутливість до шумів, працює в режимі реального часу [9-10].

Відповідно до цього алгоритму визначається рух яскравісних характеристик зображення, які, як передбачається, рухаються в міру руху об'єктів у послідовності зображень. Вихідний сигнал оптичного потоку отримують у вигляді компонентної швидкості u_x і u_y , як показано на рис. 2. Передбачається, що картина оптичного потоку відповідатиме полю руху, хоча на практиці це не завжди так. Використовуючи деякі обмеження, такі як порівняння геометрії (форми), порівняння рівнів сірого та інтенсивностей, об'єкт, виявлений на одному зображенні, зазвичай можна зіставити з об'єктом на наступному зображенні.

Основне припущення про оптичний потік полягає в тому, що зовнішній вигляд сцени істотно не змінюється між кадрами і що сцена плавно переходить від одного зображення до іншого. Потік часто локально однорідний, проте на межах сцени можуть виникати розриви. Інше припущення полягає в тому, що сцена складається з протяжних досить гладких поверхонь, які жорстко рухаються або принаймні плавно спотворюються під час руху. Кількість руху між кадрами невелика і порівняно з розміром зображення означає, що вектори оптичного потоку малі для пари зображень.

Хорн [11] провів новаторську роботу з розробки методів оптичного потоку, заснованих на обчисленні просторово-часових відмінностей за послідовністю зображень. Відтоді було розроблено безліч методів і алгоритмів визначення оптичного потоку, таких як диференціальні методи, методи зіставлення на основі областей, методи на основі енергії та методи на основі фази [12].

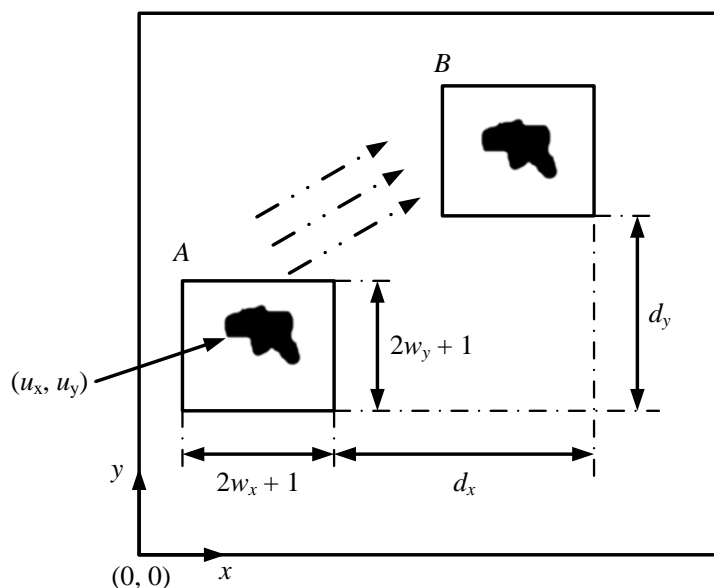


Рис. 2. Особливості оптичного потоку і швидкість руху характерної особливості кадру

Алгоритм оптичного потоку Канаді-Лукаса використовують тому, що він надійний, точний, нечутливий до шуму і джерел неоднорідної інтенсивності світла і підходить для обчислень у реальному часі [13].

У цьому методі нехай I_i є зображенням у відтінках сірого в момент часу t_i та I_{i+1} є зображенням у відтінках сірого в цей момент t_{i+1} . Нехай за цей проміжок часу зображення переміститься на відстань $=(\Delta x, \Delta y)$. Якщо A є характерною особливістю в I_i , а B – тією самою особливістю в I_{i+1} як показано на рис. 2. Під час розрахунку оптичного потоку використовують стандартну геометричну схему представлення камери, як показано на рис. 3.

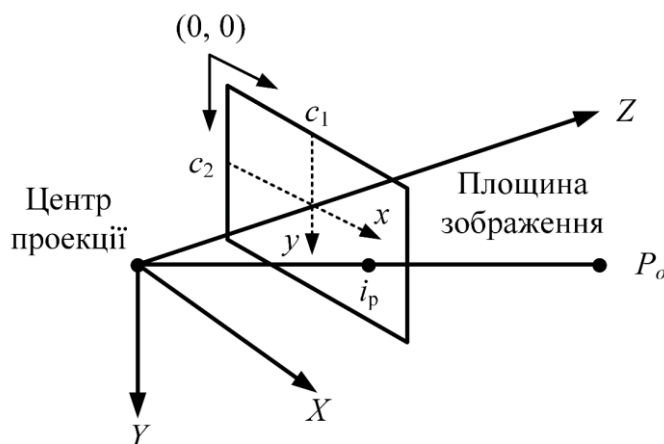


Рис. 3. Стандартна система координат камери

Тоді мета полягає в тому, щоб знайти d шляхом мінімізації функції $\varepsilon(d)$.

$$\varepsilon(d) = \iint_w (I_i(p) - I_{i+1}(p + d))^2 dx dy,$$

де

- $P_0=(x,y)$ координата пікселя загальної точки зображення, як показано на рис. 3. Координата пікселя верхнього лівого кута дорівнює $(0,0)$, а координата пікселя нижнього правого кута - (n_x-1, n_y-1) , де n_x, n_y – це ширина і висота зображення відповідно;
- I_i і I_{i+1} значення відтінків сірого першого і другого зображення відповідно.

- W – площа вікна об’єкта, розмір якої дорівнює $(2w_x+1, 2w_y+1)$.
- $d=(\Delta x, \Delta y)$ вихідний оптичний потік або відстань між елементами двох наступних кадрів зображення.

На практиці рішення мінімізації (1) може бути досягнуто за допомогою ітераційного алгоритму, такого як метод Ньютона-Рафсона. Алгоритм реалізується таким чином:

1. Виберіть вікно функції для відстеження на зображенні $I_i(p)$.
2. Нехай $u=(u_x, u_y)$ буде центром вікна об’єкта на зображенні $I_i(p)$, як показано на рис. 2.
3. Ширина й довжина вікна, (w_x, w_y) визначаються експериментально і мають типові значення від 2 до 7 пікселів.
4. Нехай $d=(\Delta x, \Delta y)$, де $(\Delta x, \Delta y)$ – це початкове припущення.
5. Розрахувати:

$$G = \sum_{x=u_x-w_x}^{u_x+w_x} \sum_{y=u_y-w_y}^{u_y+w_y} g(p)g^T(p),$$

$$b = \sum_{x=u_x-w_x}^{u_x+w_x} \sum_{y=u_y-w_y}^{u_y+w_y} (I_i(p)+I_{i+1}(p+d))g(p),$$

де $g(p) = \begin{bmatrix} \frac{d}{dx} (I_i(p)+I_{i+1}(p+d)) \\ \frac{d}{dy} (I_i(p)+I_{i+1}(p+d)) \end{bmatrix}$.

6. Розв’яжіть лінійне рівняння $Gd_i=b$.
7. Оновлення $d=d+d_i$.
8. Обчисліть наступне рівняння:

$$\varepsilon(d) = \sum_{x=u_x-w_x}^{u_x+w_x} \sum_{y=u_y-w_y}^{u_y+w_y} (I_i(p)+I_{i+1}(p+d))^2.$$

9. Якщо $\varepsilon(d) < \varepsilon$, де ε – заздалегідь заданий поріг, перейдіть до кроку 5.
10. Оптично потік d .

Лінійна швидкість РТЗ пропорційна оптичному потоку d при заданому Δt . Обчислення лінійної швидкості та швидкості ковзання проводиться відповідно до алгоритму, наведеного на рис. 4.

Перевірку принципів побудови захисту від буксування (юз) проведено шляхом експерименту на рудничних електровозах АМ8Д, АРП14, К14 і роботизованій платформі з блоком відеокамер обчислювального модуля Raspbergy Pi4. Крім цього було виконано чисельний експеримент на математичній моделі електроприводів магістрального електровоза ДС3 і міського трамвая Т6В5 [14-15].

Експеримент показав, що за низьких значень коефіцієнта зчеплення у рудничних електровозів має місце одночасне буксування коліс зі швидкістю прослизання ковзання понад 2 м/с. У цьому разі виявлення буксування доцільно проводити за кутовим прискоренням, або за фрикційними коливаннями, які для рудничних електровозів становлять 25 Гц, а для магістральних електровозів 10 Гц.

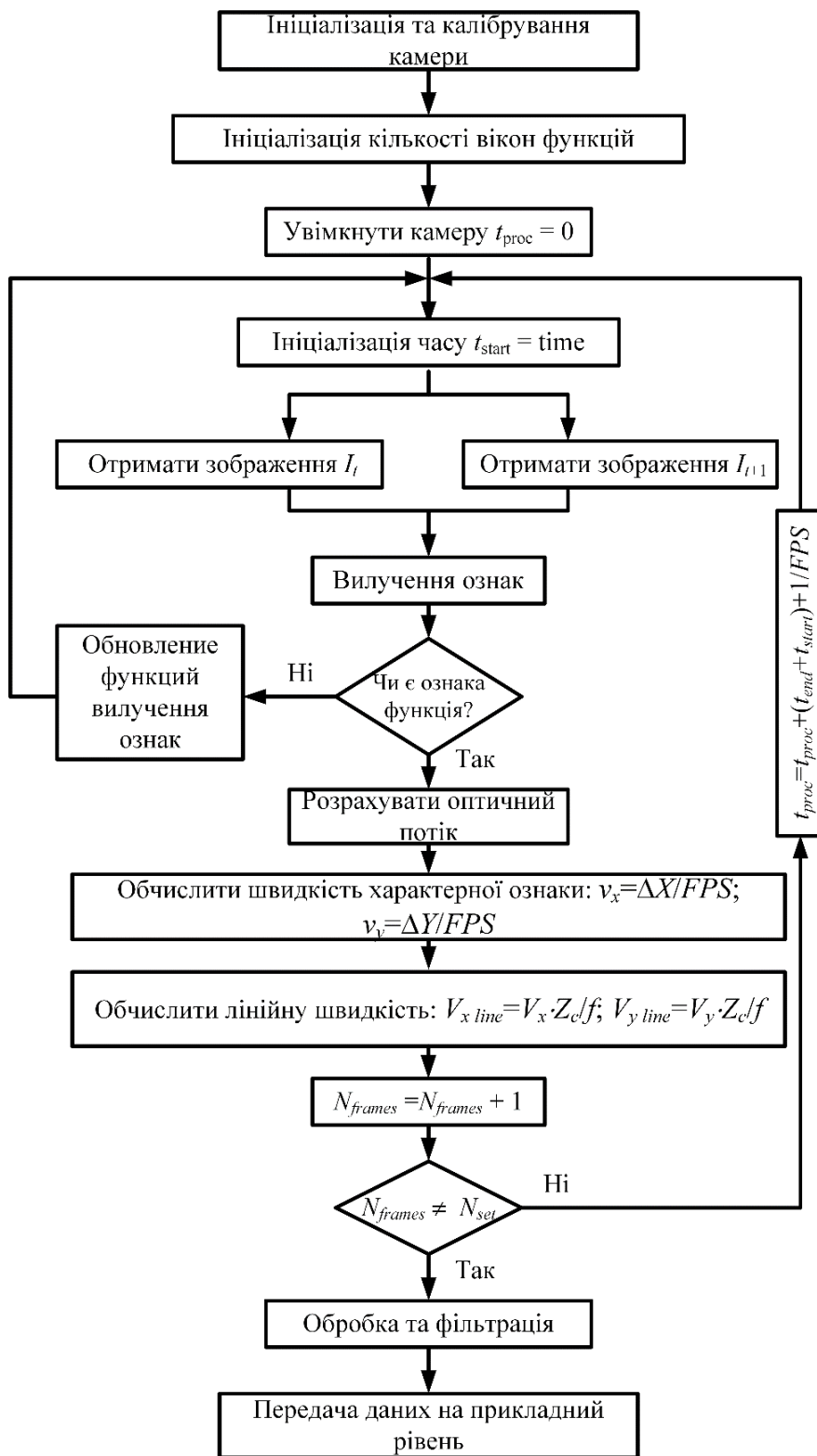


Рис. 4. Алгоритм обчислення лінійної швидкості та швидкості ковзання

Експеримент із вимірювання лінійної швидкості та обчислення швидкості ковзання виконано на експериментальному стенді [16]. Застосування сучасних технологій комп'ютерного зору дасть можливість виміряти навіть малі лінійні швидкості до 1 м/с з похибкою не більше 2 %.

Висновки. Вибір принципу побудови захисту від буксування (юз) здійснюється з урахуванням технічних характеристик РТЗ, умов роботи та експлуатації.

Застосування традиційних датчиків у тягових приводах РТЗ (кутової швидкості, струму, напруги) дають змогу не тільки виявити буксування (юз), а й сформувати сигнал пропорційний швидкості надлишкового ковзання, що забезпечує регулювання сили тяги за умовою зчеплення.

Для вимірювання лінійної швидкості РТЗ і визначення швидкості надлишкового ковзання можливе використання універсального датчика як відеокамера, що дає змогу вимірювати такі фізичні величини як швидкість, прискорення, шлях. Виміряні швидкості від точних оптичних кодерів порівнюються зі швидкостями, передбаченими алгоритмом оптичного потоку, показуючи дуже хорошу збіг. Також було встановлено оптимальний розмір вікна функції для оцінки швидкості оптичного потоку в реальному часі. Загалом, підхід має потенціал для точної оцінки швидкості. Тривають експерименти для різних умов реального світу, і подальші дослідження будуть спрямовані на розробку надійної автономної системи вимірювання швидкості.

Список використаних джерел

1. Klepikov V. B. Dynamics of electromechanical systems with nonlinear friction / V. B. Klepikov. – Kharkiv: Pidruchnyk NTU “KhPI”, 2014. – 408 p.
2. Getman, G. K. Theory of electric traction: handbook at 2 volumes. T. 2. / G. K. Getman. – Dnipropetrovsk: Accent PP, 2015. – 492 p.
3. Andrew J. Davison. Real-time simultaneous localization and mapping with a single camera / Andrew J. Davison // IEEE International Conference on Computer Vision, Nice, France, (January 2003). – Pp. 1403–1410.
4. 3d map building for a humanoid robot by using visual odometry / Y. Takaoka, Y. Kida, S. Kagami, H. Mizoguchi, T. Kanade // Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man & Cybernetics: The Hague, (Netherlands, 10-13 October 2004). – P. 4444–4449.
5. Robust real-time visual tracking using a 2D-3D model-based approach / E. Marchand, P. Bouthemy, F. Chaumette, V. Moreau // IEEE International Conference on Computer Vision (Kerkyra, 1999). – Pp. 262–268.
6. Jung, B. Detecting moving objects using a single camera on a mobile robot in an outdoor environment / B. Jung, G. S. Sukhatme // In the 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems, (Amsterdam, 2004). – Pp. 980–987.
7. Betke, M. Multiple vehicle detection and tracking in hard real time / M. Betke, E. Haritaoglu, L. Davis // IEEE Symposium on Intelligent Vehicles, (Tokyo, 1996). – Pp. 351–356.
8. Ferryman, J. M. Visual surveillance for moving vehicles / M. J. Ferryman, S. J. Maybank, A. D. Worrall // Journal of Computer Vision. – 2000. – № 37(2). – P. 187–197.
9. Barron, J. L. Performance of optical flow techniques / J. L. Barron, D. J. Fleet, S. S. Beauchemin // International Journal of Computer Vision. – 1994 – Vis. 12(1). – Pp. 43–77.
10. Lucas B. D. An iterative image registration technique with an application to stereo vision / Bruce D. Lucas, Takeo Kanade // Proceedings of the 7th International Joint Conference on Artificial Intelligence (IJCAI '81). – 1981. – Pp. 121–130.
11. Cheng Yang Visual odometry on the Mars exploration rovers - a tool to ensure accurate driving and science imaging/ Yang Cheng, Mark W. Maimone, Larry Matthies // IEEE Robotics & Automation Magazine. – 2006. – Vol. 13, № 2. – Pp. 37–45.
12. Horn B.K.P. Determining Optical flow / B. K. P. Horn, B. G. Schunck // Artificial Intelligence. – 1981. – № 17 – Pp. 185–203.
13. Birchfield, S. KLT: An implementation of the Kanade-Lucas-Tomasi feature tracker / Stan Birchfield. – 2007.

14. Neural Network Control of a Frequency-Regulated Electric Drive of a Main Electric Locomotive / Y. Kyrylenko, Y. Kutovoj, I. Obruch, T. Kunchenko // 2020 IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), (Kremenchuk, Ukraine, 2020). – Pp. 1-4. DOI: 10.1109/PAEP49887.2020.9240880.

15. Y. Kutovoj, Y. Application of Intelligent Control Systems in Electric Drives of Rail Vehicles / Y. Kutovoj, Y. Kyrylenko, I. Obruch and T. Kunchenko // 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), (Kharkiv, Ukraine, 2021) – Pp. 709-713, DOI: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570026.

16. Kyrylenko, Y. The Robotic Platform for Measuring Linear Velocity Using Computer Vision Algorithms/ Y. Kyrylenko, K. Yuriy and K. Tatiana // 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek), Kharkiv, Ukraine, 2022. – P. 1-4, doi: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916472.

References

1. Klepikov, V.B. (2014). *Dynamics of electromechanical systems with nonlinear friction*. Pidruchnyk NTU “KhPI”.

2. Getman, G. K. (2015). *Theory of electric traction*. (Vol. 2). Dnipropetrovsk: Accent PP.

3. Davison, A. (2003). Real-time simultaneous localization and mapping with a single camera. IEEE International Conference on Computer Vision, Nice, France (pp. 1403–1410).

4. Takaoka, Y., Kida, Y., Kagami, S., Mizoguchi, H. and Kanade, T. (2004). 3d map building for a humanoid robot by using visual odometry. IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics. The Hague (pp. 4444–4449).

5. Marchand, E., Bouthemy, P., Chaumette, F. and Moreau, V. (1999). Robust real-time visual tracking using a 2D-3D model-based approach. IEEE International Conference on Computer Vision. Kerkyra (pp. 262–268).

6. Jung, B. and Sukhatme, G. S. (2004). Detecting moving objects using a single camera on a mobile robot in an outdoor environment. The 8th Conference on Intelligent Autonomous Systems, Amsterdam (pp. 980–987).

7. Betke, M., Haritaoglu, E. and Davis, L. (1996). Multiple vehicle detection and tracking in hard real time”, IEEE Symposium on Intelligent Vehicles. Tokyo (pp. 351–356).

8. Ferryman, J. M., Maybank, S. J. and Worrall, A. D. (2000). Visual surveillance for moving vehicles. *Journal of Computer Vision*, 37(2), 187–197

9. Barron, J.L., Fleet, D.J., and Beauchemin, S.S. (1994). Performance of optical flow techniques. *Int. J. Comput. Vis.*, 12(1), 43–77.

10. Lucas B.D. and Kanade, T. (1981). An iterative image registration technique with an application to stereo vision. *Proc. Imaging Understanding Workshop* (pp. 121–130).

11. Cheng Y., Maimone, M. W., and Matthies, L. (2006). Visual Odometry on the Mars Exploration Rovers”. *IEEE Robotics & Automation Magazine*.

12. Horn, B.K.P. and Schunck, B.G. (1981). Determining Optical flow. *Artificial Intelligence*, 17, 185-203.

13. Birchfield, S. Kanade-Lucas-Tomasi feature tracker.

14. Kyrylenko, Y., Kutovoj, Y., Obruch I., and Kunchenko, T. (2020). Neural Network Control of a Frequency-Regulated Electric Drive of a Main Electric Locomotive. IEEE Problems of Automated Electrodrive. Theory and Practice (PAEP), Kremenchuk, Ukraine (Pp. 1-4). doi:10.1109/PAEP49887.2020.9240880.

15. Kutovoj, Y., Kyrylenko, Y., Obruch I., and Kunchenko, T. (2021). Application of Intelligent Control Systems in Electric Drives of Rail Vehicles. 2021 IEEE 2nd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, Ukraine. Pp. 709-713. doi: 10.1109/KhPIWeek53812.2021.9570026.

16. Kyrylenko, Y., Yuriy, K. and Tatiana, K. (2022). The Robotic Platform for Measuring Linear Velocity Using Computer Vision Algorithms," 2022 IEEE 3rd KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek). Kharkiv, Ukraine. Pp. 1-4. doi: 10.1109/KhPIWeek57572.2022.9916472.

Отримано 03.06.2024

Yaroslav Kyrylenko¹, Yurii Kutovyi²¹assistant of the Department Automated Electromechanical Systems

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: Yaroslav.Kyrylenko@ieee.khpi.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>²PhD of Technical Sciences, Professor of the department Automated electromechanical systems

National Technical University "Kharkiv Polytechnic Institute" (Kharkiv, Ukraine)

E-mail: yurii.kutovyi@khpi.edu.ua. **ORCID:** <https://orcid.org/0000-0002-0331-617X>**ON THE QUESTION OF METHODS OF BUILDING PROTECTION SYSTEMS
AGAINST EXCESSIVE SLIPPING OF WHEELS OF RAIL VEHICLE**

Various types of protection against skidding and the use of rail vehicles are considered, based on which the implementation of the maximum traction force under the coupling conditions is built. Slip control has always been crucial in the railway sector due to the limited friction between the wheels and the rail. This study will examine the various types of skid and skid protection for rail vehicles, on which basis the implementation of the maximum traction force in accordance with the clutch conditions will be build. Increasing the traction force is a complex problem in the design of railway vehicles; therefore, it is necessary to develop effective traction systems and algorithms. The continuous development of intelligent control systems allows building control systems based on signals from the external environment. These types of signals can be received by multifunctional sensors such as cameras. Wagons are constantly being improved to reduce time and safety. Therefore, they need a powerful traction control system to meet the increasing speed requirements. The development of a traction control strategy to achieve optimal traction ensures a safe and efficient ride and reduces unnecessary slippage between the wheel and the track. Therefore, the development of modern control systems that eliminate these problems is an urgent task. The issue of setting up an excessive slip and shake control system was specially studied from the point of view of energy efficiency in many sources. Optimal decommunization strategies were proposed to ensure a trade-off analysis between travel time and electricity costs. The results showed that this research topic was very promising and that intelligent control systems based on computer vision and machine learning must be integrated into one management system. The use of traditional sensors in railway transport traction drives (angular speed, current, voltage) makes it possible not only to detect skidding but also to generate a signal proportional to the speed of excess slip, which ensures the adjustment of the traction force under the condition of coupling. The experiment on measuring linear speed and calculating sliding speed was performed on an experimental bench. The use of modern computer vision technologies will make it possible to measure even small linear velocities up to 1 m/c with an error of no more than 2 %.

Keywords: railway traction, railway vehicle, slide, slip, slip velocity, computer vision, control, intelligent control.**Fig.:** 4. **References:** 16.