УДК 656.1:614.86

А.В. Йовченко

Черкаський державний технологічний університет, м. Черкаси, Україна

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИСТРОЮ ПАСИВНОЇ БЕЗПЕКИ ДЛЯ ПІДВИЩЕННЯ БЕЗПЕКИ ВАНТАЖНИХ ПЕРЕВЕЗЕНЬ

Розглянуто проблему підвищення безпеки вантажних транспортних засобів і причепів шляхом своєчасного виявлення блокування або заклинювання коліс під час руху. Запропоновано конструкцію пристрою для візуального контролю обертання коліс, що дозволяє оперативно виявляти несправності, покращує сприйняття габаритів причепа та підвищує безпеку маневрування. Проведено аналіз сил, що діють на стержень при обертанні колеса, з урахуванням вібраційних, ударних та аеродинамічних навантажень.

Ключові слова: пасивна безпека, вантажний транспортний засіб, причіп, діагностування обертання коліс, міцність.

The problem of increasing the safety of freight vehicles and trailers by timely detection of wheel locking or jamming during movement is considered. The design of a device for visual control of wheel rotation is proposed, which allows for prompt detection of malfunctions, improves the perception of trailer dimensions and increases maneuvering safety. The forces acting on the rod during wheel rotation are analyzed, taking into account vibration, shock and aerodynamic loads.

Keywords: passive safety, freight vehicle, trailer, wheel rotation diagnostics, strength.

ВСТУП.

Сучасні вантажні перевезення вимагають підвищення безпеки та надійності експлуатації транспортних засобів (ТЗ) із причепами та напівпричепами [1–3]. Однією з актуальних проблем є відсутність оперативного контролю технічного стану коліс причепа під час руху, що може призводити до блокування коліс, пошкодження шин, втрати керованості та аварійних ситуацій.

Існуючі системи контролю переважно базуються на електронних датчиках і телеметрії, однак вони є складними, дорогими та потребують електроживлення. Тому актуальним є розроблення простих автономних засобів пасивної безпеки для візуального контролю обертання коліс під час руху [4–5]. Особливо небезпечним є заклинювання гальмівних механізмів за низьких температур, що спричиняє ковзання заблокованого колеса, інтенсивне зношення шин та ризик аварійних ситуацій [6–8].

Таким чином, розробка та дослідження пристрою пасивної безпеки для контролю роботи коліс ТЗ, причепа є актуальним науково-практичним завданням, спрямованим на підвищення безпеки та ефективності транспортних процесів у системах вантажних перевезень.

АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ ТА ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

Експлуатація вантажних ТЗ у складних умовах, зокрема за впливу пилу, вологи та низьких температур, сприяє зношенню й пошкодженню колісних вузлів. Традиційна діагностика потребує зупинки ТЗ та проведення технічного огляду, що знижує оперативність контролю. Тому актуальними є засоби візуального моніторингу, які дозволяють контролювати стан коліс безпосередньо під час руху.

До найпростіших засобів належать контрастні мітки та індикатори кріпильних елементів, які забезпечують візуальне визначення обертання колеса або послаблення різьбових з’єднань [4–6]. Однак такі рішення не дозволяють ефективно виявляти блокування чи заклинювання коліс під час руху. Сучасні візуальні системи контролю, зокрема пристрої типу Skiddd або Wheel Watcher, забезпечують оперативне виявлення несправностей за допомогою спостереження через дзеркала заднього виду [6, 9, 10]. Їх перевагами є простота конструкції та низька вартість, проте ефективність може знижуватися через вібрації, забруднення, обмерзання та залежність від умов освітлення.

Телематичні системи дистанційного моніторингу дозволяють контролювати параметри шин і гальмівних систем у реальному часі, однак характеризуються високою вартістю та залежністю від електроживлення і зв’язку [10]. Незважаючи на розвиток сучасних технічних рішень, ризик виникнення несправностей під час експлуатації ТЗ з причепами повністю не усунуто. У зв’язку з цим

метою роботи є дослідження міцності стержня пристрою пасивної безпеки руху вантажного ТЗ з причепом, який забезпечує візуальний контроль обертання коліс причепа з кабіни водія. Як ключовий елемент конструкції, стержень піддано розрахунку на міцність і жорсткість з урахуванням експлуатаційних навантажень, зокрема вібраційних та аеродинамічних впливів, з метою оцінки його працездатності та забезпечення надійності пристрою під час руху ТЗ.

РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ.

Пасивні (неелектричні) системи залишаються актуальними для сучасних ТЗ завдяки автономності, простоті конструкції та високій надійності. Вони не потребують електроживлення, електронних компонентів чи програмного забезпечення, що забезпечує їхню працездатність у складних умовах експлуатації та у разі відмови електронних систем. Такі пристрої характеризуються невисокою вартістю виготовлення й обслуговування та можуть застосовуватися на ТЗ без сучасних систем моніторингу. Додатковою перевагою є можливість безпосереднього візуального контролю стану коліс водієм під час руху.

Конструкція пристрою визначається параметрами колісного вузла, зокрема величиною вильоту диска. При цьому елементи пристрою не повинні виходити за габарити ТЗ. Орієнтовно допустимий виступ становить близько 20 см для дисків із негативним вильотом, 13 см – із нульовим та 10 см – із позитивним [8]. Для покращення візуального сприйняття кінцева частина стержня має сигнальне жовте забарвлення, що забезпечує високу контрастність та помітність під час обертання колеса.

Кінцева частина стержня довжиною 60 мм покрита люмінесцентною жовтою фарбою для покращення його помітності під час руху ТЗ. Перед монтажем пристрою необхідно ретельно очистити поверхню та різьбу шпильок за допомогою дротяної щітки, видаливши іржу, бруд і сторонні частинки, які можуть пошкодити різьбове з’єднання або колісні гайки. Додатково слід перевірити технічний стан різьби та у разі виявлення пошкоджень замінити несправні елементи.

Використання жовтого кольору обумовлене його високою помітністю та безпековими властивостями. Жовтий колір добре сприймається людським оком навіть за недостатнього освітлення та на значній відстані. Він створює контраст із дорожнім покриттям, шинами та металевими елементами ТЗ та причепа, що полегшує візуальний контроль обертання колеса. Крім того, жовтий традиційно застосовується для сигнальних і попереджувальних елементів у транспортній галузі та промисловості.

Під час руху ТЗ з причепом обертання колеса зі стержнем сигнального кольору створює чіткий візуальний ефект, який дозволяє водієві швидко визначати роботу колеса та своєчасно виявляти можливе блокування або заклинювання. Таким чином, використання люмінесцентного жовтого покриття сприяє покращенню сприйняття інформації водієм і підвищує безпеку експлуатації ТЗ з причепом.

Під час руху на колесо та стержень діють різні експлуатаційні навантаження, які необхідно враховувати при розрахунках (рис. 1). Для дослідження можна прийняти причіп KRONE SDP 27 із габаритними розмірами 2,48×2,75 м, площею лобового перерізу 6,82 м², масою 6750 кг та максимальною вантажопідйомністю 27000 кг, який використовується найбільш широко в Україні. До нього підходять колеса діаметром 1007 мм і масою 72 кг. Визначення параметрів взаємодії колеса з дорогою передбачає врахування лінійної та кутової швидкостей, крутного моменту та нормального навантаження на колесо [11, 12].

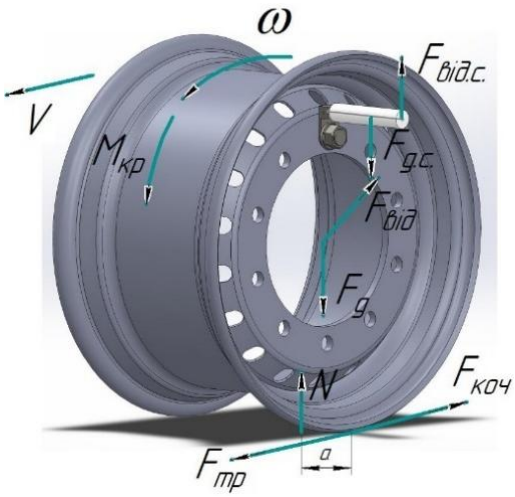

Рисунок 1 – Основні сили, що діють на колесо при русі

Джерело: розроблено автором

На стержень при русі діє комплекс навантажень різної природи. До них належать сила кочення $F_{коч}$, реакція опору N, сили тяжіння, що діють на колесо F_g та сили тяжіння, що діють на стержень $F_{g.c}$, сили тертя між шиною та дорожнім покриттям $F_{тр}$, відцентрові сили, що діють на колесо $F_{від}$ та відцентрові сили, що діють на стержень $F_{від.с.}$, інерційні навантаження, а також сили аеродинамічного опору (рис. 1). Сила тертя забезпечує зчеплення колеса з дорогою під час руху, гальмування та маневрування ТЗ. Водночас при збільшенні швидкості суттєво зростають відцентрові сили, які діють на стержень у радіальному напрямку та можуть викликати його згинання. Додатково під час розгону або гальмування виникають інерційні навантаження, які впливають на загальний напружено-деформований стан конструкції.

Під час руху вантажного ТЗ та обертання колеса стержень розробленого пристрою піддається дії змінних механічних навантажень, що можуть спричиняти його деформацію. У зв'язку з цим було поставлено завдання визначити оптимальні геометричні параметри стержня та обрати матеріал, який забезпечуватиме достатню міцність, жорсткість і довговічність конструкції. Однією з основних вимог до стержня є його добра видимість у дзеркалі заднього виду водія під час руху ТЗ. Попередньо для дослідження було прийнято стержень діаметром 40 мм, виготовлений із армованого поліаміду PA6-GF30. Довжина стержня визначається параметрами колісного диска, зокрема величиною його вильоту. Для оцінки найбільш несприятливих умов роботи прийнято максимальну довжину стержня 160 мм, що дозволило дослідити граничні деформації та напруження конструкції.

Особливу увагу необхідно приділити опору коченню та аеродинамічному опору причепа. Він є ключовим для забезпечення безпеки водіння та зменшення кількості ДТП. Опір коченню виникає внаслідок деформації шини та дорожнього покриття і безпосередньо впливає на умови руху ТЗ. Значення цього опору залежить від швидкості руху, стану дорожнього покриття та маси причепа з вантажем.

Аеродинамічний опір визначається геометрією ТЗ, формою причепа, наявністю обтічників і дефлекторів, а також розташуванням коліс відносно кузова. Для сучасних вантажних ТЗ з причепами використання аеродинамічних елементів дозволяє суттєво зменшити опір повітря та навантаження на колісні вузли. Необхідно враховувати вплив аеродинамічного потоку на колесо та стержень при різних швидкостях руху. У сучасних вантажних автомобілях, конструкція яких оптимізована з урахуванням аеродинаміки, значення коефіцієнта опору може становити близько 0,5–0,6. Для ТЗ із причепами цей показник зростає через додатковий опір, створений причепом, і зазвичай перебуває в межах 0,7–0,9.

Для стандартних вантажних причепів прямокутної форми характерні вищі значення аеродинамічного опору, тоді як використання обтічників та аеродинамічних елементів дозволяє його суттєво зменшити. На величину опору також впливає розташування коліс відносно кузова транспортного засобу. Передні колеса створюють найбільший опір повітряному потоку, тоді як для задніх коліс цей вплив є меншим. Використання аеродинамічних екранів і захисних кожухів дозволяє додатково знизити опір коліс завдяки зменшенню площі їх взаємодії з повітряним потоком.

ВИСНОВКИ.

Розроблений пристрій пасивної безпеки забезпечує ефективний візуальний контроль обертання коліс причепа безпосередньо з кабіни водія, що дозволяє своєчасно виявляти їх блокування або інші несправності. Додатковою перевагою є покращення сприйняття габаритів причепа, що спрощує маневрування, зокрема під час руху заднім ходом, та підвищує безпеку гальмування.

Однак необхідно провести розрахунки на міцність і жорсткість, визначити, чи обраний матеріал і геометричні параметри стержня забезпечують його працездатність в умовах експлуатаційних навантажень. Значення напружень не повинні перевищувати допустимих, що підтвердить достатній запас міцності та витривалості при дії циклічних, вібраційних і аеродинамічних навантажень.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Про затвердження Порядку проведення обов'язкового технічного контролю транспортних засобів: постанова Кабінету Міністрів України від 30 січ. 2012 р. № 137.

2. Про затвердження Правил технічної експлуатації коліс і пневматичних шин транспортних засобів: наказ Міністерства інфраструктури України від 26 лип. 2013 р. № 549.

3. Про затвердження методів перевірки технічного стану колісних транспортних засобів: наказ Міністерства інфраструктури України від 24 груд. 2013 р. № 710.

4. Checkpoint. Офіційний сайт. URL: https://checkpoint-safety.com (дата звернення: 06.04.2026).

5. Redcat Industries. Офіційний сайт. URL: https://redcatindustries.com (дата звернення: 06.04.2026).

6. Skiddd. Офіційний сайт. URL: https://skiddd.com (дата звернення: 06.04.2026).

7. Йовченко А.В. Підвищення контролю безпеки переміщення вантажного транспорту з причепами. *Молодь: наука та інновації 2024*: зб. матеріалів конф. XII-ї Міжнар. наук.-техн. конф. студ., аспір. та мол. вчених; 13–15 лист. 2024 р. Дніпро: НТУ «Дніпровська політехніка», 2024. Том 1. С. 155-156.

8. Йовченко А.В. Розробка пристрою для контролю безпеки руху вантажного транспорту з причепами. *Центральноукраїнський науковий вісник. Технічні науки*. 2025. №11(42) ч.1. С. 230–235. https:doi.org/10.32515/2664-262X.2025.11(42)1.230-235.

9. Maxa Group. Офіційний сайт. URL: https://www.maxa-group.com (дата звернення: 06.04.2026).

10. Samsara. Trailer tracking. URL: https://www.samsara.com/products/equipment-tracking/trailer-tracking (дата звернення: 06.04.2026).

11. Nussupbek Zh. T., Bekenov T. N., Sattinova Z. K., Beisenbi M. A., Tassybekov Zh. T. Substantiation of methods for calculation of traction forces redistribution indicators on modular front and rear wheels of the vehicle (4X4). *Transportation Engineering*. 2023. Vol. 13, 100193. DOI: https://doi.org/10.1016/j.treng.2023.100193.

12. Спосіб визначення параметрів контакту колеса автомобіля з дорогою: пат. 102155 Україна: МПК (2015.01) B60B 15/00, G01M 17/02 (2006.01), G01N 19/02 (2006.01). № 2014 13703; заявл. 22.12.2014; опубл. 26.10.2015, Бюл. №20.

ЙОВЧЕНКО Алла Василівна, кандидат технічних наук, ст. викладач кафедри автомобілів та технології їх експлуатації, Черкаський державний технологічний університет, e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7069-1092

YOVCHENKO Alla – PhD tech. sci, senior lecturer of Department of Automobiles and Technology of Their Operation, Cherkasy State Technological University, e-mail: a.yovchenko@chdtu.edu.ua, ORCID: http://orcid.org/0000-0002-7069-1092