

**ОГЛЯД НАПРЯМКІВ ПІДВИЩЕННЯ СТІЙКОСТІ ВАГОНІВ-ЦИСТЕРН**  
**OVERVIEW OF WAYS TO IMPROVE THE STABILITY OF TANK**  
**WAGONS**

*канд. техн.наук Ю. В .Щербина,  
аспірант В. В. Мамонтов  
Державний університет інфраструктури та технологій (м. Київ)*

*Y. V.Shcherbina, PhD(Tech.),  
V. V. Mamontov, postgraduate student  
State University of Infrastructure and Technologies (Kyiv)*

Підвищення стійкості вантажного рухомого складу на залізничному транспорті — це не лише технічна потреба, але й питання безпеки, економічності та екологічної відповідальності.

По-перше, стійкість безпосередньо впливає на безпеку вантажу. На високих швидкостях будь-яке відхилення чи нестабільність руху можуть призвести до сходження з рейок або аварії, що матиме серйозні наслідки.

По-друге, стабільний рух вантажного залізничного рухомого складу знижує витрати на обслуговування. Менше навантаження на рейки, знижений рівень вібрацій та знос елементів ходової частини — це зменшує необхідність у частих ремонтах. Окрім того, рухомий склад із високою стійкістю витрачає менше енергії, що сприяє зниженню операційних витрат.

Третя причина полягає у захисті навколишнього середовища. Плавність ходу зменшує шум і вібрації, що важливо для збереження природних середовищ і зниження впливу транспорту на урбанізовані території. Тому підвищення стійкості вагонів — це частина глобальних екологічних зусиль.

Таким чином, забезпечення стійкості вантажного рухомого складу — це інвестиція в безпеку, економію та збереження природи, що вимагає уваги та ресурсів задля стійкого розвитку залізничного транспорту.

У вантажних перевезеннях стійкість рухомого складу має особливе значення, адже забезпечення безпечного транспортування великих мас вантажів вимагає чіткого контролю за динамікою та стабільністю руху вагонів. На крутих ділянках і поворотах зниження стійкості може призвести до критичних ситуацій, таких як перекидання вагонів або зсув вантажів. Висока стійкість сприяє плавності руху, що дозволяє уникнути раптових ударів та коливань, зберігаючи вантажі від пошкоджень і забезпечуючи стабільний ланцюг поставок.

У перевезенні небезпечних вантажів, таких як хімічні речовини, вибухонебезпечні матеріали або легкозаймисті продукти, стійкість вантажного рухомого складу має вирішальне значення. Для таких вантажів застосовуються спеціальні технічні вимоги, що включають додаткову стабілізацію вагонів,

систему контролю за температурним режимом і амортизацією, щоб мінімізувати ризик непередбачуваних подій і зберегти вантаж у цілісності.

У галузі залізничних перевезень, особливо коли мова йде про транспортування небезпечних вантажів, вагони-цистерни мають особливе значення. Вони відіграють ключову роль у забезпеченні безпеки транспортування таких матеріалів, як хімічні сполуки, нафтопродукти, зріджений газ тощо. Однією з головних проблем цих вагонів є їх вразливість до механічних пошкоджень, які можуть виникнути під час аварій, наприклад, при сході з колії або при ударах під час руху через перешкоди.

Вагон-цистерни мають певну специфіку, пов'язану з умовами експлуатації:

1 Нестабільність при перевезенні рідин: рідина всередині цистерни може створювати ефект хвиль, що збільшує ризик перевертання вагона на поворотах або при різкому гальмуванні.

2 Захист від витоків: особливо для небезпечних вантажів, таких як нафта, хімічні речовини, важливо забезпечити герметичність цистерни, щоб запобігти витoku та забрудненню навколишнього середовища.

3 Змінні навантаження: зміна об'єму рідини через коливання температури чи нерівномірний розподіл навантаження може впливати на стійкість і маневреність.

Прикладом необхідності вирішення таких специфічних проблем, з якими стикаються вагони-цистерни при перевезенні небезпечних вантажів, можна навести випадок у канадському місті Лак-Мегантик в 2013 році, коли аварія з вагонами DOT-111, що перевозили нафту, викликала масштабний вибух, внаслідок якого загинуло 47 людей [1, 2].

З метою зменшення описаних ризиків розробляються вдосконалені моделі вагонів. Наприклад, модель DOT-117, яка має покращену стійкість до пошкоджень, замінила в експлуатації модель DOT-111. Ці вагони оснащені елементами посилення днищ та посиленою конструкцією оболонки, що робить їх більш стійкими до пробоїв [3]. Крім того, впроваджуються телематичні системи для моніторингу та відстеження стану цистерн у реальному часі, що допомагає виявляти потенційні проблеми завчасно [4].

Ще однією важливою розробкою є використання нових матеріалів, які не поступаються за міцністю, але є легшими, що дозволяє підвищити ефективність транспорту [4].

Шляхи вирішення описаних проблем можна об'єднати у кілька підходів, спрямованих на покращення безпеки. Один із них полягає в удосконаленні конструкції цистерн, що включає зміцнення матеріалів, з яких виготовляються танк-контейнери. Такі вдосконалення знижують ймовірність виникнення пробоїв під час сходу з рейок. Наприклад, використання спеціальних сталей із зниженим вмістом сірки та контроль за формою включень у металі дозволяють зменшити ймовірність виникнення тріщин через знижену крихкість та покращену міцність на злам [5].

Також важливим аспектом є удосконалення конструктивних елементів цистерн, таких як захисні шари та додаткові бар'єри, що сприяють зниженню ризику витoku вантажу у разі механічного пошкодження. Приміром, існують

розробки, що включають спеціальні тканини або композитні матеріали для підвищення стійкості до проколів [6].

У доповнення до зміцнення матеріалів, впроваджуються новітні технології для моделювання і тестування протиударних характеристик. Використання методу скінченних елементів для моделювання механічних ударів дозволяє більш точно оцінити й підвищити надійність конструкцій цистерн у реальних умовах, включаючи високошвидкісні зіткнення або удари об тверді об'єкти [6].

Ці заходи є частиною стратегії покращення безпеки транспортування небезпечних вантажів, що активно розробляється в рамках таких ініціатив, як Next Generation Tank Car Project (NGRTC), спрямованих на удосконалення конструкцій залізничних цистерн для забезпечення більшої надійності та стійкості у разі аварійних ситуацій [7].

Рішення, що з'являються завдяки співпраці науковців, інженерів і органів регулювання, є важливим кроком до зменшення ризиків при транспортуванні небезпечних вантажів залізничним транспортом. Проте всі ці рішення переважно спрямовані на зміцнення вагонів, запобігання деформації, пробої та витоку небезпечних речовин. Проте найголовнішим шляхом вирішення проблем має залишатися запобігання аварії.

Вантажні вагони, зокрема цистерни, піддаються додатковим динамічним силам при проходженні кривих, що є зоною підвищеного ризику перекидання та витоку небезпечних вантажів.

Використання електронно керованих пневматичних гальм показало свою ефективність у зниженні ризиків, пов'язаних із гальмуванням під час проходження кривих при високих швидкостях [8].

Іншим напрямком є зниження швидкості у кривих ділянках колії малого радіусу. Зниження швидкості руху на таких ділянках значно зменшує ймовірність зйдення з рейок і знижує серйозність пошкоджень при можливих аваріях. Додатково, розроблені технології моніторингу стану колії, які виявляють дефекти та нерівності на рейках, що можуть спричинити аварії. Своєчасна діагностика та усунення проблем з колією значно знижують ризики, пов'язані з її старінням або незадовільним технічним станом.

Ці технологічні досягнення разом з використанням статистичних моделей і оцінки ризиків, які розробляються в рамках досліджень, таких як проект RailTEC [9], допомагають виявляти небезпечні ділянки та впроваджувати заходи безпеки.

Однією з важливих розробок є впровадження систем з незалежним обертанням коліс. Вони дозволяють значно зменшити поздовжнє ковзання коліс по рейках, що допомагає знижувати опір руху, особливо на кривих ділянках [10].

В Україні є напрацювання з використання перспективної конструктивної схеми (ПКС), яка дозволяє колесам візка обертатись незалежно одне від одного. Ця технологія вирішує кілька проблем традиційних колісних конструкцій, зокрема ризик піднімання ободів коліс на рейки при проходженні різких поворотів. За допомогою ПКС зменшується поздовжнє ковзання між рейкою та поверхнею кочення колеса, що також знижує енергетичні витрати [10].

Вирішення проблеми підвищення стійкості вантажного рухомого складу можливе через комплексний підхід. Ключовими напрямками є вдосконалення конструкцій вагонів, зокрема використання новітніх матеріалів і посилених оболонок, впровадження електронно керованих пневматичних гальм і систем моніторингу стану вагонів та колії, а також впровадження систем незалежного обертання коліс.

Ефективне вирішення проблеми підвищення стійкості вантажного рухомого складу можливе завдяки впровадженню перспективної конструктивної схеми. Ця технологія забезпечує незалежне обертання коліс, дозволяє значно знизити поздовжнє ковзання, покращує стабільність руху на криволінійних ділянках і зменшує енергетичні витрати.

Ці технології в сукупності сприяють підвищенню безпеки транспортування, зниженню експлуатаційних витрат і мінімізації екологічного впливу, забезпечуючи стійкий розвиток залізничного транспорту.

- [1] Lac-Mégantic runaway train and derailment investigation summary. Transportation Safety Board of Canada. 2021. April 1. URL: <https://www.tsb.gc.ca/eng/rapports-reports/rail/2013/r13d0054/r13d0054-r-es.html> (дата звернення: 15.11.2024).
- [2] Improve Rail Tank Car Safety. National Transportation Safety Board. Т. 2015, MOST WANTED TRANSPORTATION SAFETY IMPROVEMENTS. URL: [https://www.nts.gov/Advocacy/mwl/Pages/mwl5\\_2015.aspx](https://www.nts.gov/Advocacy/mwl/Pages/mwl5_2015.aspx) (дата звернення: 15.11.2024).
- [3] Sneider J. Fleet update: Tank cars and components. Progressive Railroading. 2024. Жовт. 2024. 73016. URL: <https://www.progressiverailroading.com/mechanical/article/Fleet-update-Tank-cars-and-components--73016> (дата звернення: 15.11.2024).
- [4] How Science and Engineering Are Reducing the Risk of Rail Transport of Hazardous Materials / C. P. L. BARKAN та ін. Railroads and Research. 2013. Cooperative Research in Tank Car Safety Design. URL: <https://railtec.web.illinois.edu/wp/wp-content/uploads/2018/08/Barkan-et-al-2013-TR-News-286-Cooperative-Tank-Car-Safety-Research.pdf> (дата звернення: 15.11.2024).
- [5] Anderson T. L. Quantifying and Enhancing Puncture Resistance in Railroad Tank Cars Carrying Hazardous Materials : Phase I: Preliminary Study. Virginia, 2006. 75 с. URL: [https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra\\_net/3042/CI%20Phase%20I%20Final%20Report.pdf](https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/3042/CI%20Phase%20I%20Final%20Report.pdf) (дата звернення: 15.11.2024).
- [6] Kirkpatrick S. W., Gonzalez F., Alexy K. Tank Car Puncture Analyses for Various Impactors and Impact Conditions. 2013 Joint Rail Conference, м. Knoxville, 15–18 квіт. 2013 р. 2013. URL: <https://doi.org/10.1115/JRC2013-2560> (дата звернення: 15.11.2024).
- [7] Next Generation Tank Car Project (NGRTC). U.S. Department of Transportation Federal Railroad Administration. URL: <https://railroads.dot.gov/program-areas/hazmat-transportation/next-generation-tank-car-project-ngrtc> (дата звернення: 15.11.2024).
- [8] Prabhakaran A. Objective Evaluation of Risk Reduction from Tank Car Design and Operations Improvements : Публічний Звіт. Washington, 2018. 36 с. URL: [https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra\\_net/18214/Objective%20Evaluation%20of%20Risk%20Reduction%20from%20Tank.pdf](https://railroads.dot.gov/sites/fra.dot.gov/files/fra_net/18214/Objective%20Evaluation%20of%20Risk%20Reduction%20from%20Tank.pdf) (дата звернення: 15.11.2024).
- [9] Rail Safety and Risk. University of Illinois Rail Transportation and Engineering Center. 2024. URL: <https://railtec.illinois.edu/research/rail-safety-and-risk/> (дата звернення: 15.11.2024).
- [10] Mikhailov E., Semenov S. A Study of Improving Running Safety of a Railway Wagon with an Independently Rotating Wheel's Flange. Symmetry. 2021. № 13(10). URL: <https://doi.org/10.3390/sym13101955> (дата звернення: 15.11.2024).