

С. В. МЯМЛІН (ДПТ), Л. М. ДЕГТЯРЬОВА (Східноукраїнський національний університет ім. В. Даля, Луганськ)

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ СПЕЦІАЛІЗОВАНИХ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ З УРАХУВАННЯМ КОНТРГРЕБЕНЯ

В статті запропоновано математичний опис взаємодії колеса спеціалізованого вантажного вагона і рейки, при цьому розглядається поверхня кочення колеса особливої конфігурації. З використанням варіанта колісної пари з контргребнем для немагістральних спеціалізованих вантажних вагонів запропоновано результати моделювання руху екіпажу.

Ключові слова: спеціалізовані вантажні вагони, колісна пара з контргребнем, моделювання руху екіпажу

В статье предложено математическое описание взаимодействия колеса специализированного грузового вагона и рельса, при этом рассматривается поверхность катания колеса особой конфигурации. С использованием варианта колесной пары с контргребнем для немагистральных специализированных грузовых вагонов предложены результаты моделирования движения экипажа.

Ключевые слова: специализированные грузовые вагоны, колесная пара с контргребнем, моделирование движения экипажа

In the article a mathematical description of interaction of the special-purpose freight wagon wheel and rail is proposed, in so doing a special configuration of the tread contact surface of wheel is under consideration. The results of simulation of vehicle motion using the variant of wheelset with counterflange for non-mainline special-purpose freight wagons are proposed.

Keywords: special-purpose freight wagons, wheelset with counterflange, simulation of vehicle motion

В класичній моделі взаємодії колісної пари з колією для забезпечення оптимальної взаємодії елементів системи «екіпаж-колія» зазначається, що екіпаж повинен рухатися в рейкової колії прямолінійно, без набіганням гребенями коліс на рейки. Однак під впливом нерівностей на поверхні кочення коліс і верхньої будови колії колісна пара здійснює складні просторові рухи, які через букси, ресори та надресорні балки передаються кузову екіпажу [1 – 5]. Специфічна форма поверхні кочення коліс і рейкової колії, складові якої завдяки своїм геометричним обрисам і підуклонці надійно забезпечують безпеку і поступовий відносно прямолінійний рух екіпажу в прямих ділянках без суттєвого набігання гребеня коліс на рейки. Саме ця форма полегшує вписування екіпажу в криві, компенсує різницю дотичних швидкостей коліс, що котяться по зовнішній і внутрішній рейках [6 – 8]. Але з моменту, коли колесо починає прослизати по рейці, виникають додаткові поперечні, відносно напрямку руху, сили між гребнем колеса і робочою гранню зовнішньої рейки. При збільшенні швидкості руху екіпажів, при умові появи дефектів на профілі колеса або при зношуванні профілю колеса ці сили зростають, внаслідок чого з'являється загроза вкочування колеса на головку рейки і подальшого сходу екіпажу з рейок. Для зменшення

цих сил до мінімуму необхідне створення відповідних профілів поверхні кочення коліс і рейок або використання відповідних запобіжних пристроїв.

При дослідженнях коливань вагони розглядають як механічні системи, що складаються з твердих тіл, з'єднаних жорсткими і пружними елементами, при цьому свобода руху вагонів обмежена зовнішніми направляючими пристроями, які не входять в систему. З'єднані елементи і зовнішні направляючі або утримуючі пристрої вважаються зв'язками, що накладаються на механічну систему.

Відомо, що обриси профілю колеса і рейки істотно впливають на показники контактної взаємодії, динамічні показники руху залізничного екіпажу в цілому і термін служби коліс та рейок. Так, в роботі [9] оптимізація колісних профілів визнається одним з найефективніших засобів поліпшення взаємодії рухомого складу і колії, що сприяють зниженню поперечних сил та напружень у взаємодії колеса і рейки і послаблюють динамічний вплив рухомого складу на колію.

Усередині колії колісні пари одного вагона повинні займати таке положення, яке дозволить їм рухатися в кривій без деформації колії або самої колісної пари.

В якості вантажного вагона в даному випадку наведено розрахунки для порожньої цистерни та цистерни з наливним вантажем підвищеної в'язкості. При розрахунках технічних параметрів можливостей цистерни, обладнаної колісною парою з контргребеннями, було враховано математичний опис просторових коливань досліджуваного рейкового екіпажу при русі залізничною колією в прямих та кривих ділянках. Достовірність отриманих результатів істотно залежить від того, як математичною моделлю описано реальні процеси, що відбуваються в контакті рейкового екіпажу і колії. Враховуючи припущення та спираючись на розрахункові дані, приведено результати порівняльного аналізу руху двох видів цистерн: з контргребеннями та цистерн, оснащених колісними парами зі стандартними суцільнокатаними колесами.

Для оцінки впливу контргребеней на динамічні показники вантажних вагонів були виконані розрахунки, що моделюють рух завантаженої і порожньої цистерни по прямій ділянці колії і кривим ділянкам, радіусами 600 і 300 м. Для виконання теоретичних досліджень спочатку були згенеровані динамічні збурення (нерівності елементів рейкової колії), що діють на вагон з боку колії згідно РД 32.68-96 [10, 11].

Великий вплив на значення геометричних нерівностей має зміна кривизни рейок за рахунок звивистого, близького до синусоїдального, руху рейкового екіпажу та впливання його ходових частин. Нерівність, що з'явилася в результаті взаємодії колеса і рейки, описує зміну прогину вздовж певної ділянки рейкової колії.

Моделювання виконувалося за допомогою комп'ютерного комплексу DynRail, що розроблено в Дніпропетровському національному університеті залізничного транспорту ім. академіка В.Лазаряна [11, 12].

Взаємодія рухомого складу з поодинокими нерівностями колії розглядається як основний фактор, що визначає динамічну навантаженість екіпажу при русі рухомого складу в кривих.

В якості збурень задані геометричні нерівності рейок у вертикальній і горизонтальній площинах відповідно до вимог РД 32.68-96. Осцилограми цих нерівностей наведені на рис. 1, 2.

На відміну від вертикальних впливів, горизонтальні збурення не є визначальними в зміні величини та геометрії бічних коливань екіпажів.

На рис. 4 наведено порівнювальне зображення зміненого профілю колеса та класичного суцільнокатаного колеса згідно стандарту [13].

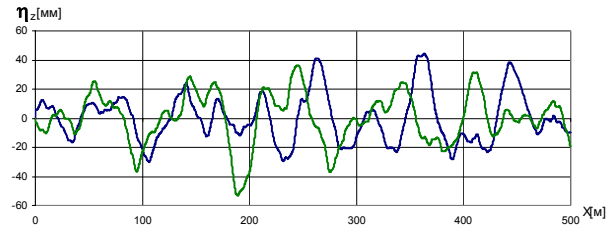


Рис. 1. Вертикальні нерівності рейкової колії під правим та лівим колесом – взаємне положення рейкових ниток по висоті (поперечний рівень)

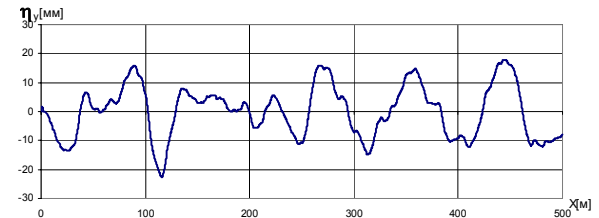


Рис. 2. Горизонтальні кінематичні збурення в напрямку, перпендикулярному осі колії

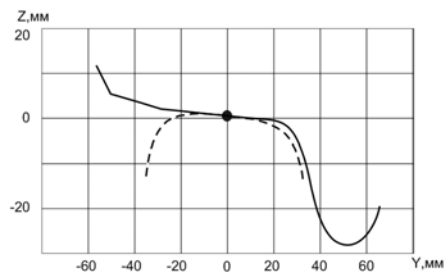


Рис. 3. Взаємне розташування колеса і рейки при одноточковому контакті по колу кочення колеса

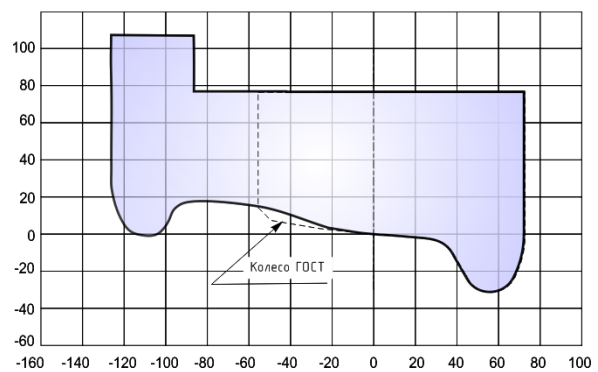


Рис. 4. Порівняльне зображення суцільнокатаного колеса (ГОСТ 9036-76 [11]) та колеса зі змінним профілем кочення

Далі на рис. 5 наведено осцилограми бічного віднесення першої колісної пари. Тут і далі пунктирні лінії відносяться до колеса без контргребеня, а суцільні – до колеса з контргребенем.

Моделювання дозволяє відтворити тільки ті характеристики процесу чи явища, які необхідно дослідити, не відволікаючись на додаткові умови та властивості, що не є важливими у даний проміжок часу.

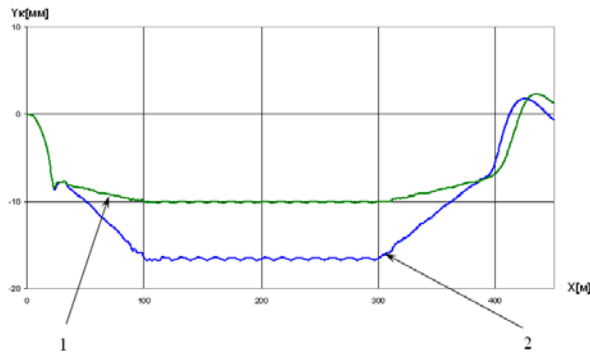


Рис. 5. Бічне віднесення першої колісної пари:

1 – лінія, що на екрані осцилографа відтворює поперечне переміщення колісної пари, не оснащеної контргребенем; 2 – лінія, що на екрані осцилографа відтворює поперечне переміщення колісної пари, оснащеної контргребенем

Наведений рисунок дає наочне уявлення про поперечне переміщення колісної пари. Спочатку, виконуючи рух по перехідній ділянці на вході в криву ($0 < X < 100$ м), ліве колесо поступово наближається і притискається до зовнішньої рейки. Потім, рухаючись по круговій кривій ($100 \text{ м} < X < 300$ м), ліве колесо повністю притиснуто до зовнішньої рейки і продовжує рухатися вліво, укочуючись на рейку. І, нарешті, при виході з кривой ($300 \text{ м} < X < 400$ м) колесо поступово відходить від зовнішньої рейки і відновлює своє стандартне стійке положення відносно колії.

З наведеного рисунка видно, що колесо без контргребеня рухаючись в кривій перемістилося в поперечному напрямі приблизно на 16 мм. При цьому воно займає положення відносно рейки, яке показано на рис. 6.

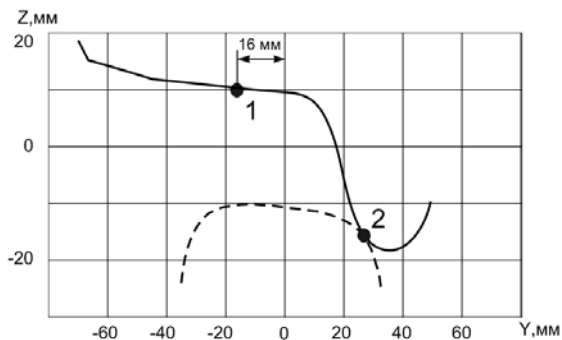


Рис. 6. Положення колеса, не обладнаного контргребенем, відносно рейки при максимальному бічному віднесенні

Точка контакту по стандартному колу кочення позначена цифрою 1, а нова точка контакту між гребенем колеса і бічною поверхнею рейки – цифрою 2. З наведеного рисунка видно, що в цій ситуації ліве колесо знаходиться в критичному положенні і схід більш ніж можли-

вий при виникненні, наприклад, значного бічного вітру назовні кривої або подовжніх стискаючих зусиль в автозчепленнях.

Коли в аналогічній ситуації опинився вагон з обладнаними контргребенями колесами, то максимальна величина бічного віднесення складає приблизно 10 мм. При цьому колесо зайняло відносно рейки положення, що наведено на рис. 7.

Різниця бічних відносів у цих двох ситуаціях, на перший погляд, невелика. Проте, в другому випадку, коли колесо обладнане контргребенем, колісна пара знаходиться в менш небезпечній ситуації. Контакт відбувається в точці (точка 2 на рис. 7), розташований не на кромці поверхні головки рейки, а на її бічній поверхні. І в цій ситуації до повного вкочування колеса на рейку ще є певна відстань.

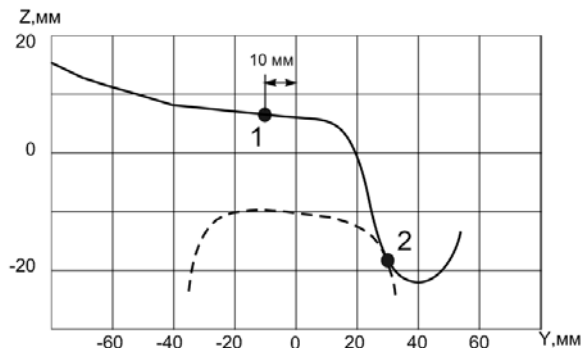


Рис. 7. Положення колеса, обладнаного контргребенем, відносно рейки при максимальному бічному віднесенні

Далі для наочності наведено осцилограми поперечних сил взаємодії лівого і правого колеса першої колісної пари з лівою і правою рейкою відповідно.

На рис. 8 і 9 синім кольором (1) позначені осцилограми для не обладнаної контргребенями колісної пари, зеленим кольором (2) – обладнаної.

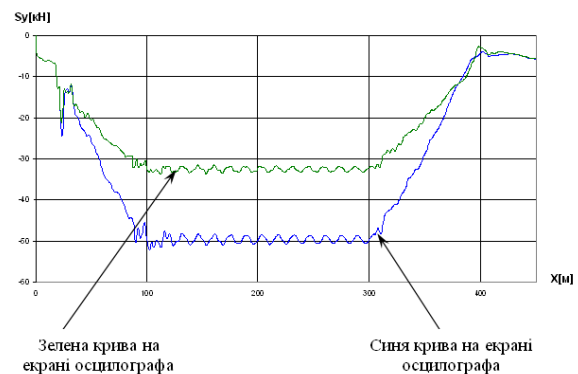


Рис. 8. Поперечна сила взаємодії лівого колеса з лівою рейкою

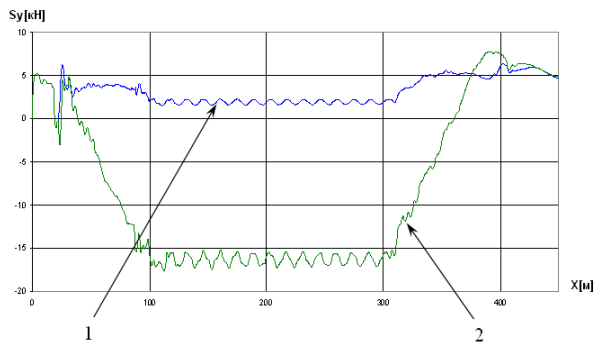


Рис. 9. Поперечна сила взаємодії правого колеса з правою рейкою:

1 – осцилограма для колісної пари, не обладнаної контргребеннями; 2 – осцилограма для колісної пари, обладнаної контргребеннями

З цих рисунків видно, що в першому випадку (тобто, коли колеса без контргребенів) максимальна поперечна сила взаємодії лівого колеса з лівою рейкою більше, ніж в другому (48 кН проти 32 кН) на величину сили взаємодії правого колеса з правою рейкою (зелена лінія на рис. 8). Поперечна ж сила взаємодії правого колеса, обладнаного контргребенем, з правою рейкою більше, ніж відповідна сила для колеса, не обладнаного контргребенем. Це свідчить про те, що додаткова сила (16 кН) і є силою, що протидіє сходу з рейок колісних пар, оснащених контргребеннями.

Не дивлячись на те, що у даному випадку було проаналізовано спрощений випадок і необхідне уточнення математичної моделі взаємодії коліс з контргребенем і рейок, а також вибір параметрів контргребеня (кута нахилу контргребеня і зазору між контргребенем і зовнішньою стороною рейки), з наведених результатів видно, що використання контргребенів приведе до зниження вірогідності уключування колеса на головку рейки. Звичайно, що перетин стрілочних переводів та рейкових з'єднань потребує додаткового вивчення та подальшого удосконалення запропонованого рішення.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Четаев, Н. Г. Устойчивость движения [Текст] / Н. Г. Четаев. – М.: Физматгиз, 1965. – 208 с.
2. Вершинский, С. В. Динамика вагона [Текст] : учебник для вузов ж/д трансп. / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов; под ред.

С. В. Вершинского. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

3. Лазарян, В. А. О стационарных режимах и устойчивости движения рельсовых экипажей в круговых кривых [Текст] / В. А. Лазарян, Н. А. Радченко // Науч. тр. ДИИТ. – 1976. – Вып. 22. – С. 3-14.
4. Вериго, М. Ф. Анализ методов математического моделирования динамических процессов в исследованиях интенсивности развития бокового износа рельсов и гребней колес [Текст] / М. Ф. Вериго // Вестник ВНИИЖТ. – 1997. – № 6. – С. 24-33.
5. Математическое моделирование колебаний рельсовых транспортных средств [Текст] / А. И. Залесский [и др.]; под ред. В. Ф. Ушкалова. – К.: Наук. думка, 1989. – 240 с. – (АН УССР, Ин-т техн. механики).
6. Камаев, А. А. Моделирование воздействия подвижного состава на путь [Текст] / А. А. Камаев. – Брянск: БИТМ, 1988. – 80 с.
7. Кондрашев, В. М. Единые принципы исследования динамики железнодорожных экипажей в теории и эксперименте [Текст] / В. М. Кондрашев. – М.: Интекст, 2001. – 190 с.
8. Радченко, Н. А. Криволинейное движение рельсовых транспортных средств [Текст] / Н. А. Радченко. – К.: Наук. думка, 1988. – 216 с.
9. Калей, С. Улучшение взаимодействия подвижного состава и пути [Текст] / С. Калей, Дж. Сэмюэлс // Железные дороги мира. – 2003. – № 2. – С. 13-16.
10. Руководящий документ. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов: РД 32.68-96 [Текст]. – М.: ВНИИЖТ, 1996. – 17 с.
11. Мямлин, С. В. Моделирование динамики рельсовых экипажей [Текст] / С. В. Мямлин. – Д.: Новая идеология, 2002. – 240 с.
12. Свідомство про реєстрацію авторського права на твір № 7305. Комп'ютерна програма «Dynamics of Rail Vehicles» (DYNRAIL) [Текст] / С. В. Мямлін; зареєстр. 20.03.2003.
13. Колеса цельнокатанные. Конструкция и размеры: ГОСТ 9036-76 [Текст]. – [Действующий от 1976-01-01]. – М.: Гос. комитет СССР по стандартам, 1976. – 9 с.

Надійшла до редколегії 04.11.2010.

Прийнята до друку 12.11.2010.