



УДК 629.463.001.63

ВИЗНАЧЕННЯ КОЕФІЦІЄНТУ ЗАПАСУ СТІЙКОСТІ ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД ЕКСПЛУАТАЦІЙНИХ ЗМІН ТАРИ

Фомін О.В., докт. техн. наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Прокопенко П.М., аспірант Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Обуховський В.В., канд. іст. наук, доцент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Швець А.О., провідний інженер, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро

В даній статті описана методика процесу проведення ходових динамічних випробувань вагона-платформи моделі 13-401-17. Практичне визначення коефіцієнту запасу стійкості



колеса зі сходу з рейок вагона дозволить визначити безпечну швидкість руху вагона-платформи. Проведені теоретичні та практичні дослідження з визначенням та оцінкою показників динамічних та ходових якостей вагона-платформи що в свою чергу дозволить визначити безпечну швидкість руху вагона-платформи в порожньому стані

Ключові слова: вагон-платформа моделі 13-401-17, ходові динамічні випробування, швидкість, коефіцієнт запасу стійкості.

DETERMINATION OF THE QUALITY OF WAX-PLATFORM STABILITY SPARE IN CONNECTION WITH OPERATIONAL CHANGES OF TARIUS

O. Fomin, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, P. Prokopenko, graduate student, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, V. Obuhovskij, Candidate of History Sciences, Associate professor, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, A. Shvets, Senior Engineer, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro

This paper describes the methodology for running dynamic tests of a car-platform model 13-401-17. The practical definition of the coefficient of stability of the wheel from the east of the rails of the car will determine the safe speed of the car-platform movement. The theoretical and practical researches with the definition and estimation of indicators of dynamic and running qualities of a platform car have been carried out, which in turn will allow to determine the safe speed of the car-platform movement in idle state

Key words: car-platform model 13-401-17, running dynamic tests, speed, coefficient of stability reserve.

Вступ

За результатами проведених випробувань встановлено, що більшість ходових динамічних показників платформи: коефіцієнти вертикальної і горизонтальної динаміки, відношення бокової сили до статичного навантаження на вісь, значення вертикального і горизонтального прискорень, коефіцієнт стійкості від бокового перекидання задовільняють вимоги. Винятком є показник коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок вагона-платформи у порожньому режимі на прямих і кривих відрізках залізничної колії у діапазоні експлуатаційних швидкостей, який не відповідає вимогам нормативної документації.

Для вирішення питання з визначення безпечної швидкості руху вагона-платформи моделі 13-4012-45 проведено ходові динамічні випробування з визначенням коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок в порожньому стані.

Аналіз літературних даних

Сучасні дослідження, присвячені питанням зниження вартості вантажних вагонів, в основному спрямовані на поліпшення їх конструкцій за рахунок вдосконалення процедур їх проектування або впровадження нових матеріалів. Зокрема, стаття [4] присвячена висвітленню запропонованих інновацій для конструкцій піввагонів «залізничного простору

1520 мм» і особливостей їх проектування, однак в ній обмежено представлені можливості застосування таких інновацій для піввагонів-хоперів. Автори роботи [5] відображають певні ними перспективні напрямки конструювання кузовів залізничних напіввагонів з метою поліпшення техніко-економічних показників, але не розкривають економічного потенціалу ділового використання спеціального дорогого вагонного прокату немірної довжини. У роботах [8, 9] представлені нові підходи до вдосконалення динамічних розрахунків вагонних конструкцій і отримані на їх основі більш точні результати. Так, в роботі [8] описані характерні риси та результати динамічних характеристик вагонів-платформ. А робота [9] присвячена представленню запропонованих методів визначення динамічних характеристик для різних виконань несучих вагонних конструкцій. Ряд сучасних публікацій присвячені конструкціям вантажного вагонобудування нового покоління, які спроектовані з використанням передових матеріалів та технологій. Наприклад, в [5] автори відображають результати комп'ютерного моделювання прототипу вантажного вагона з основними несучими елементами, виконаними без надлишкових зв'язків. Однак представлені в роботах [5, 8, 9] підходи орієнтовані на використання цілісних профілів і не дозволяють з достатньою точністю розрахувати впровадження зістикованих варіантів виконання балок в різних вузлах вантажних вагонів. В роботі [6] представлені особливості запропонованих авторами інновацій в модулі ходової частини, також відображено їх вплив на модуль кузова але без урахування варіації його виконань. У статті [7] опубліковані результати робіт з генерування перспективних конфігурацій профілів, які можуть бути використані у виробництві різних видів рухомого складу. Але автори не пропонують даних про можливості створення перспективних профілів в зістикованих по довжині виконаннях. Робота [10] висвітлює запропоновані методи аналізу залізничних конструкцій майбутнього і способи розширення їх функціональності, проте в ній, так само як і в статті [5], відсутні дані про підвищення ділової функціональності немірних спеціальних профілів. Також важливу роль в сучасному вагонобудуванні грають відповідні підходи в проектуванні, наприклад в статті [11] представлений розроблений методологічний апарат для прийняття оптимальних рішень. Але він так само не надає вичерпних можливостей щодо формування оптимальних по довжині і конфігурації зчленованих балок.

З урахуванням вищесказаного можна зробити висновок, що результати аналізу інформаційних джерел з досліджуваного питання свідчать про відсутність достатніх методичних і практичних матеріалів про визначення коефіцієнту стійкості колеса від сходу з рейок.

Постановка проблеми. Необхідно сформулювати необхідність проведення даних ходових динамічних випробувань.

Проведені теоретичні та практичні дослідження з визначенням та оцінкою показників динамічних та ходових якостей вагона-платформи моделі 13-401-17, визначення коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейок, що в свою чергу дозволить визначити безпечну швидкість руху вагона-платформи в порожньому стані.

Мета роботи і задачі дослідження

Метою ходових динамічних випробувань є визначення та оцінка показників ходових динамічних якостей вагона-платформи моделі 13-401-17 при русі з різними швидкостями по характерних ділянках залізничної колії, а також визначення умов експлуатації на залізницях колії 1520 мм.

Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- вибір дослідного зразка та аналіз його технічного стану;
- проведення випробувань скидання з клинів із визначенням оцінки власних частот коливань та динамічних напружень в елементах несучої конструкції;
- проведення ходових динамічних випробувань з визначенням показників динамічних якостей вагона при його русі на залізничній колії з різними експлуатаційними швидкостями аж до конструкційної (120 км/год).

Відбір та ідентифікація дослідного зразка

Об'єктом випробувань є вагон-платформа моделі 13-401-17 в порожньому стані, виготовлений у відповідності до вимог нормативної технічної документації. (Рис. 1).

Ідентифікація вагону виконується за нормативною документацією, зовнішнім видом, конструкцією (складом), комплектністю й маркуванням перед початком випробувань. Відібраний вагон повинен бути ідентифікований за такими ознаками:

- найменування об'єкта;
- заводський номер;
- підприємство виготовлювач;
- дата виготовлення;
- дата, вид та підприємство, яке виконувало останній плановий ремонт.

При проведенні технічного діагностування особу увагу привертають несучим елементам конструкції, а саме хребтовій та шворневій балкам та повній комплектності вагона.

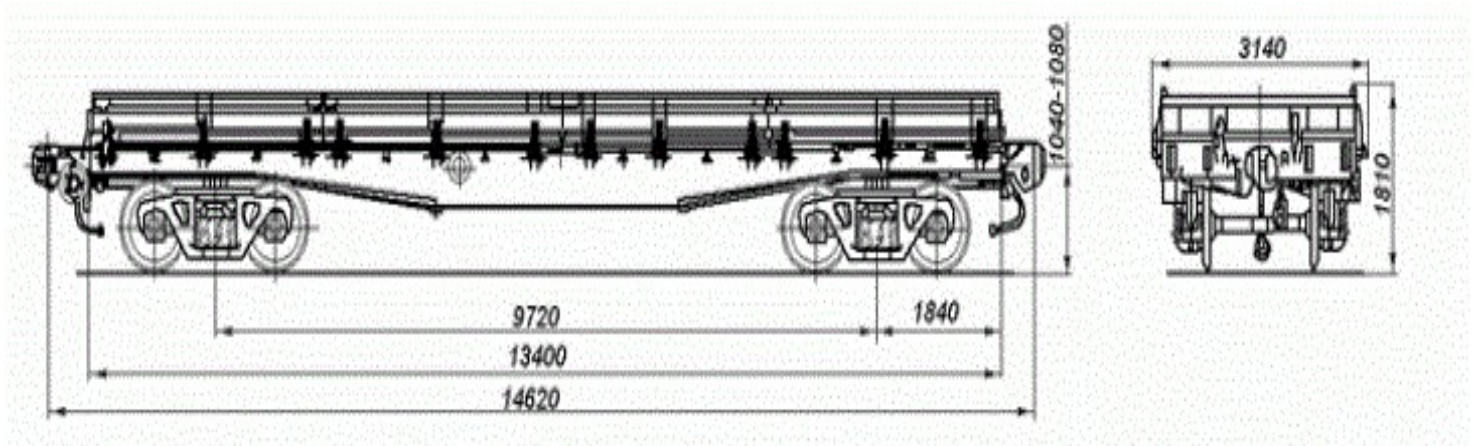


Рисунок 1 – Вагон-платформа моделі 13-401-17

Характеристики що визначаються під час випробувань

В процесі скидання платформи з клинів визначаються величини частот коливань і напружень в окремих елементах платформи в залежності від кількості використання клинів і місць їх розташування під відповідними колесами візків.

У процесі ходових динамічних випробувань «ВП» вимірюються, аналізуються і оцінюються наступні величини і показники:

- динамічні і статичні прогини ресорного підвішування візка;
- вертикальні і горизонтальні (поперечні) прискорення обресорних мас вагону в зоні підп'ятника вагона;
- коефіцієнти вертикальної динаміки по надресорній балці і бічним рамам візка;
- динамічні бічні (рамні) сили, що діють на букси колісних пар;
- коефіцієнт стійкості колеса від сходу з рейок;
- швидкості руху.

Місця встановлення тензодатчиків при випробуваннях скидання з клинів та ходових динамічних випробуваннях

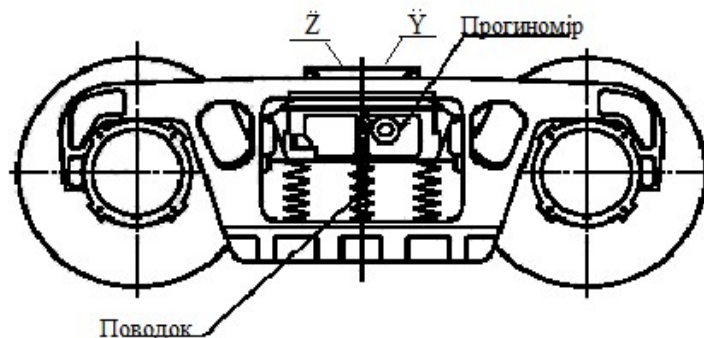


Рис. 2 – Установка прогиноміра та акселерометрів для вимірювання вертикальних прогинів ресорного підвішування і прискорень обресорених частин візка вагона

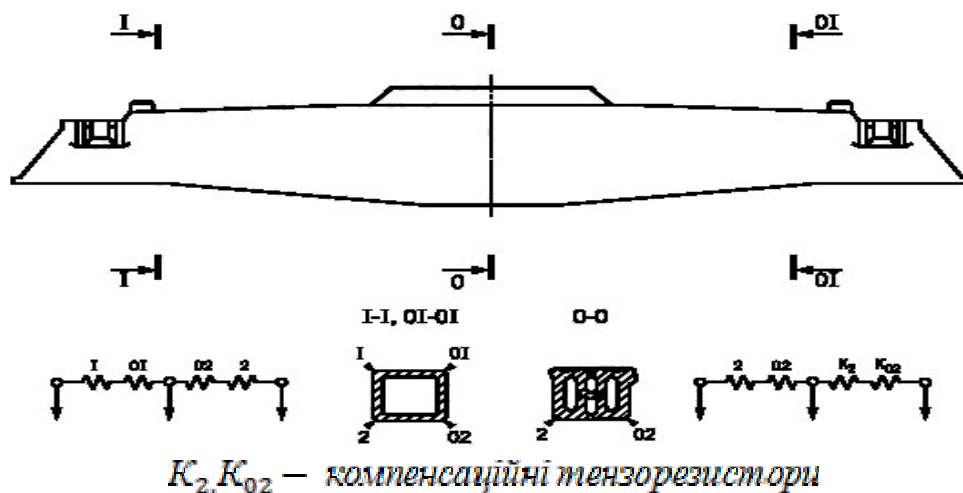


Рис 3 – Схема установки і з'єднання тензорезисторів для визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки в перетинах надресорної балки візка вантажного вагона

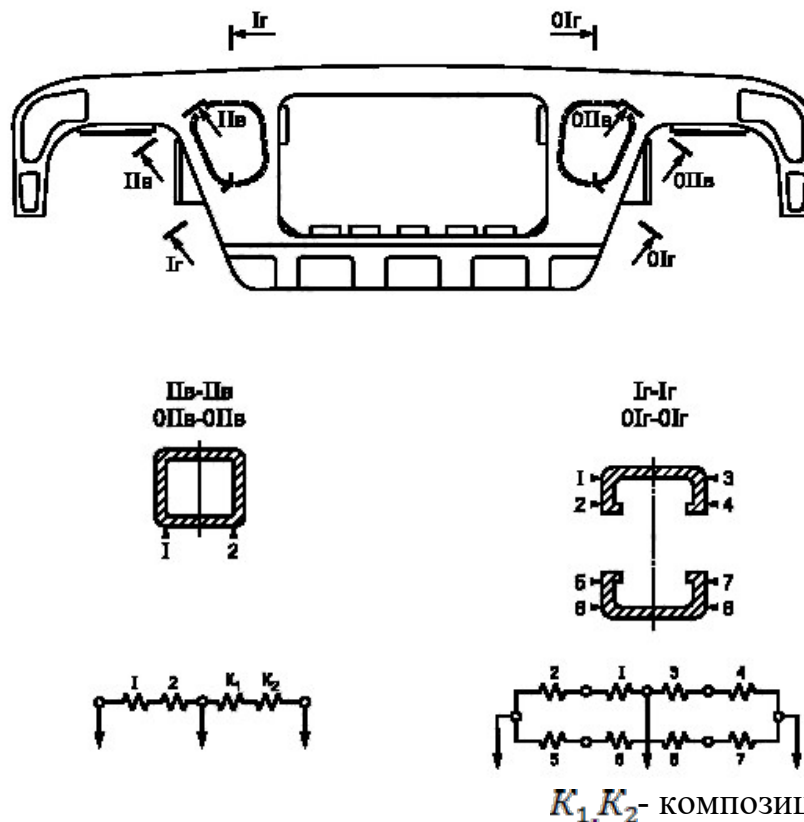


Рис. 4 – Схема установки і з'єднання тензорезисторів для вимірювання горизонтальних (рамних) сил (перетину з індексом «Г») і вертикальних сил (перетину з індексом «В») на рамі візка вантажного вагона.

Дослідне визначення коефіцієнта запасу стійкості колеса від схода вагону з рейок

Ходові динамічні випробування проводять методом реєстрації процесів у контрольних точках деталей візка під час дослідних поїздок у діапазоні експлуатаційних швидкостей, якщо це не загрожує безпеці руху. За результатами вимірювань виконують розрахунки, оцінюють ходові динамічні якості.

Реєстрацію динамічних процесів вагона здійснюють шляхом запису величин експериментальних даних на жорсткий диск комп'ютера з використанням програмно-апаратних засобів збору інформації.

Необхідний обсяг експериментальних поїздок і вимірювань визначається нормативною документацією з урахуванням конкретних завдань, ступеня новизни конструкції і висунутих до неї вимог. У загальному випадку необхідний масив експериментальної інформації по досліджуваним величинам при ходових динамічних випробуваннях утворюється шляхом послідовного набору записів (реалізацій) процесів при різних швидкостях і режимах руху дослідного поїзда як на характерних заздалегідь обраних, так і на випадкових відрізках залізничної колії загальною протяжністю не менше 50 км..

Реєстрація вимірюваних процесів ходових динамічних випробувань проводиться на прямих і кривих ділянках колії і стрілочних переводах у всьому проектному діапазоні допустимих експлуатаційних швидкостей аж до конструкційної швидкості (120 км/год).

Сумарна тривалість записів (реалізацій) досліджуваних процесів в кожному інтервалі (10 ... 15 км / год) швидкостей руху на різних відрізках колії повинна бути не менше 300 с при реєстрації процесів за допомогою магнітографів.



Загальний обсяг тривалості вимірювань основних процесів у всьому діапазоні швидкостей повинен бути не менше 50 хв.

Під час руху в кривих і стрілочних переводах потрібно дотримуватися установлених правил технічної експлуатації і нормативних указівок щодо швидкостей руху. При цьому рекомендовано починати випробування з малих швидкостей 8,33 м/с - 11,1 м/с (30-40) км/год, із подальшим збільшенням швидкості руху через кожні 2,78 м/с (10 км/год). Масив експериментальної інформації по досліджуваним величинам створюється шляхом послідовного набору обсягу записів (реалізацій) процесів при різних швидкостях і режимах руху дослідного поїзда як на характерних, попередньо вибраних (намічених), так і на випадкових (що довільно чергуються) відрізках залізничної колії.

Ходові динамічні випробування можуть проводитися, як порівняльні, з використанням вагона-еталона, в якості якого використовується технічно справний вагон який добре вивчений і перевірений в експлуатації.

Обробка та розрахунок коефіцієнту запасу стійкості колеса від сходу з рейки

Обробка даних при статичних навантаженнях виконується з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних. Величину напружень при статичних випробуваннях визначають за різницею показань засобів вимірювальної техніки до завантаження об'єкту випробувань та після нього:

$$\sigma_{\text{стат}} = (\Delta - \Delta_0) \cdot K \quad (1)$$

де: Δ - показання засобів вимірювальної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань;

Δ_0 - показання засобів вимірювальної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань;

K - калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, що визначається за формулою (6.1):

$$K = \frac{R_{\delta}}{R_{\text{ш}} A_{\text{ш}}} \quad (2)$$

де: R_{δ} - опір тензорезистора, Ом;

$R_{\text{ш}}$ - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{\text{ш}}$ - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

9.2. Напруження a МПа, в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначаються за формулою (2):

$$\sigma = a \cdot \frac{R_{\delta}}{R_{\text{ш}} A_{\text{ш}}} \cdot \frac{E}{K_{\text{ш}}} \quad (3)$$

де: a - амплітуда (відхилення) процесу, В;

R_{δ} - опір тензорезистора, Ом;

$R_{\text{ш}}$ - опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{\text{ш}}$ - амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В.

E - модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

$K_{\text{ш}}$ - коефіцієнт чутливості тензорезистора.

9.3. Результати ходових динамічних випробувань визначають на підставі даних (вимірювань, розрахунків, контролю, візуального огляду) зафіксованих на магнітних



носіях і в журналі випробувань.

Попередній перегляд і обробку даних, отриманих під час проведення ходових динамічних випробувань, проводять з використанням ПЕОМ, як у реальному режимі часу, так і після проведення випробувань з використанням стандартного програмного математичного забезпечення статистичної обробки динамічних процесів.

За даними зареєстрованих процесів обчислюють такі показники:

- коефіцієнти вертикальної динаміки обресорених та не обресорених мас візка вагона;
- коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки;
- рамні сили в долях осьового навантаження P_o ;
- прискорення обресорених частин вагону.

Коефіцієнт вертикальної динаміки обчислюють як відношення динамічних сил до статичного навантаження на колісну пару.

Стійкість колеса від сходу колеса з рейки визначають для найбільш небезпечних випадків поєднання великої поперечної сили взаємодії колеса, що набігає, з рейкою та малим вертикальним навантаженням на це колесо. При одночасній, протягом деякого часу, дії такого поєднання екстремальних сил можливе вкочування гребеня колеса, що набігає, на головку рейки і подальший схід вагона з рейки.

Обробка даних ходових динамічних випробувань вагонів передбачає

розшифровку, ідентифікацію та систематизацію параметрів зареєстрованих динамічних процесів. При обробці враховуються показники якості ходу вагона - до 20 Гц. Частота квантування при обробці дослідних даних на ЕОМ повинна бути не менше 100 Гц.

Для оцінки ходових якостей за величинами виміряних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених $K_{до}$ і необресорених $K_{доп}$ мас вагона, бічні (рамні) сили, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок $K_{ус}$.

Максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки і рамних сил визначаються з довірчою ймовірністю 0,97 (за амплітудним значенням) і 0,997 (по миттєвим значенням), а мінімальні значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок, з довірчою ймовірністю не більше 0,0001. За величину бокового (рамного) зусилля H_p приймається сума рамних зусиль, що діють в один і той самий момент часу, на раму від кожної букси однієї колісної пари.

Методика розрахунку коефіцієнта запасу стійкості вагона проти сходу з рейок при вповзанні гребеня колеса на рейку під дією динамічних зусиль, що виникають при русі, коефіцієнтів вертикальної динаміки обресорених і необресорених мас вагона наведені нижче. Коефіцієнт вертикальної динаміки K_d в загальному вигляді визначається з наступного виразу:

$$K_{\delta} = \frac{\sigma_{\delta}}{\sigma_{ст}}, \quad (4)$$

де σ_{δ} - динамічне напруження від вертикального навантаження в перерізі даного елемента;

$\sigma_{ст}$ - статичне навантаження від вертикального навантаження у тому ж перерізі.

Коефіцієнти вертикальної динаміки визначаються для обрессорених ($K_{до}$) і необрессорних ($K_{до}$) мас візки.

Коефіцієнт запасу стійкості колеса від сходу з рейки K_{yc} визначають розрахунковим шляхом за інтегральним коефіцієнтом, обчисленим для діапазону експлуатаційних швидкостей при імовірності 0,001, за формулою (5; 6):

Оцінка стійкості колеса проти сходу з рейки проводиться формулою [5; 6],

$$K_{yc} = \varepsilon \frac{P_{\varepsilon}}{P_{\beta}} \geq [K_{yc}], \quad (5)$$

$$\varepsilon = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta}, \quad (6)$$

де β - Кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі;

$\beta = 60^\circ$;

μ - коефіцієнт тертя, $\mu = 0,25$;

P_{β} - вертикальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки;

P_{ε} - горизонтальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки, що діє одночасно з P_{β} ;

$[K_{yc}]$ - допустиме значення коефіцієнта запасу стійкості.

При використанні візків моделі 18-100 формула (7) має вигляд .;

$$K_{yc} = \frac{tg\beta - \mu}{1 + \mu tg\beta} \cdot \frac{Q_{ш}(1,03 - 1,17K_{\delta}^{HH} + K_{\delta}^{HH}) + 0,515q_{KH} + 0,305H_p}{Q_{ш}(0,242 + 0,042K_{\delta}^{HH} - 0,285K_{\delta}^{HH}) + 0,121q_{KH} + 0,92H_p}, \quad (7)$$

де $Q_{ш}$ - сила тяжіння надресорних частин вагона, діюча на шийку осі колісної пари, кН, визначається, за формулою:

$$Q_{ш} = \frac{Q - nq_{KH}}{2n_0}, \quad (8)$$

Q - сила ваги вагона, кН,

q_{KH} - сила тяжіння необрессорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

n_0 - число осей вагона;

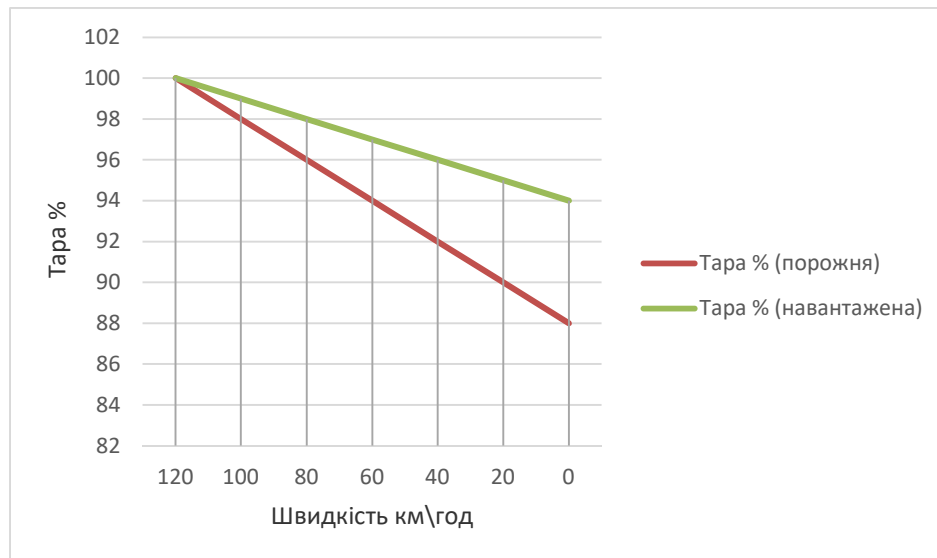
K_{δ}^{HH} - коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесу;

K_{δ}^{HH} - коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесу;

H_p - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення H_r приймають позитивними в разі направлення її в сторону набігання колеса, а K_{δ}^H і K_{δ}^{HH} - в разі розвантаження коліс.

Графік 1 – Залежність швидкості від зміни тари



Номінальна тара (проектна) – закладена при проектуванні та зазначена в ТУ на вагон. Матеріали даної публікації отримано при виконання проекту ДФФД.

Висновки. В ході проведення теоретичних та експериментальних досліджень з визначення показника коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок вагона-платформи у порожньому режимі на прямих і кривих відрізках залізничної колії у діапазоні експлуатаційних швидкостей було встановлено що він змінюється в негативну сторону в залежності від зменшення тари від нормативної, залежність наведена на графіку. Таким чином отримані результати дозволять оцінити вплив зменшення тари на стійкість вагона від перекидання.

ЛІТЕРАТУРА

13. Макаренко, М. В. Комплексний аналіз економічного ефекту від життєвого циклу сучасного напіввагону [Текст] / М. В. Макаренко // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – К.: ДНДЦ УЗ. – 2014. – №. 5. – С. 107.
14. Фомін О.В. Математичні моделі зміни основних показників базових несучих елементів кузовів напіввагонів / О.В. Фомін, О.А. Логвіненко, Р.Ю. Дьомін, Г.П. Бородай, В.В. Фомін, О.В. Бурлуцький // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – Київ: ДНДЦ УЗ, 2013. – № 5/6(102/103). – С. 95–104.
15. Фомін, О.В. Впровадження круглих труб в несучі системи напіввагонів з забезпеченням раціональних показників міцності [Текст] / О.В. Фомін // Науковий журнал – «Технологический аудит и резервы производства». – Харків, 2015. – № 4/1(24) – С. 83-89.
16. Tadeusz, Niezgoda. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable

loading floor carried out in MSC Adams software / Tadeusz Niezgoda, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz // *Journal of KONES Powertrain and Transport*. – 2012. – Vol. 19, No. 4. – P. 495 – 502.

17. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоемності [Текст] / В.І. Мороз // *Зб. наук. праць*. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.

18. Динамика грузовых вагонов с учетом поперечного смещения тележек / Н. И. Луханин, С. В. Мямлин, Л. А. Недужая, А. А. Швець // *Зб. наук. праць Донецького інституту заліз. тр-ту*. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 234–241.

19. Фомін, О.В. Поліпшення несучої здатності вагона-хопера для перевезення зерна з метою підвищення опору динамічним зусиллям / Фомін О.В., Прокопенко П.М., Горбунов М.І. Сапронова С.Ю.// *Науковий журнал – Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля*. – Сєверодонецьк: СХУ ім. В.Даля, 2017. – № 5(235) – С. 88-99;

20. Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource / Okorokov A., Fomin O., Lovska A., Vernigora R., Zhuravel I., Fomin V. // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3, Issue 7 (93). P. 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>

21. Lovska A. O. Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2015. Vol. 3, Issue 7 (75). P. 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>

22. Швець, А. О. Вплив поздовжнього та поперечного зміщення центру ваги вантажу в піввагонах на їх динамічні показники / А. О. Швець // *Наука та прогрес транспорту*. – 2018. – № 5(77). – С. 115–128. doi: 10.15802/stp2018/146432

23. Фомін, О.В. Модернізація елементів стіни бокової універсальних напіввагонів вітчизняного виробництва [Текст]/ О.В. Фомін // *Зб. наук. праць*. – Донецьк: ДонІЗТ, 2011. – Вип.№.26.- С.111-115.

24. The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties / Fomin O. V., Lovska A. O., Plakhtii O. A., Nerubatskyi V. P. // *Scientific Bulletin of National Mining University*. 2017. Issue 6. P. 89–96.

REFERENCES

1. Makarenko, M. V. (2014) *Kompleksnyi analiz ekonomichnoho efektu vid zhyttievoho tsyклу suchasnoho napivvahonu* [Comprehensive analysis of the economic impact of the life cycle of a modern gondola]. *Naukovo-praktychnyi zhurnal «Zaliznychnyi transport Ukrainy»* - Scientific and Practical Journal "Railway Transport of Ukraine", Vol 5, 107 [in Ukrainian].

2. Fomin O.V. *Matematicheskiye modeli osnovopolagayushchikh pokazaniy bazovykh nesushchikh elementov kuzova* / O.V. Fomin, O.A. Logvinenko, R.YU. D'omin, G.P. Boroday, V.V. Fomin, O.V. Burluts'kiy // *Naukovo-prakticheskiy zhurnal «Zaliznichnyi transport Ukraїni»*. - Kiїв: DNDTS UZ, 2013. - № 5/6 (102/103). - S. 95-104.

3. Fomin, O. V. (2015) *Vprovadzhennya kruglih trub v nesuchI sistemi napIvvagonIv z zabezpechenniam ratsIonalnih pokaznikIv mItsnostI* [Introduction of round pipes in the carrier systems of gondolas with the provision of rational indicators of strength]. *Naukoviy zhurnal – «Tehnologicheskiiy audit i rezervyi proizvodstva»* – Science magazine - "Technological audit and production reserves", Vol. 4/1(21), 83-89 [in Ukrainian].

4. Tadeusz Niezgoda, Wieslaw Krason, Michal Stankiewicz. (2012). Tadeusz, Niezgoda. Simulations of motion of prototype railway wagon with rotatable loading floor carried out in MSC Adams software. *Journal of KONES Powertrain and Transport*, 19 (4), 495–502.
5. Moroz, V.I. (2009) *Matematychnyy zapys zadachi optymizatsiynoho proektuvannya piv-vahoniv za kryteriyem minimal'noyi materialoyemnosti* [Mathematical notation of problem of optimizing design of open goods wagons by criterion of the minimum material capacity]. *Zbirnyk naukovykh prats - Collection of scientific papers*, Vol. 111, 121-131 [in Ukrainian].
6. Lukhanin N. I., Myamlin S. V., Neduzhaya L. A., Shvets A. A. *Dinamikagruzovykhvagonov s uchetompoperechnogosmeshcheniyatelezhek* [Freight cars dynamics, taking into account transversal displacement of the bogies]. *Zbirnyknaukovykh prats Donetskohoinstytutuzaliznychnohotransportu* [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2012, issue 29, pp. 234-241. (in Russian)
7. Fomin O.V., Prokopenko P.M., Horbunov M.I. Sapronova S.YU. (2017). *Polipshennya nesuchoyi zdatnosti vahona-khopera dlya perevezennya zerna z metoyu pidvyshchennya oporu dynamichnym zusyllyam* // *Naukovyy zhurnal – Visnyk Skhidnoukrayins'koho natsional'noho universytetu imeni Volodymyra Dalya. – Syeverodonets'k: SNU im. V.Dalya, – № 5(235) – S. 88-99*
8. Okorokov, A., Fomin, O., Lovska, A., Vernigora, R., Zhuravel, I., Fomin, V. (2018). Research into a possibility to prolong the time of operation of universal open top wagon bodies that have exhausted their standard resource. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (93)), 20–26. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.131309>
9. Lovska, A. O. (2015). Computer simulation of wagon body bearing structure dynamics during transportation by train ferry. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 3 (7 (75)), 9–14. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2015.43749>
10. Shvets, A. O. (2018). Influence of the longitudinal and transverse displacement of the center of gravity of the load in gondola cars on their dynamic indicators. *Science and Transport Progress*, 5(77), 115-128. doi: 10.15802/stp2018/146432 (in Ukrainian)
11. Fomin, O.V. (2011) *Modernization of elements wall lateral of universal freight gondola domestic production*// *Scientific-and-technical (Sci.-Tech.) collected works – Donetsk: DonIZT., – Vol. No. 26.- pp.111-115* [in Ukrainian]
12. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Plakhtii, O. A., Nerubatskyi, V. P. (2017). The influence of implementation of circular pipes in load-bearing structures of bodies of freight cars on their physico-mechanical properties. *Scientific Bulletin of National Mining University*, 6, 89–96.
