



УДК 629.463.001.63

## МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ХОДОВИХ ДИНАМІЧНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЛЕГКОВАГОВОГО ВАНТАЖНОГО ВАГОНА В УМОВАХ ЕКСПЛУАТАЦІЇ

*Фомін О.В., докт. техн. наук, професор, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Прокопенко П.М., аспірант Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, Швець А.О., провідний інженер, Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, м. Дніпро, Крисенко Н.М., студент, Державний університет інфраструктури та технологій, м. Київ, С.С. Сова, аспірант, Східноукраїнський національний університет імені Володимира Даля, м. Сєвєродонецьк*

*В даній статті описана методика процесу проведення ходових динамічних випробувань легковагового вантажного вагона на прикладі вагона-платформи моделі 13-401-17. Практичне визначення показників якості руху вагона дозволить визначити безпечну швидкість руху вагона-платформи.*

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

## METHOD OF CONDUCTING DRIVING DYNAMIC TESTS OF A LIGHTWEIGHT WAGON IN OPERATING CONDITIONS

*O. Fomin, Doctor of Technical Sciences, Professor, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, P. Prokopenko, graduate student, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, A. Shvets, Senior Engineer, Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Dnipro, Krisenko N.M., students, State University of Infrastructure and Technologies, Kyiv, Sova S., Graduate student, East Ukrainian Volodymyr Dahl National University, Sievierodonetsk*

*This article describes the process of running dynamic tests of a lightweight wagon on the example of a flate wagon model 13-401-17. Practical determination of the quality of wagon movement will allow to determine the safe speed of the flate wagon.*

*Keywords: flate wagon model 13-401-17, running dynamic tests, speed, stability factor.*

**Актуальність та постановка проблеми.** Виконавши аналіз результатів проведених випробувань фахівцями НВЦ філії «НДКТІ» АТ «Укрзалізниця» встановлено, що більшість ходових динамічних показників вантажних вагонів: 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 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 13-401-17 є необхідність проведення ходових динамічних випробувань з визначенням коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок в порожньому стані.

Необхідно сформувати 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.

**Метою роботи є** визначення та оцінка показників ходових динамічних якостей на прикладі 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.

**Задачі дослідження.** Для досягнення поставленої мети було визначено та вирішено наступні задачі:

- аналіз та вивчення результатів проведених випробувань;
- розробка методики проведення випробувань скидання з клинів із визначенням оцінки власних частот коливань та динамічних напружень в елементах несучої конструкції;
- розробка методики проведення ходових динамічних випробувань з визначенням показників динамічних якостей вагона при його русі на залізничній колії з різними експлуатаційними швидкостями.

**Аналіз літературних даних та визначення сучасного стану проблеми.** 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 показників якості руху легковагових вантажних вагонів.

**Викладення основного матеріалу.** Об'єктом досліджень є вагон-платформа моделі 13-401-17 в порожньому стані, виготовлений у відповідності до вимог нормативної технічної документації (рисунок 1).

Перед початком випробувань виконується ідентифікація вагону 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 хребтовий та шворневий балкам та повній комплектності вагона.

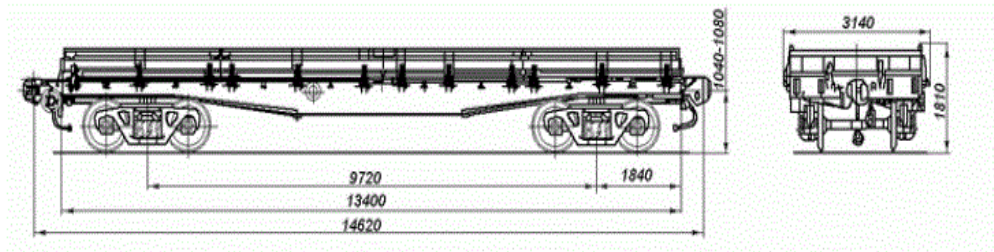


Рисунок 1 – Вагон-платформа моделі 13-401-17

Таблиця 1 – Технічні характеристики дослідного зразка

| Характеристика                                             | 13-401-17<br>ОАО «Днепровагонмаш»<br>(контейнерная) |
|------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------|
| Вантажопідйомність, т                                      | 66,0                                                |
| Маса тари вагона (min / max), т                            | 19,3/20,5                                           |
| Навантаження осьове, кН (тс)                               | 210 (21,50)                                         |
| Швидкість конструкційна, км / год                          | 120                                                 |
| Габарит                                                    | 0-ВМ (01-Т)                                         |
| База вагона, мм                                            | 9720                                                |
| Довжина по осях зчеплення автозцепки, мм:                  | 14620                                               |
| Висота від рівня верху головок рейок до рівня підлоги, мм: | 1310                                                |
| Кількість осей, шт.                                        | 4                                                   |
| Модель 2-вісного візка                                     | 18-100                                              |
| Наявність перехідного майданчика                           | ні                                                  |
| Наявність стоянкового гальма                               | так                                                 |
| Довжина кузова всередині                                   | 13300                                               |
| Довжина по торцях рами                                     | 13400                                               |
| Рік постановки на серійне виробництво                      | 1964                                                |

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 вагона-платформи 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.

При випробуваннях скидання з клинів визначається частота і напруження.

Оцінка власних частот коливань здійснюється за результатами випробувань «скидання з клинів». Відповідно до розробленої схеми контрольних точок проводиться установка тензорезисторів на надресорній балці та рамі вагона. Під колеса вагона-платформи в залежності від досліджуваних частот власних коливань встановлюються клини, а потім проводиться скидання вагона шляхом його накату на клин.

Завантажений вагон-платформа, накочується за допомогою локомотива на клини.

Клини встановлюються по черзі (таблиця 2):

- під колеса одного боку (імітація бічної хитамиці);
- під колеса одного боку одного візка й іншого боку другого візка (імітація скручування);
- під всі колеса візка (імітація галопування);
- під всі колеса вагона (імітація підскакування);

Таблиця 2 – Схема установки клинів під колеса вагона

|  | д коливань            | мер колісної пари |   |   |   |
|--|-----------------------|-------------------|---|---|---|
|  |                       |                   |   |   |   |
|  | Підскакування         | ■                 | ■ | ■ | ■ |
|  | Скручування<br>кузова | ■                 | ■ | ■ | ■ |
|  | Галопування           | ■                 | ■ | ■ | ■ |
|  | Бокова хитамиця       | ■                 | ■ | ■ | ■ |

В залежності від кількості використаних клинів і місця їх розташування під відповідними колесами вагонів визначають види коливання при проході і скиданні вагонів з клинів.

Вибір точок для визначення частот коливань та динамічних напружень при випробуваннях по скиданню з клинів виконується на підставі аналізу результату розрахунку напружено-деформованого стану несучої конструкції вагона.

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

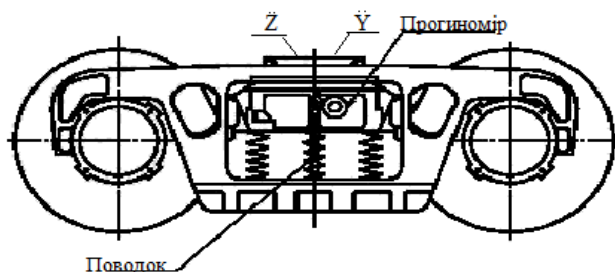


Рисунок 2 – Установка прогиноміра та акселерометрів для вимірювання вертикальних прогинів ресорного підвішування і прискорень обресорених частин візка вагона

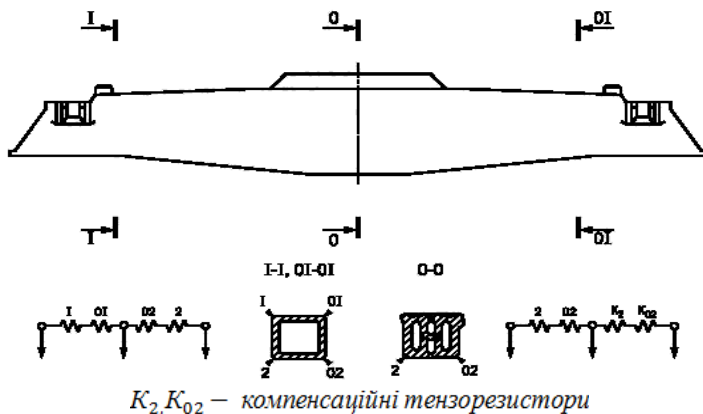
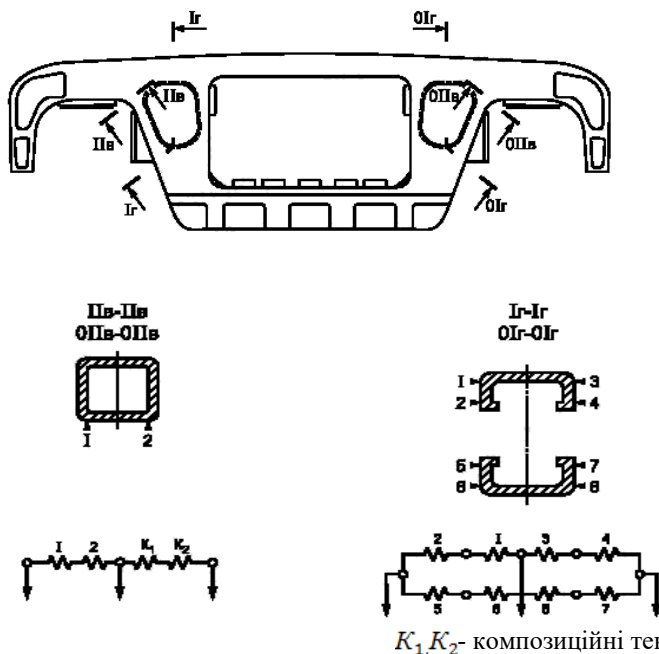


Рисунок 4 – Схема установки і з'єднання тензорезисторів для визначення коефіцієнтів вертикальної динаміки в перетинах надресорної балки візка вантажного вагона



$K_1, K_2$ - композиційні тензорезистори

Рисунок 5 – 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.

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 озрахунок 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:

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

де:  $\Delta$  - показання засобів вимірювальної техніки у завантаженому стані об'єкта випробувань:

$\Delta_0$  - показання засобів вимірювальної техніки у порожньому стані об'єкта випробувань:

$K$  - калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, що визначається за формулою (2):

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

де:  $R_{\partial}$  - опір тензорезистора, Ом;

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

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

Напруження  $a$  МПа, в елементах конструкції у місцях установки тензорезисторів визначаються за формулою (3):



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

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

$R_{\delta}$  - опір тензорезистора, Ом;

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

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

$E$  - модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

$K_{ш}$  - коефіцієнт чутливості тензорезистора.

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  $P_0$ ;
- прискорення обресорених частин вагону.

Зареєстровані на магнітному носії динамічні процеси випробувань вагона обробляють програмою обчислення миттєвих значень амплітуд процесу. Записи реалізацій проводять в обох напрямках руху поїзда у кожному діапазоні швидкостей. Частоту дискретизації записів динамічних процесів вибирають не менше ніж 128 Гц, що дозволяє визначати показники у потрібному частотному діапазоні. По кожній реалізації обчислюють величини процесів і їхні максимальні значення при імовірності, що відповідає нормативним значенням. Остаточні величини показників у кожному діапазоні швидкостей отримують шляхом вибору середнього значення по окремих реалізаціях. У підсумку визначають одну величину показника у межах кожного діапазону швидкостей з інтервалом 10 км/год, починаючи зі швидкості 30-40 км/год. За цими показниками наводять основні висновки про ходові динамічні якості дослідного вагона.

За результатами обробки для кожного діапазону швидкостей отримують максимальні величини коефіцієнтів динаміки з довірчою імовірністю 0,999, а мінімальні величини коефіцієнтів запасу стійкості колеса від сходу колеса з рейки - з ймовірністю 0,001.

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.

Дослідні дані групуються за діапазонами швидкостей руху (10..20 км / год), характерних особливостей ділянок колії (пряма, крива, стрілки і ін.).

При аналізі записів процесів встановлюються характерні види коливань, визначаються їх частоти, оцінюються залежність характеру і інтенсивності коливань від умов руху. У зв'язку з ймовірнісною природою показників динамічної навантаженості ходових якостей вагонів (в тому числі під впливом особливостей технічного стану ходових частин і транспортної структури) застосовується відповідний апарат теорії ймовірностей.

Для оцінки ходових якостей за величинами вимірюваних динамічних показників вагона, з використанням співвідношень з урахуванням тарувальних даних визначаються ймовірні максимальні значення коефіцієнтів вертикальної динаміки обрессорених  $K_{\partial o}$  і необрессорених  $K_{\partial n}$  мас вагона, бічні (рамні) сили, значення коефіцієнтів запасу стійкості від сходу з рейок  $K_{yc}$ .

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 обрессорених і необрессорених мас вагона наведені нижче. Коефіцієнт вертикальної динаміки  $K_{\partial}$  в загальному вигляді визначається з наступного виразу:

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

де  $\sigma_{\partial}$  - 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 ( $K_{\partial o}$ ) і необрессорених ( $K_{\partial n}$ ) мас візків.

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

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

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



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

де  $\beta$  - Кут нахилу твірної гребеня колеса до горизонтальної осі;

$$\beta = 60^\circ;$$

$\mu$  - коефіцієнт тертя,  $\mu = 0,25$ ;

$P_{\beta}$  - вертикальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки;

$P_{\beta}$  - горизонтальна складова сили реакції набігаючого колеса на головку рейки, що діє одночасно з  $P_{\beta}$ ;

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

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

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

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 необресорених частин, яка припадає на колісну пару, кН;

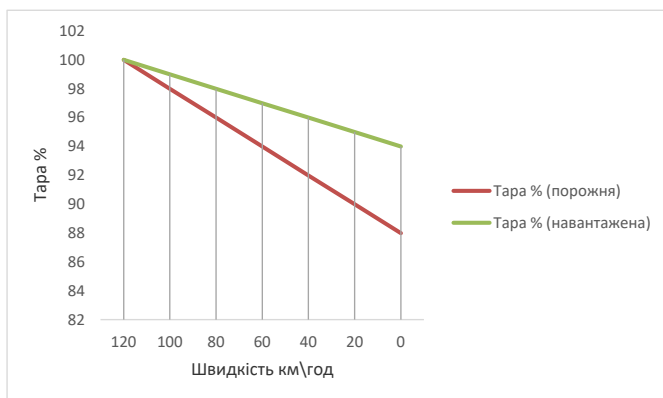
$n_0$  - число осей вагона;

$K_{\delta}^{KH}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на набігаючому колесу;

$K_{\delta}^{KH}$  - коефіцієнт вертикальної динаміки на ненабігаючому колесу;

$H_p$  - горизонтальна бічна рамна сила.

Значення  $H_p$  приймають позитивними в разі направлення її в сторону набігання колеса, а  $K_{\delta}^{KH}$  і  $K_{\delta}^{KH}$  - в разі розвантаження коліс.



Графік 1 – Залежність швидкості від зміни тари



Номінальна тара (проектна) – закладена при проектуванні та зазначена в ТУ на вагон.

**Висновки.** В ході проведення теоретичних та експериментальних досліджень з визначення показника коефіцієнту запасу стійкості колеса зі сходу з рейок легковагового вантажного вагона на прикладі 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 досліджень та розроблені методики проведення випробувань дозволять оцінити вплив зменшення тари на стійкість вагона від перекидання.

### Список використаних джерел

1. 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.
2. 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.
3. Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets / Fomin O., Kulbovsky I., Sorochinska E., Sapronova S., Bambura O. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2017. Vol. 5, Issue 1 (89). P. 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>
4. Фомін, О.В. Варіаційне описання конструктивних виконань вантажних вагонів [Текст] / О.В. Фомін, А.В. Гостра // Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту Міністерства освіти і науки України: Серія «Транспортні системи і технології». – Київ: ДЕТУТ, 2015. – Вип.26-27. – С.137–147.
5. 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.
6. Мороз, В.І. Математичний запис задачі оптимізаційного проектування напіввагонів за критерієм мінімальної матеріалоємності [Текст] / В.І. Мороз // Зб. наук. праць. – Харків: УкрДАЗТ, 2009. – С. 121 – 131.
7. 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](https://doi.org/10.15802/stp2018/146432).
8. Lovska A. The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision [Text] / A. A. Lovska, A. Rybin // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – № 3 – p. 4 – 8.
9. 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.

10. 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>

11. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway [Text] / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovskiy, O. Fomin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791

12. 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. Бурдучий // Науково-практичний журнал «Залізничний транспорт України». – Київ: ДНДЦ УЗ, 2013. – № 5/6(102/103). – С. 95–104.

13. Kondratiev A. Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper [Text] / A. Kondratiev, M. Slivinsky. – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol 6/5 (96). – Pp. 42 – 48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387

14. Sapronova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hachenko, V., Maliuk, S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116194>

## References

1. 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]

2. Lukhanin N. I., Myamlin S. V., Neduzhaya L. A., Shvets A. A. *Dinamika gruzovykh vagonov s uchetom poperechnogo smeshcheniya telezhek [Freight cars dynamics, taking into account transversal displacement of the bogies]. Zbirnyk naukovykh prats Donetskoho instytutu zaliznychnoho transportu [Proc. of the Donetsk Railway Transport Institute], 2012, issue 29, pp. 234-241. (in Russian).*

3. Fomin, O., Kulbovsky, I., Sorochinska, E., Sapronova, S., Bambura, O. (2017). Experimental confirmation of the theory of implementation of the coupled design of center girder of the hopper wagons for iron ore pellets. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 5 (1 (89)), 11–18. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.109588>

4. Fomin, O.V., Gostra, A. V. (2015) *Variacijne opisannja konstruktivnih vikonan' vantazhnih vagoniv [Variations describe the structural designs of freight cars] Proceedings of the State Economic and Technological University of Transport, Ministry of Education and Science of Ukraine series "Transport systems and technologies", Vol. 26-27, 137-147 [in Ukrainian].*

5. Makarenko, M. V. (2014) *Kompleksnyi analiz ekonomichnogo efektu vid zhyttievoho tsykladu suchasnoho napivvagonu [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].

6. 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].

7. 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)

8. Lovska A., Rybin A. (2015). The study of dynamic load on a wagon-platform at a shunting collision. *Eastern-European Journal Of Enterprise Technologies*, 3, 4–8.

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

10. 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>

11. Tkachenko, V. Research of resistance to the motion of vehicles related to the direction by railway [Text] / V. Tkachenko, S. Sapronova, I. Kulbovskiy, O. Fomin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2017. – Vol. 5, Issue 7 (89). – P. 65–72. doi: 10.15587/1729-4061.2017.109791

12. 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-prakticheskyy zhurnal «Zaliznichnyi transport Ukraïni»*. - Kiïv: DNDTS UZ, 2013. - № 5/6 (102/103). - S. 95-104.

13. Kondratiev A. Method for determining the thickness of a binder layer at its non-uniform mass transfer inside the channel of a honeycomb filler made from polymeric paper [Text] / A. Kondratiev, M. Slivinsky. – *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2018. – Vol 6/5 (96). – Pp. 42 – 48. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.150387

14. Sapronova, S., Tkachenko, V., Fomin, O., Hachenko, V., Maliuk, S. (2017). Research on the safety factor against derailment of railway vehicles. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 6 (7 (90)), 19–25. doi: <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2017.116194>

\*\*\*\*\*