

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

УДК 629.488.27:629.4.027.4

С. В. РАКША¹, П. Г. АНОФРІЄВ², О. С. КУРОП'ЯТНИК^{3*}

¹Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта raksha@ukr.net, ORCID 0000-0002-4118-1341

²Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта anofrievp@ukr.net, ORCID 0000-0001-7997-3523

^{3*}Каф. «Прикладна механіка та матеріалознавство», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта kuropatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

ВИЗНАЧЕННЯ ТА АНАЛІЗ ТЕХНІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ СТЕНДА ДЛЯ КОМПЛЕКСНИХ ВИПРОБУВАНЬ ЗАЛІЗНИЧНИХ КОЛІС

Мета. Основною метою роботи є визначення та аналіз технічних параметрів стенда для комплексних випробувань залізничних коліс, у якому передбачено сумістити випробування на втомну та контактну міцність, їх одночасне виконання на одному стенді. **Методика.** Визначення технічних параметрів стенда для проведення комплексних випробувань виконано на основі зіставлення характеристик випробувань на втомну та контактну міцність залізничних коліс. Вимоги до випробувань на втомну міцність та до відповідного обладнання встановлено на основі аналізу чинної нормативної бази та огляду патентів. За базову модель для розробки стенда для комплексних випробувань було взято модель стенда для випробувань на контактну міцність із внесенням необхідних змін з метою забезпечення циклічності прикладання робочого навантаження. Як критерій можливості комплексних випробувань, які передбачають одночасне проведення випробувань залізничних коліс на втомну та контактну міцність, було взято залежність діаметра ролика стенда від параметрів випробовуваного колеса, осевого навантаження колісної пари, до складу якої входить випробовуване колесо, та межі витривалості матеріалу колеса. **Результати.** Аналіз отриманої залежності показав, що діаметр ролика як функція навантаження в зоні контакту пари «колесо – ролик» має розрив другого роду на ділянці зміни цього навантаження від мінімального до максимального значення. Аналітичну залежність було представлено та проаналізовано також у графічному вигляді. Узагальнення отриманих результатів дозволило зробити висновок про те, що проведення комплексних випробувань залізничних коліс, які передбачають суміщення випробувань на втомну міцність із випробуваннями на контактну міцність за умови їх одночасності на одному стенді, є неможливим. **Наукова новизна.** У запропонованій схемі стенда для комплексних випробувань залізничних коліс уперше отримано залежність, яка пов'язує параметри випробовуваного колеса, параметри стенда, осьове навантаження колісної пари та межі витривалості матеріалу колеса. **Практична значимість.** Отримані результати можуть бути використані як підґрунтя для розробки нових схем стендів для випробувань залізничних коліс.

Ключові слова: залізничне колесо; випробування; випробувальний стенд; втомна міцність; контактна міцність; комплексні випробування

Вступ

Одним з основних параметрів залізничного колеса є його ресурс, який визначає допустиму міжремонтну тривалість використання як самого колеса, так і колісної пари в цілому. Тому розробка стендового обладнання, що дозволяє в лабораторних умовах відтворювати або імітувати реальні умови навантаження колісної пари з метою проведення ресурсних випробувань, є актуальною науково-практичною задачею.

Серед видів стендових випробувань, які регламентовано до проведення чинною нормативною базою [2–5], до ресурсних можна віднести випробування на втомну міцність залізничних коліс та осей колісних пар. Такі випробування передбачають дослідження роботи деталей колісних пар (КП) в умовах циклічного навантаження за режимами, що визначені чинними стандартами та окремо розробленими методиками.

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Існує багато напрацювань щодо випробувань на втомну міцність осей, як вітчизняних, так і закордонних дослідників [13, 16, 17].

Питанням міцності та взаємодії елементів пари «колесо – рейка» присвячено ряд публікацій [6, 11, 12, 14].

Додатковими факторами, які визначають ресурс залізничних коліс, є напрацювання за контактною міцністю та зношенням окремих поверхонь колеса (поверхня кочення, реборда). Стендових випробувань з врахуванням впливу цих факторів чинними нормативними документами не передбачено. Однак існують дослідження [1], які вказують на доцільність проведення таких випробувань.

Для зменшення тривалості загальної процедури з визначення ресурсу коліс доцільним є максимально можливе суміщення різних видів випробувань, їх одночасне виконання з використанням одного тестового зразка (залізничного колеса).

Мета

Основною метою роботи є визначення та аналіз технічних параметрів стенда для комплексних випробувань залізничних коліс, у якому передбачено сумістити випробування на втомну та контактну міцність, їх одночасне виконання на одному стенді.

Методика

Із розробки стендів для випробувань залізничних коліс на втомну міцність автори цієї роботи мають певний досвід [7]. Аналогічні розробки проводили й інші співробітники Дніпровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна (ДНУЗТ), а також члени міжнародної наукової спільноти [8, 9]. У цих стендах реалізовано прикладання циклічного навантаження до різних поверхонь залізничного колеса (поверхня кочення, реборда), а тривалість випробувань визначає кількість циклів навантаження.

Випробування на контактну міцність передбачають створення в зоні контакту зусилля, що є еквівалентним до контактного зусилля, яке виникає в реальних умовах експлуатації коліс. Роботи в цьому напрямі пропонують замінювати одну з деталей пари контакту «колесо – рей-

ка» (рейку [15]) або й обидві деталі [1] на ролики та встановлювати умови навантаження, наближені до реальних.

Аналіз вимог до випробувань та стендового обладнання. Розглянемо нормативні документи, які визначають вимоги до проведення стендових випробувань на втомну міцність.

Міждержавним стандартом [2] встановлено вимоги та характеристики до випробувань коліс, які використовують у колісних парах вантажних та пасажирських вагонів локомотивної тяги, пасажирських, вантажних та маневрових локомотивів, моторних і немоторних колісних парах електро- та дизель-поїздів, спеціального залізничного рухомого складу:

- межа витривалості (F_r) – максимальне зусилля в зоні контакту, яке здатне сприймати колесо впродовж встановленого терміну, залежить від осьового навантаження колісної пари (наприклад, для КП з осьовим навантаженням до 230,5 кН межа витривалості $F_r = 400$ кН);
- база випробувань – 5 млн циклів;
- навантаження асиметричне з коефіцієнтом асиметрії 0,1;
- навантаження прикладають до обох коліс.

Методика випробувань [10] дублює стандарт [2] щодо межі витривалості, бази випробувань та характеру навантаження, однак вказує на необхідність його прикладання до реборди. Крім цього, встановлено значення частоти зміни циклічного навантаження – 300...600 циклів за хвилину (5...10 Гц).

Оскільки міждержавний стандарт має вищу нормативну силу, ніж методика, вважаємо, що навантаження слід прикладати до обох коліс; це також відповідає реальним умовам експлуатації колісної пари.

Міждержавний стандарт [5] стосується вагонів магістральних залізниць. Він встановлює необхідність проведення випробувань коліс на втомну міцність шляхом реалізації знакозмінного згинання під дією кругового згинального моменту на базі 20 млн циклів.

Щодо коліс у складі колісних пар локомотивів і моторвагонного рухомого складу, у міждержавному стандарті [4] визначено проведення випробувань на втомну міцність у вигляді кругового згинання під дією асиметричного навантаження (його знакозмінність та коефіцієнт асиметрії не

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

нормована), а межа витривалості вказана на рівні 125 МПа (залежить від конструкції коліс).

Узагальнюючи ці вимоги, доходимо таких висновків:

– стенд для комплексних випробувань залізничних коліс має забезпечувати навантаження на колесо, яке змінюється в діапазоні від $0,1F_{\max}$ до F_{\max} , де $F_{\max} = F_r$ – межа витривалості колеса за [2], яка залежить від осьового навантаження колісної пари;

– база випробувань – 5 млн циклів;

– частота зміни циклічного навантаження – 300...600 циклів за хвилину (5...10 Гц);

– циклічне навантаження прикладають до обода колеса.

Як базу розробки стенда для комплексних випробувань залізничних коліс візьмемо стенд для ресурсних випробувань залізничних колісних пар [15], схему якого наведено на рис. 1.

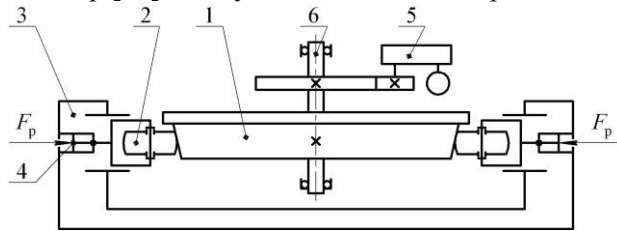


Рис. 1. Схема стенда для випробувань на контактну міцність:

1 – випробовуване колесо; 2 – ролик; 3 – рама;
4 – навантажувальний пристрій; 5 – привід стенда;
6 – вісь колеса (F_p – робоче зусилля стенда)

Fig. 1. The scheme of the stand for tests for contact strength:

1 – tested wheel; 2 – roller; 3 – frame;
4 – loading device;
5 – stand drive; 6 – wheel axle
(F_p – working effort of the stand)

У цьому стенді ролик 2 імітує рейку, а навантажувальний пристрій 4 з робочим зусиллям F_p створює силу в зоні контакту пари «колесо – ролик», еквівалентну до сили в зоні контакту пари «колесо – рейка» за реальних умов експлуатації колісної пари. При цьому колесо 1 контактує одночасно з кількома роликами (щонайменше – трьома); це забезпечує можливість проведення прискорених випробувань. Для забезпечення відповідності умов стендових випробувань реальним умовам експлуатації колісної пари параметри стенда за рис. 1 було визначено таким чином, щоб максимальний контактний тиск у парі «колесо – ролик»

дорівнював максимальному контактному тиску в парі «колесо – рейка».

Встановлення можливості проведення комплексних випробувань. Оскільки стенд для комплексних випробувань залізничних коліс має здійснювати одночасно випробування на втомну та контактну міцність, формуємо вимоги до величини робочого зусилля стенда (F_p) у такому вигляді:

– зусилля F_p повинно мати пульсуючий характер і забезпечувати зміну навантаження на колесо в діапазоні від $0,1F_{\max}$ до F_{\max} (випробування на втомну міцність);

– частота зміни зусилля F_p – від 300 до 600 циклів за хвилину (випробування на втомну міцність);

– величина F_{\max} має відповідати осьовому навантаженню колісної пари, колесо якої випробовують (випробування на втомну міцність);

– зусилля F_p має забезпечувати адекватність умов проведення стендових випробувань (відповідність реальним умовам навантаження).

Остання вимога до величини робочого зусилля може бути забезпечена в разі дотримання рівності

$$F_p = 0,5F \left(1 + \frac{D_k}{d_p} \right)^{-1}, \quad (1)$$

де F – осьове навантаження колісної пари;
 D_k – діаметр колеса по колу кочення; d_p – діаметр ролика.

Залежність величини F_{\max} від осьового навантаження F вказана у стандарті [2] (табл. 1).

Таблиця 1

Залежність межі витривалості колеса від осьового навантаження колісної пари

Table 1

Dependence of the endurance limit of the wheel on the axial load of the wheel pair

F, кН	Fmax, кН
230,5	400
245,3	450
264,9	510
294,3	600

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

Зважаючи на те, що сила F_{\max} діє уздовж спільної нормалі до контактуючих поверхонь пари «колесо – ролик» (рис. 2), беремо

$$F_p = \frac{F_{\max}}{\cos \beta}, \quad (2)$$

де β – ухил поверхні кочення ($\beta = 2,86^\circ$ відповідає конусності 1:10, вказаній у стандарті [2]).

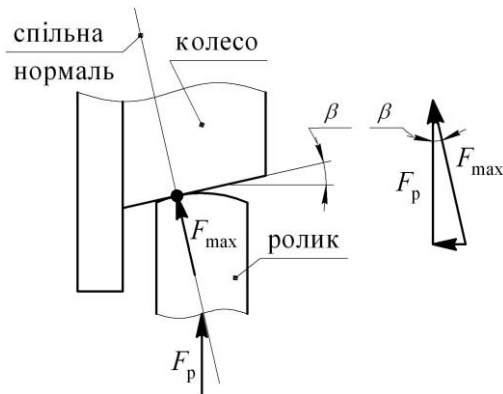


Рис. 2. Схема дії сил у парі «колесо – ролик»

Fig. 2. Scheme of force action in the «wheel – roller» pair

Поеднуючи умови (1) і (2), маємо:

$$\frac{F_{\max}}{\cos \beta} = 0,5F \left(1 + \frac{D_k}{d_p} \right)^{-1}. \quad (3)$$

Таким чином, отримано залежність, яка пов'язує параметри випробовуваного колеса (D_k , β), параметри стенда (d_p), осьове навантаження колісної пари (F) та межу витривалості матеріалу колеса (F_{\max}).

Із виразу (3) випливає, що діаметр ролика може бути визначено за формулою

$$d_p = D_k \left(\frac{0,5F \cos \beta}{F_{\max}} - 1 \right)^{-1}. \quad (4)$$

Результати

Попередній аналіз залежності (4) вказує на те, що функція $d_p(F_{\max})$ має розрив другого роду. Визначимо, чи припадає він на ділянку зміни аргументу від $0,1F_{\max}$ до F_{\max} .

Аналіз даних, наведених у стандарті [2], показав, що діаметр колеса (D_k) не залежить від осьового навантаження колісної пари (F).

Для виконання розрахунків візьмемо такі значення параметрів колеса [2]: $D_k = 957$ мм; $\beta = 2,86^\circ$. Сполучення осьового навантаження колісної пари (F) та межі витривалості (F_{\max}) беремо за табл. 1.

Залежність $d_p(F_{\max})$ для кожного зі сполучень розрахункових даних наведена на рис. 3 як сполучення кривих.

Із графіка на рис. 3 видно, що розрив другого роду функції $d_p(F_{\max})$ припадає на інтервал зміни зусилля в зоні контакту пари «колесо – рейка» від $0,1F_{\max}$ до F_{\max} (на осі абсцис показано інтервал 40...400 кН для першого сполучення сил за табл. 1).

Наукова новизна та практична значимість

У запропонованій схемі стенда для комплексних випробувань залізничних коліс уперше отримано залежність, яка пов'язує параметри випробовуваного колеса, параметри стенда, осьове навантаження колісної пари та межу витривалості матеріалу колеса.

Отримані результати можуть бути використані як підґрунтя для розробки нових схем стендів для випробувань залізничних коліс.

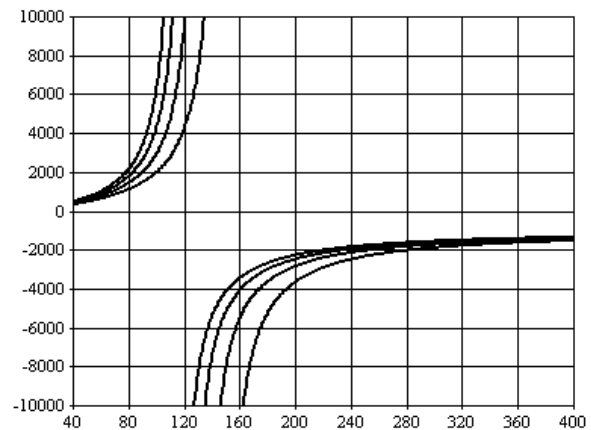


Рис. 3. Графік залежності $d_p(F_{\max})$

Fig. 3. Graph of $d_p(F_{\max})$ dependence

Висновки

У ході виконання досліджень було визначено параметри стенда (діаметр ролика та робоче зусилля стенда), установлено залежність, яка пов'язує параметри випробовуваного колеса,

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

параметри станда, осьове навантаження колісної пари та межу витривалості матеріалу колеса.

Зважаючи на отримані результати, доходимо висновку, що проведення комплексних випробувань залізничних коліс, які передбачають

суміщення випробувань на втомну міцність із випробуваннями на контактну міцність, та одночасність їх проведення на одному стенді є неможливим.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Воробьев А. А. *Прогнозирование ресурса и совершенствование технологии ремонта колес железнодорожного подвижного состава* : автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Санкт-Петербург, 2018. 32 с.
2. *ГОСТ 10791-2011. Колеса цельнокатаные. Технические условия*. [Действующий от 2012-01-01]. Москва, 2011. 27 с.
3. *ГОСТ 11018-2011. Колесные пары тягового подвижного состава железных дорог колеи 1520 мм. Общие технические условия*. [Действующий от 2013-01-01]. Москва, 2012. 26 с.
4. *ГОСТ 31373-2008. Колесные пары локомотивов и моторвагонного подвижного состава. Расчеты и испытания на прочность*. [Действующий от 2009-09-01]. Москва, 2008. 11 с.
5. *ГОСТ 4835-2013. Колесные пары железнодорожных вагонов. Технические условия*. [Действующий от 2014-07-01]. Москва, 2014. 31 с.
6. Дегтярева Л. Н., Осенин Ю. И., Мямлин С. В. Математическое описание силового взаимодействия колес и рельсов. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2009. № 28. С. 21–24.
7. Ракша С. В., Куроп'ятник О. С. *Стенові випробування колісних пар рейкового транспорту*. Scientific and technical progress in european countries and the contribution of higher education institutions. 2020. С. 192–213. DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-65-5.11>
8. *Стенд для випробувань залізничних коліс на втомну міцність*: пат. 136718 Україна; G01M 17/10 (2006.01); заяв. 29.03.2019; опубл. 27.08.2019, Бюл. № 16. 5 с.
9. *Стенд для испытания колес и осей колесных пар на сопротивление усталости*: пат. 2650327 Российская Федерация; G01M 17/10 (2006.01); заяв. 17.03.2017; опубл. 11.04.2018, Бюл. № 11. 11 с.
10. *Стенд для испытания колес и осей колесных пар на сопротивление усталости и способ проведения испытаний*: пат. 2651629 Российская Федерация; G01M 17/10 (2006.01); G01N 3/32 (2006.01); заяв. 06.06.2017; опубл. 23.04.2018, Бюл. № 12. 16 с.
11. *СТ ССФЖТ ТМ 151-2003. Колеса цельнокатаные. Определение предела выносливости диска. Типовая методика испытаний*. [Действующий от 2003-06-27]. Москва, 2003. 7 с.
12. Якунин Д. И., Макаренко Ю. В., Маслиев В. Г. Влияние наклона кузова вагона при движении по кривым участкам пути на взаимодействие колес с рельсами. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2009. № 30. С. 248–251.
13. Bureika G., Subačius R. Mathematical model of dynamic interaction between wheel-set and rail track. *Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту*. 2005. № 8. Р. 39–44.
14. Filippini M., Luke M., Varfolomeev I., Regazzi D., Beretta S. Fatigue strength assessment of railway axles considering small-scale tests and damage calculations. *Procedia Structural Integrity*. 2017. Vol. 4. P. 11–18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.013>
15. Manashkin L. A., Myamlin S. V. To the question of modeling of wheels and rails wear processes. *Наука та прогрес транспорту*. 2013. № 3(45). Р. 119–124. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2013/14791>
16. Raksha S. V., Anofriev P. G., Kuropiatnyk O. S. Justification of the parameters of the life-test bench for railway wheelsets. *IOP Conference Series : Materials Science and Engineering* (препринт).
17. Raksha S., Anofriev P., Kuropiatnyk O. Simulation modelling of the rolling stock axle test-bench. *E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 123. P. 1–11. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301032>

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

С. В. РАКША¹, П. Г. АНОФРИЄВ², А. С. КУРОП'ЯТНИК^{3*}

¹Каф. «Прикладна механіка і матеріалознавство», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта raksha@ukr.net, ORCID 0000-0002-4118-1341

²Каф. «Прикладна механіка і матеріалознавство», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта anofrievp@ukr.net, ORCID 0000-0001-7997-3523

^{3*}Каф. «Прикладна механіка і матеріалознавство», Дніпровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Дніпро, Україна, 49010, тел. +38 (056) 373 15 18, ел. пошта kuropyatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883

ОПРЕДЕЛЕНИЕ И АНАЛИЗ ТЕХНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СТЕНДА ДЛЯ КОМПЛЕКСНЫХ ИСПЫТАНИЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫХ КОЛЕС

Цель. Основной целью работы является определение и анализ технических параметров стенда для проведения комплексных испытаний железнодорожных колес, предусматривающих совмещение испытаний на усталостную и контактную прочность, их одновременное выполнение на одном стенде. **Методика.** Определение технических параметров стенда для проведения комплексных испытаний выполнено на основании сопоставления характеристик испытаний на усталостную и контактную прочность железнодорожных колес. Требования к испытаниям на усталостную прочность и к соответствующему оборудованию определены на основании анализа действующей нормативной базы и обзора патентов. В качестве базовой модели для разработки стенда для комплексных испытаний была принята модель стенда для испытаний на контактную прочность с внесением необходимых изменений в части обеспечения цикличности приложения рабочего усилия. Критерием возможности комплексных испытаний, предусматривающих одновременное проведение испытаний железнодорожных колес на усталостную и контактную прочность, была принята зависимость диаметра ролика стенда от параметров испытываемого колеса, осевой нагрузки колесной пары, в состав которой входит испытываемое колесо, и предела выносливости материала колеса. **Результаты.** Анализ полученной зависимости показал, что диаметр ролика как функция нагрузки в зоне контакта пары «колесо – ролик» имеет разрыв второго рода на участке изменения этой нагрузки от минимального до максимального значения. Аналитическая зависимость представлена и проанализирована также в графическом виде. Обобщение полученных результатов позволило сделать вывод о том, что проведение комплексных испытаний железнодорожных колес, предусматривающих совмещение испытаний на усталостную прочность с испытаниями на контактную прочность при условии их одновременности на одном стенде, невозможно. **Научная новизна.** В предложенной схеме стенда для комплексных испытаний железнодорожных колес впервые получена зависимость, связывающая параметры испытываемого колеса, параметры стенда, осевую нагрузку колесной пары и предел выносливости материала колеса. **Практическая значимость.** Полученные результаты могут быть использованы в качестве основания для разработки новых схем стендов для испытаний железнодорожных колес.

Ключевые слова: железнодорожное колесо; испытания; испытательный стенд; усталостная прочность; контактная прочность; комплексные испытания

S. V. RAKSHA¹, P. H. ANOFRIIEV², O. S. KUROP'YATNYK^{3*}

¹Dep. «Applied Mechanics and Materials Science», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail raksha@ukr.net, ORCID 0000-0002-4118-1341.

²Dep. «Applied Mechanics and Materials Science», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail anofrievp@ukr.net, ORCID 0000-0001-7997-3523.

^{3*}Dep. «Applied Mechanics and Materials Science», Dnipro National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryana St., 2, Dnipro, Ukraine, 49010, tel. +38 (056) 373 15 18, e-mail kuropyatnick@gmail.com, ORCID 0000-0001-5581-3883.

DETERMINATION AND ANALYSIS OF TECHNICAL PARAMETERS OF THE BENCH FOR RAILWAY WHEELS COMPLEX TESTS

Purpose. The purpose of the work is to determine and analyze the technical parameters of the bench for railway wheels complex tests, providing for the combination of fatigue and contact strength tests, their simultaneous performing on same test-bench. **Methodology.** Determination of the technical parameters of the test-bench was carried out based on comparing the characteristics of fatigue and contact strength tests of railway wheels. Requirements for fatigue tests and related equipment are determined based on an analysis of the current regulations and patent review. A model of the contact strength test-bench with the introduction of necessary changes in terms of ensuring the cyclicity of the working effort application was adopted as the basic model for the development of a complex test-bench. The criterion for the possibility of complex tests, involving the simultaneous testing of railway wheels for fatigue and contact strength, was the dependence of the test-bench roller diameter on the parameters of the tested wheel, the wheelset axle load, which includes the tested wheel and the wheel material endurance limit. **Findings.** The analysis of the obtained dependence showed that the roller diameter as a function of the load in the contact zone of the “wheel – roller” pair has second order discontinuity in the section where this load changes from the minimum to the maximum value. Analytical dependence is also presented and analyzed in graphical form. The generalization of the results obtained made it possible to conclude that it is impossible to carry out complex tests of railway wheels, which provide for the combination of fatigue strength tests with contact strength tests, subject to their simultaneous holding at the same test-bench. **Originality.** For the proposed scheme of the bench for complex tests of railway wheels, for the first time, we obtained the dependence linking the parameters of the test wheel, the parameters of the bench, the wheel pair axle load and the wheel material endurance limit. **Practical value.** The results obtained can be used as a basis for the development of new test-benches for railway wheels.

Keywords: railway wheel; tests; test-bench; fatigue strength; contact strength; complex tests

REFERENCES

1. Vorobev, A. A. (2018). *Prognozirovanie resursa i sovershenstvovanie tekhnologii remonta koles zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava* (Extended abstract of PhD dissertation). St. Petersburg, Russia. (in Russian)
2. *Kolesa tselnokatanye. Tekhnicheskie usloviya, 27 GOST 10791-2011* (2011). (in Russian)
3. *Traction railway stock wheelsets of 1520 mm gauge railways. General specifications, 26 GOST 11018-2011* (2012). (in Russian)
4. *Wheelsets of locomotives and motor-powered units. Strength calculations and tests, 11 GOST 31373-2008* (2008). (in Russian)
5. *Wheelsets for freight and passenger car. Technical specifications, 11 GOST 4835-2013* (2014). (in Russian)
6. Dehtiarova, L. N., Osenin, Yu. I., & Myamlin, S. V. (2009). Mathematical description of force interaction of wheels and rails. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 28, 21-24. (in Russian)
7. Raksha, S. V., & Kuropiatnyk, O. S. (2020). *Stendovi vyprovuvannja kolisnykh par rejkovogho transportu*. Scientific and technical progress in European countries and the contribution of higher education institutions: Collective monograph (pp. 192–213). DOI: <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-65-5.11> (in Ukrainian)
8. Keбал, I. Yu., Zgrebna, S. M., Tiokotev, O. M., Tarasiuk, M. Yu., Raksha, S. V., & Kuropiatnyk, O. S. (2019). *UA Patent 136718*. (in Ukrainian)
9. Kochetkov, Ye. V., Knyazev, D. A., & Trepacheva, T. V. (2018). *RU Patent 2650327*. (in Russian)
10. Bidulya, A. L., Volokhov, G. M., Kochetkov, Ye. V., Knyazev, D. A., Timakov, M. V., & Shcherbakov, V. V. (2018). *RU Patent 2651629*. (in Russian)
11. *Kolesa tselnokatanye. Opredelenie predela vynoslivosti diska. Tipovaya metodika ispytaniy, 7 ST SSFZhT TM 151-2003* (2003). (in Russian)
12. Yakunin, D. I., Makarenko, Yu. V., & Masliev, V. H. (2009). Influence of the inclination of the car body when driving along curved track sections on the interaction of wheels with rails. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 30, 248-251. (in Russian)
13. Bureika, G., & Subačius, R. (2005). Mathematical model of dynamic interaction between wheel-set and rail track. *Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan*, 8, 39-44. (in English)

РУХОМИЙ СКЛАД І ТЯГА ПОЇЗДІВ

14. Filippini, M., Luke, M., Varfolomeev, I., Regazzi, D., & Beretta S. (2017). Fatigue strength assessment of railway axles considering small-scale tests and damage calculations. *Procedia Structural Integrity*, 4, 11-18. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.prostr.2017.07.013> (in English)
15. Manashkin, L. A., & Myamlin, S. V. (2013). To the question of modeling of wheels and rails wear processes. *Science and Transport Progress*, 3(45), 119-124. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2013/14791> (in English)
16. Raksha, S. V., Anofriev, P. G., & Kuropiatnyk, O. S. (2020). Justification of the parameters of the life-test bench for railway wheelsets. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (preprint). (in English)
17. Raksha, S., Anofriev, P., & Kuropiatnyk, O. (2019). Simulation modelling of the rolling stock axle test-bench. *E3S Web of Conferences*, 123, 1-11. DOI: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201912301032> (in English)

Надійшла до редколегії: 19.05.2020

Прийнята до друку: 18.09.2020