

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

УДК 629.424.2.023.142–027.45

О. М. БОНДАРЄВ<sup>1\*</sup>, В. Л. ГОРОБЕЦЬ<sup>1</sup>, Д. О. ЯГОДА<sup>1</sup>, О. О. БОНДАРЄВ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, ел. пошта onildpps@gmail.com

<sup>1</sup>Каф. «Будівельна механіка», Дніпропетровський національний університет залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна, вул. Лазаряна, 2, Дніпропетровськ, Україна, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08

<sup>2</sup>Державна адміністрація залізничного транспорту України, вул. Тверська, 5, Київ, Україна, 49150, ел. пошта joker\_bondarev@ukr.net

### РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ІЗ ПОКРАЩЕННЯ ПОКАЗНИКІВ МІЦНОСТІ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ГОЛОВНИХ ВАГОНІВ ДИЗЕЛЬ-ПОЇЗДІВ ДР1А НА ПІДСТАВІ ВИКОНАНИХ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧНИХ РОБІТ

**Мета.** Метою роботи є визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій кузова головного вагона та вузла передачі тягового зусилля, яке може створюватись у нештатних ситуаціях під час експлуатації. Необхідною є також розробка заходів, спрямованих на покращення напружено-деформованого стану вказаних елементів. **Методика.** Для досягнення поставленої мети при виконанні роботи було проведено експериментальне визначення зусиль і рівнів напружень у найбільш навантажених елементах несучих конструкцій, а також у вузлах передачі тяги. Розроблено розрахункові моделі для проведення теоретичного визначення рівнів напружень і зусиль. **Результати.** На підставі аналізу отриманих результатів розрахунків виявлено найкращі варіанти модернізації, які були закладені в основу пропозицій, спрямованих на покращення показників міцності. **Наукова новизна.** На підставі експериментальних та теоретичних досліджень виконано наукове супроводження робіт із розробки заходів модернізації з покращення показників міцності несучих конструкцій головних вагонів дизель-поїздів ДР1А. **Практична значимість.** Розроблено технічне рішення, що містить заходи, які мають виконуватись під час експлуатації дизель-поїздів вказаної серії. Технічне рішення надано спеціалістам Укрзалізниці для ознайомлення та впровадження запропонованих заходів із покращення показників міцності.

*Ключові слова:* кузови вагонів; головні вагони; розрахункові моделі; теоретичні розрахунки; дизель-поїзди ДР1А; моторні візки; показники міцності

#### Вступ

Під час експлуатації дизель-поїздів ДР1А на залізницях України виникла необхідність у науково-дослідних роботах, спрямованих на продовження терміну їх експлуатації, призначеного заводом-виробником [1, 2, 10]. Зміст цих робіт – визначення ресурсу несучих конструкцій рам візків, рам кузовів. І на підставі отриманих результатів виконаних робіт необхідно було

розробити заходи, які сприяли б продовженню терміну їх служби до 45 років. В звітах робіт відзначалося, що під час експлуатації були зафіксовані випадки: утворення тріщин в балках центрального підвішування в місцях приварювання опор стаканів пружинних комплектів; наявність залишкових деформацій в середній частині профілю дна цих балок, які є результатом надмірних деформацій від згинання; злам

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

пружин опор центрального підвішування; утворення тріщин навколо опори приєднання до кузова тягових повідків. Крім цього, протягом експлуатації дизель-поїздів зазначеної серії також були виявлені злами поздовжніх балок підлоги кузова головного вагона в зоні їх прилягання до тамбурів. Досвід експлуатації показав, що під час руху дизель-поїздів даної серії збуджуються коливання вагонів у вертикальній та горизонтальній поперечній площинах з високими амплітудами. Наслідком таких коливань є передчасний вихід з ладу амортизаторів (гасителів) поперечних коливань та коливань бічного відносу, які сприяють створенню високих рівнів напружень в вище зазначених елементах.

**Мета**

Метою роботи є визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій кузова головного вагона та вузла передачі тягового зусилля, яке може створюватись в нештатних ситуаціях під час експлуатації, а також розробка заходів, спрямованих на покращення напружено-деформованого стану вказаних елементів.

**Методика**

Для досягнення поставленої мети під час виконання роботи було експериментально визначено зусилля та рівні напружень у найбільш навантажених елементах несучих конструкцій, а також у вузлах передачі тяги; розроблено розрахункові моделі та проведені теоретичні розрахунки з визначення рівнів напружень та зусиль.

**Результати**

На рис.1 зображено загальний вигляд дизель-поїзда ДР1А.

Під час виконання цієї роботи були прийняті до уваги конструктивні особливості кузова головного вагона дизель-поїзда ДР1А [4, 6, 9, 10] та результати обстежень технічного стану його несучих конструкцій.

Під час побудови розрахункових моделей [8] та скінченно-елементних схем [3, 5] слід враховувати, що:

- кузова вагонів суцільнометалеві зварної несучої конструкції;
- рама кузова без хребтової балки складається з двох консольних частин, з'єднаних поздовжні-

ми балками, та набору поперечних елементів;

- консольні частини зібрано зі зварних балок замкнутого перерізу та гнутих профілів;

- поперечні елементи рами моторного вагона виконані зі швелера;

- поздовжні балки рами складаються з гнutoго швелера, кутника та діафрагми, обшитих зігнутими несучими листами;

- дах, бічні та торцеві стінки складаються з каркаса та листів обшивки.



Рис. 1. Дослідний дизель-поїзд ДР1А зав. № 272

Нижче на рис. 2–7 наведено види зруйнованих елементів та елементів з корозійними пошкодженнями несучих конструкцій головного вагона.



Рис. 2–5. Злам гнutoго швелера та поперечин в місці приєднання до бічних стінок, а також місця створення тріщин у листах обшивки

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

Із рис. 2–7 видно, що за термін експлуатації (33 роки) несучі конструкції кузова головного вагона отримали суттєві корозійні пошкодження. Внаслідок зменшення товщини елементів несучих конструкцій, та створення великих статичних, а також динамічних навантажень при коливаннях галопування та бічної хитавиці відбулося руйнування вказаних елементів.



Рис. 6–7. Види корозійних пошкоджень несучих конструкцій, обшивки кузова та місць закріплення вузла передачі тягового зусилля

Аналіз впливу амплітуд та частоти зміни напружень на втомні властивості стикових зварних вузлів, розвитку тріщин, відмов та профілактики руйнувань наведені у роботах [11–13].

Для виконання теоретичних досліджень з визначення напруженості несучих конструкцій кузова головного вагона та вузла передачі тягового зусилля необхідно було експериментально визначити навантаженість цих елементів [1]. Нижче на рис. 8 наведено види місць розташування пристроїв для вимірювання зусиль та моментів, що передаються до кузова головного вагона.

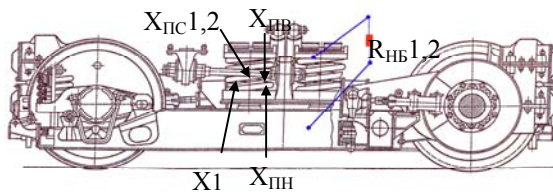


Рис. 8. Місця розташування вимірювальних пристроїв

Для набору статистичних даних динамічної навантаженості під час руху по стрілочних переходах, кривих різних радіусів, стикових нерівностях та інших факторів було здійснено поїздки за напрямком Полтава–Лозова–Полтава.

Під час проведення обробки результатів випробувань діапазони швидкостей руху умовно поділялися на інтервали 0–15, 16–30, 31–45,

46–60, 61–75 і 76–90 км/год. При цьому для кожного процесу, що реєструвався, підсумкова тривалість реєстрації складала не менш 180 с. За вимірними деформаціями у тязі передачі тягового зусилля від моторного візка до кузова головного вагона були визначені поздовжні зусилля та згинальні моменти у вертикальній і горизонтальній поперечній площинах, а за вимірними переміщеннями – зусилля, що складала динамічні добавки вертикальних зусиль у центральному підвішуванні.

В результаті аналізу експериментальних досліджень отримано таке:

- найбільша величина згинального моменту  $M_B$  досягає 0,66 кНм під час руху в кривих ділянках колії. Від дії такої величини згинального моменту в нижніх та верхніх волокнах тяги передачі зусилля створюються напруження на рівні 38,3 МПа;

- згинальний момент, що діє в горизонтальній площині під час руху в кривих досягає 0,6 кНм, а по стрілочних переходах – 0,65 кНм. Такі значення моментів створюють у тязі передачі зусилля найбільші нормальні напруження 34,8 та 37,7 МПа відповідно;

- під час руху дизель-поїзда в прямих найбільші рівні зусиль в тязі, що передає тягове зусилля від візка до кузова  $F_T$ , досягають 25 кН при швидкості 80 км/год. При рухові в кривих найбільша величина цього зусилля складає 42 кН при швидкості руху 30 км/год.

Для визначення найбільших значень нормальних напружень в тязі передачі тягового зусилля було прийнято режим тяги в кривих зі швидкістю 50 км/год, коли згинальні моменти у вертикальній  $M_B$  та  $M_G$  горизонтальній площинах дорівнюють 0,6 кНм, а тягове зусилля  $F_T$  дорівнює 38 кН. Найбільше нормальне напруження в цьому випадку дорівнює

$$\sigma_{\max} = \frac{F_T}{A} + \frac{1}{W_z} \sqrt{M_B^2 + M_G^2} = 52,9 \text{ МПа} .$$

У центральному підвішуванні тенденція змінювання динамічних добавок найбільших вертикальних сил  $Q_u$  залежно від швидкості руху є приблизно такою ж, як і зусиль  $N$  та  $F_T$ . Найбільші значення зусиль (50 кН) зареєстровані при швидкості руху 50 км/год в кривих ділянках колії, а по стрілочних переходах – 52 кН при швидкості руху 40 км/год. При таких найбільших значеннях динамічних складових

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

зусиль коефіцієнт динаміки для центрального підвищення дорівнює

$$k_{0ц} = \frac{Q_0}{Q_{ст}} = \frac{52}{147,2} = 0,353,$$

тобто перевищує нормативне значення [7]. Необхідно зазначити, що для головних вагонів дизель-поїздів ДР1А, з якими раніше виконували випробування спеціалісти ДНУЗТу за участю авторів, в окремих випадках коефіцієнти динаміки у центральному підвищенні досягали значень більше ніж 0,5.

Зареєстровані під час дослідних поїздок найбільші значення зусиль, що передаються до кузова в центральному підвищенні та у вузлі передачі тягового зусилля від повідка моторного візка, далі використовувались для виконання числових розрахунків з визначення напружено-деформованого стану несучих конструкцій кузова та вузла передачі до кузова тягового зусилля.

Для виконання числових розрахунків за методом скінченних елементів (МСКЕ) з визначення рівнів напружень в елементах несучих конструкцій кузова та вузла передачі тягового зусилля до кузова головного вагона від моторного візка були розроблені розрахункові скінченно-елементні схеми (моделі) [3, 5, 8].

Як результат розрахунків на рис. 9 наведено напружено-деформований стан елементів несучих конструкцій кузова головного вагона дизель-поїзда, що виникає внаслідок дії динамічних навантажень у вертикальній площині.

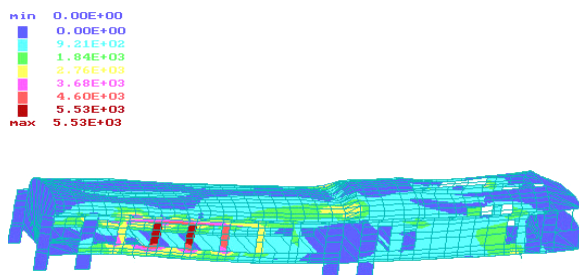


Рис. 9. Напружено-деформований стан кузова головного вагона

Найбільші рівні напружень створюються в несучих конструкціях міжвіконних перегородок та досягають 55,3 МПа.

На рис. 10 наведено епюру напружень, які утворюються в елементах рами кузова. Найбі-

льші рівні напружень утворюються у бічних елементах несучих конструкцій рами кузова. Тріщина та злами елементів конструкцій рами кузова, які наведено на рис. 1–4, утворилися у цих місцях.

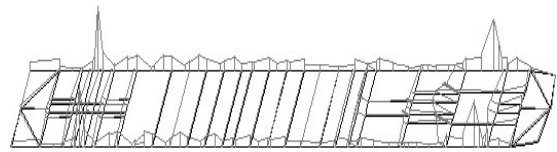


Рис. 10. Епюра розподілу напружень в елементах рами кузова

Для отримання більш детального аналізу напружено-деформованого стану бічної балки було розроблено розрахункову скінченно-елементну схему, яка складалася із збільшеної кількості скінченних елементів. Ця схема наведена на рис. 11, а результати розрахунків – на рис. 12.

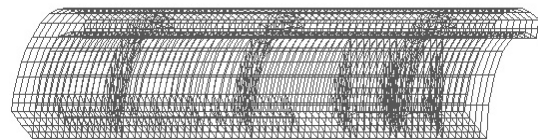


Рис. 11. Розрахункова схема бічної балки із збільшеною кількістю скінченних елементів

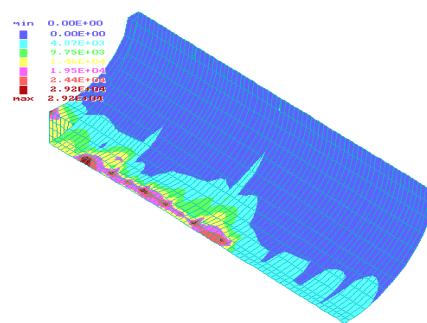


Рис. 12. Напружено-деформований стан бічної балки головного вагона в районі її спирання на візок

З аналізу наведених результатів (рис. 12) бачимо, що найбільші напруження у бічній стінці створюються в місцях передачі навантажень від вузлів спирання. Найбільші значення напружень досягають 29,2 МПа.

На рис. 13 зображено місця з найбільшими рівнями напружень, які утворюються у міжві-

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

конних перегородках та на даху над тамбуром в місці переходу від салону пасажирів до частини кузова, в якій розташовано дизель-генераторна установка.

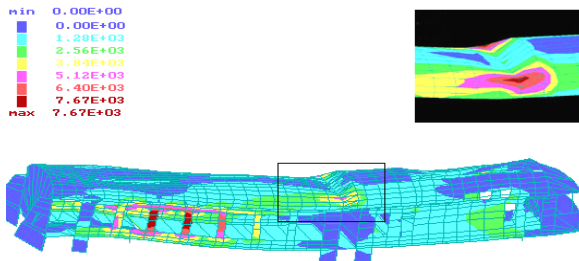


Рис. 13. Місця з найбільшими рівнями напружень у міжвіконних перегородках та на даху

З рис. 13 бачимо, що у випадках утворення критичних рівнів корозійних пошкоджень несучих конструкцій у міжвіконних перегородках та на даху найбільші напруження досягають 76,7 МПа. Корозійне пошкодження призвело до зростання найбільших напружень на 38,7 %.

Для зменшення рівнів напружень запропоновано виконати модернізацію, тобто провести зміцнення конструкції, яке буде сприяти зменшенню рівнів найбільших напружень. Під час посилення несучих конструкцій було розглянуто декілька варіантів. Один з варіантів модернізації наведено на рис. 14. На рис. 15 наведено результати розрахунків з врахуванням підсилення несучих конструкцій бічної стінки. Найбільші напруження в цьому випадку досягають 21,7 МПа.

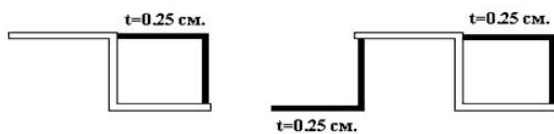


Рис. 14. Модернізація стійок бічної стіни кузова (зовнішня обшивка кузова знизу)

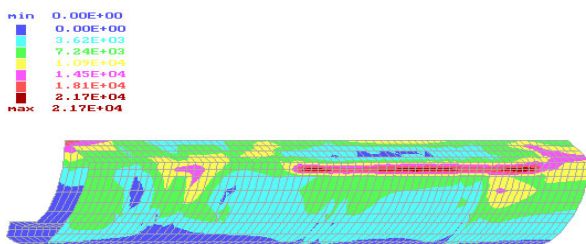


Рис. 15. Напружено-деформований стан бічної балки після виконання модернізації

Загальний вигляд моделі модернізованої бічної балки наведено на рис. 16. Розрахунки напружено-деформованого стану бічної балки головного вагона показали, що впровадження запропонованого варіанта модернізації приведе до зменшення найбільших напружень на 25,7 %.

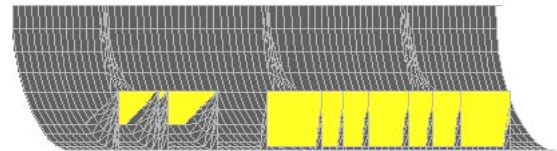


Рис. 16. Підсилення бічної балки (підсилюючі ребра виділено світлим кольором)

Користуючись методикою та програмним комплексом твердотільного моделювання, було створено моделі фрагментів конструкцій кузовної частини в зоні розташування вузла передачі тягового зусилля. Вигляд цієї моделі та скінченно-елементна розрахункова схема наведено на рис. 17.

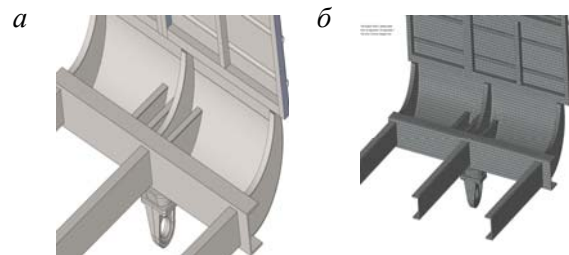


Рис. 17. Модель (а) та скінченно-елементна розрахункова схема (б) фрагмента конструкції кузова головного вагона в місці розташування вузла передачі тягового зусилля

Розрахункова скінченно-елементна схема для виділеного фрагмента конструкції у базовому варіанті складається з 229 117 скінченних елементів та має 436 179 вузлів.

Під час проведення розрахунків з визначення рівнів напружень в елементах несучих конструкцій кузова та у вузлі передачі тягового зусилля моделювався режим тяги. В цьому випадку до вузла передачі тягового зусилля від балки центрального підвішування моторного візка до кронштейну кузова головного вагона прикладалися згинальні моменти, що діють у горизонтальній та вертикальній площинах, а також поздовжнє тягове зусилля, які були зареєстровані у дослідній поїзді. Ці величини дорівню-

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

вали  $M_T = 0,65$  кНм,  $M_B = 0,66$  кНм,  $F_T = 42$  кН.

На рис. 18 наведено поле розподілу напружень для аналізованого фрагмента конструкції у базовому варіанті, тобто у варіанті виготовлення підприємства виробника.

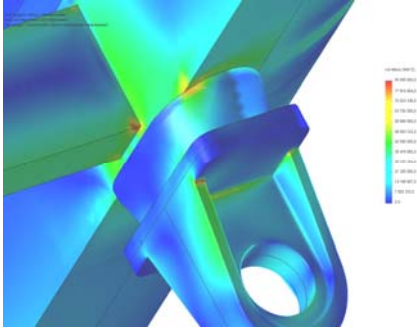


Рис. 18. Поле розподілу напружень в зоні передачі тягового зусилля у базовому варіанті конструкції

Виходячи з аналізу результатів (рис. 18) бачимо, що в місці примикання поперечного швелера до поздовжньої балки напруження дорівнюють 85 МПа. В місці приєднання опорної частини кронштейна до поздовжньої балки напруження дорівнюють 77 МПа, а в місці переходу нахиленої частини бічної поверхні кронштейну до його опорної частини напруження досягають 90 МПа (це місце є концентратором напружень).

З метою покращення напружено-деформованого стану було розглянуто декілька варіантів підсилення несучих конструкцій.

На рис. 19 наведено модель фрагмента конструкції з підсиленням її накладкою, яка встановлюється на верхній полиці поздовжньої балки з шириною в межах технології заварювання та ширини полицки швелера.

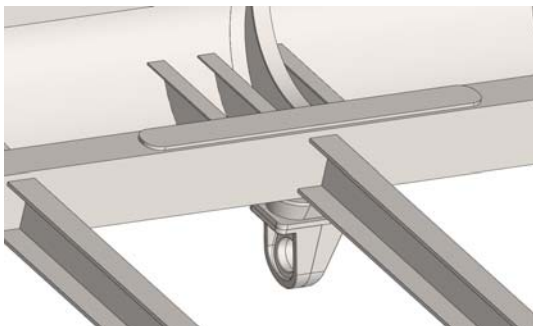


Рис. 19. Підсилення накладкою

В цьому випадку розрахункова скінченно-елементна схема складається з 231 382 скінченних елементів та має 439 704 вузлів.

На рис. 20 наведено поле розподілу напружень при варіанті підсилення накладкою фрагмента конструкції.

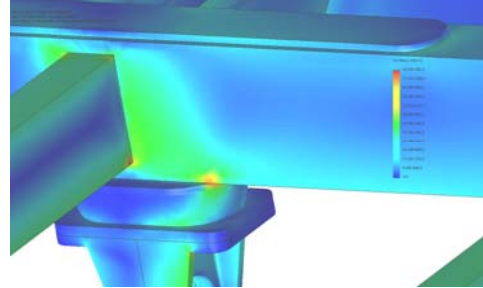


Рис. 20. Поле розподілу напружень у варіанті підсилення накладкою

Виходячи з аналізу результатів (рис. 20) при варіанті підсилення накладкою в місці примикання поперечного швелера до поздовжньої балки, напруження дорівнюють 66 МПа. В місці приєднання опорної частини кронштейна до поздовжньої балки напруження дорівнюють 66 МПа, а в місці переходу нахиленої частини бічної поверхні кронштейна до його опорної частини напруження досягають 80 МПа.

На рис. 21 наведено модель та її скінченно-елементна розрахункова схема фрагмента конструкції з варіантом підсилювання, в якому додатково до накладки на верхній полиці поздовжньої балки пропонується встановити дві пластини кутникової форми. Ця схема складається з 234 548 елементів та з 444 394 вузлів.

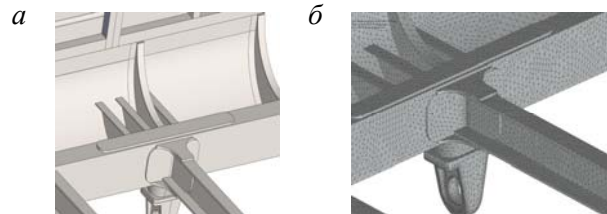


Рис. 21. Підсилення накладкою та пластинами кутникової форми:

*a* – модель, *б* – скінченно-елементна розрахункова схема

На рис. 22 наведено поле розподілу напружень, яке отримано під час числового моделювання навантаженості вказаного фрагмента конструкції при рухові дизель-поїзда в режимі тяги, в якій при підсилюванні додатково до накладки на верхній полиці поздовжньої балки пропонується встановити дві пластини кутникової форми та накладку на верхній полиці у вузлі приєднання поперечного швелера до поздовжньої балки.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

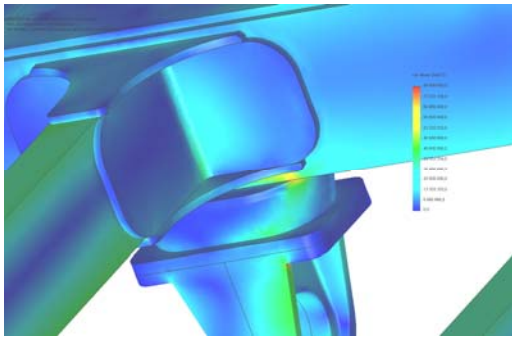


Рис. 22. Поле розподілу напружень при підсиленні накладкою поздовжньої балки та поперечного швелера у місці його приєднання до поздовжньої балки

В такому варіанті підсилення виявлено, що у місці приєднання поперечного швелера напруження зменшилися до 38 МПа, а нижче накладки швелера на поздовжній балці напруження дорівнюють 56–66 МПа.

У випадку додаткового підсилення цього варіанта модернізації шляхом установлювання накладок на бічній стінці поздовжньої балки у вище вказаних місцях напруження дорівнюють 33 МПа та 33–40 МПа відповідно.

### Наукова новизна та практична значимість

Під час проведення досліджень:

- визначено за допомогою вимірювальних пристроїв та розробленої методики в умовах експлуатації дизель-поїздів ДР1А зусилля, які передаються до кузова головного вагона від вузлів спірання кузова на моторні візки, а також зусилля та моменти, що передаються до кузова вагона від надресорної балки моторного візка;

- з метою покращення показників міцності бічних стінок кузова головного вагона, в яких максимальне корозійне пошкодження призводить до зростання найбільших напружень на 38,7 %, запропоновано варіант модернізації шляхом установлення додаткового кутника, що надає можливість зменшити найбільші напруження на 25,7 %;

- отримано напружено-деформований стан базового варіанта конструкції та визначені найбільші напруження, що створюються у місці примикання поперечного швелера до поздовжньої балки та дорівнюють 73–75 МПа. В місці приєднання опорної частини кронштейна до поздовжньої балки напруження дорівнюють

73–75 МПа, а в місці переходу нахиленої частини бічної поверхні кронштейна до його опорної частини напруження досягають 104 МПа (це місце є концентратором напружень);

- виконані розрахунки варіанта підсилення несучих конструкцій кузова в місці передачі тягового зусилля від моторного візка, в якому встановлюються дві пластини кутникової форми і накладка на верхній полиці у вузлі приєднання поперечного швелера до поздовжньої балки, а також накладки на її бічну стінку. За цим варіантом підсилювання в результаті аналізу розрахунків виявлено, що у місці приєднання поперечного швелера напруження зменшилися до 38 МПа та до 33 МПа, а нижче накладки швелера на поздовжній балці напруження дорівнюють 56–66 МПа та 33–40 МПа відповідно.

Таким чином, запропоновані варіанти модернізації несучих конструкцій кузова головного вагона дизель-поїзда ДР1А сприяють суттєвому покращенню напруженого стану його несучих конструкцій.

Розроблені варіанти модернізації та технічне рішення щодо їх впровадження надано спеціалістам Укрзалізниці. Впровадження цих модернізацій буде сприяти подовженню терміну експлуатації та забезпеченню перевезень пасажирів на неелектрифікованих ділянках залізниць України до моменту заміни таких дизель-поїздів на нові одиниці моторвагонного рухомого складу.

### Висновки

На підставі отриманих результатів досліджень можна зробити такі висновки:

- з метою забезпечення безпечної експлуатації несучих конструкцій головних вагонів дизель-поїздів ДР1А в межах подовженого терміну експлуатації необхідно під час проведення ПРЗ або КР виконувати підсилення бічних стінок за схемами, наведеними на рис. 14, 16 та вузлів передачі тягового зусилля за схемою (рис. 21);

- впровадження заходів модернізації основних несучих конструкцій кузова та вузлів передачі тягового зусилля під час виконання ремонтів у об'ємі ПРЗ або КР буде сприяти покращенню показників міцності та стану безпеки руху дизель-поїздів зазначеної серії.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бондарев, О. М. Экспериментально-теоретична оцінка показників міцності балок центрального підвішування дизель-поїздів ДР1А / О. М. Бондарев, Д. О. Ягода, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2011. – Вип. 37. – С. 7–19.
2. Горобець, В. Л. Аналіз експлуатаційної наробки несучих конструкцій рухомого складу в задачах продовження терміну його експлуатації / В. Л. Горобець, О. М. Бондарев, В. М. Скобленко // Вісн. Дніпропетр. нац. ун-ту залізн. трансп. – Д., 2010. – Вип. 35. – С. 10–16.
3. Дашченко, А. Ф. ANSYS в задачах інженерної механіки : монографія / А. Ф. Дашченко, Д. В. Лазарева, Н. Г. Сурьянинов. – Одеса : «Астропринт», 2007. – 488 с.
4. Дизель-поезда. Устройство, ремонт, эксплуатация / Б. М. Лернер, Н. П. Ковалев, В. П. Лебедев, А. А. Курятников. – М. : Транспорт, 1982. – 279 с.
5. Зенкевич, О. Метод конечных элементов в технике / О. Зенкевич. – М. : Мир, 1975. – 542 с.
6. Михайленко, А. А. Дизель-поезда типа ДР / А. А. Михайленко. – М. : Транспорт, 1990. – 337 с.
7. Нормы расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств экипажной части мотор-вагонного подвижного состава железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М. : ВНИИЖТ РФ, 1997. – 147 с.
8. Потемкин, А. Твердотельное моделирование в системе КОМПАС – 3D (+ CD – ROM) / А. Потемкин. – СПб. : БХВ Петербург, 2004. – 512 с.
9. Раков, В. А. Локомотивы и мотор-вагонный подвижной состав железных дорог Советского Союза (1976-1985 гг.) / В. А. Раков. – М. : Транспорт, 1990. – 238 с.
10. Розробка рекомендацій по підвищенню терміну експлуатації дизель-поїздів Д1, ДР1 на підставі проведення експериментально-аналітичних робіт», № ДР 0199U000049. – Дніпропетровськ, 1999. – 157 с.
11. Boyer, Howard E. Metals Handbook, 8th Edition. Volume 10 : Failure Analysis and Prevention. Fatigue Failures / Howard E. Boyer. – American Society for Metals, Metals Park, OH. – 1975. – 604 p.
12. Effect of size and frequency on fatigue properties of SM50B butt welded joint / S. Yoshida, N. Innagaki, M. Kanao et al. // J. Welding Soc., 1978. – № 9. – P. 5–10.
13. Fatigue crack growth behaviours at the toe of fillet welded joints under plane bending load / Y. Mitsui, Y. Kurobane, K. Harada et al. // J. Japan Welding Soc. – 1983. – № 3. – P. 58–65.

А. М. БОНДАРЕВ<sup>1\*</sup>, В. Л. ГОРОБЕЦ<sup>1</sup>, Д. А. ЯГОДА<sup>1</sup>, А. А. БОНДАРЕВ<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Каф «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08, эл. почта onildpps@gmail.com

<sup>1</sup>Каф «Строительная механика», Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта имени академика В. Лазаряна, ул. Лазаряна, 2, Днепропетровск, Украина, 49010, тел./факс +38 (056) 793 19 08

<sup>2</sup>Государственная администрация железнодорожного транспорта Украины, ул. Тверская, 5, Киев, Украина, 49150, эл. почта joker\_bondarev@ukr.net

## РАЗРАБОТКА МЕРОПРИЯТИЙ ПО УЛУЧШЕНИЮ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ПРОЧНОСТИ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ ГОЛОВНЫХ ВАГОНОВ ДИЗЕЛЬ-ПОЕЗДОВ ДР1А НА ОСНОВАНИИ ВЫПОЛНЕННЫХ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИХ РАБОТ

**Цель.** Целью работы является определение напряженно-деформированного состояния несущих конструкций кузова головного вагона и узла передачи тягового усилия, которые могут создаваться в нештатных ситуациях во время эксплуатации. Необходимой является также разработка мероприятий, направленных на улучшение напряженно-деформированного состояния указанных элементов. **Методика.** Для достижения поставленной цели при выполнении работы было проведено экспериментальное определение усилий и уровней напряжений в наиболее нагруженных элементах несущих конструкций, а также в узлах передачи тяги. Разработаны расчетные модели для проведения теоретического определения уровней напряжений и усилий. **Результаты.** На основании анализа полученных результатов расчетов выявлены наилучшие варианты модернизации, которые были заложены в основу предложений, направленных на улучшение показателей прочности.



## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

**Научная новизна.** На основании экспериментальных и теоретических исследований выполнено научное сопровождение работ по разработке мероприятий модернизации и улучшению показателей прочности несущих конструкций головных вагонов дизелей-поездов ДР1А. **Практическая значимость.** Разработано техническое решение с мероприятиями, которые должны выполняться во время эксплуатации дизель-поездов указанной серии. Техническое решение предоставлено специалистам Укрзалізничці для ознакомлення и внедрения предложенных мероприятий по улучшению показателей прочности.

**Ключевые слова:** кузова вагонов; головные вагоны; расчетные модели; теоретические расчеты; дизель-поезда ДР1А; моторные тележки; показатели прочности

O. M. BONDAREV<sup>1\*</sup>, V. L. GOROBETS<sup>1</sup>, D. O. YAGODA<sup>1</sup>, O. O. BONDAREV<sup>2</sup>

<sup>1\*</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08, e-mail onildpps@gmail.com

<sup>1</sup>Dep. «Structural Mechanics», Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after Academician V. Lazaryan, Lazaryan St., 2, Dnipropetrovsk, Ukraine, 49010, tel./fax +38 (056) 793 19 08

<sup>2</sup>The State Administration of Railway Transport of Ukraine, Tverska St., 5, Kyiv, Ukraine, 49150, e-mail joker\_bondarev@ukr.net

## DEVELOPING MEASURES TO IMPROVE STRENGTH INDICES OF SUPPORTING STRUCTURES FOR HEAD CARS OF DIESEL TRAINS DR1A ON THE BASIS OF EXPERIMENTAL-AND-THEORETICAL WORKS

**Purpose.** The objective is to determine the stress-strain state of supporting structures of the head car body and the traction transmission unit, which can be created in the operation of emergency situations, and to develop the measures aimed at improving the stress-strain state of these elements. **Methodology.** In order to achieve this objective, in performing the work an experimental determination of efforts and stress levels in the most loaded elements of supporting structures as well as the traction transmission units was conducted; design models for the theoretical determination of stress and effort levels were developed. **Findings.** Based on the analysis of the calculation results the best options for the upgrades, which have been put into the basis of proposals aimed at improving the strength indices, were revealed. **Originality.** Based on the experimental and theoretical studies, scientific monitoring of development works on modernization and improvement of strength indices of supporting structures of head cars of diesel trains DR1A was performed. **Practical value.** The technical solution to the measures, which are to be carried out beyond the limits of assigned operation lifetime for diesel train of the series specified was developed and transferred to the Ukrzaliznytsia experts to introduce the proposed measures on improving the strength indices.

**Keywords:** bodies of cars; head cars; calculation models; theoretical calculations; diesel trains DR1A; motor bogies; strength indices

### REFERENCES

1. Bondarev O.M., Yagoda D.O., Skoblenko V.M. Eksperymentalno-teoretychna otsinka pokaznykiv mitsnosti balok tsentralnoho pidvishuvannya dyzel-poizdiv DR1A [Experimental-and-theoretical evaluation of strength indices of the central suspension beams of diesel trains]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2011, issue 37, pp. 7-19.
2. Gorobets V.L., Bondarev O.M., Skoblenko V.M. Analiz ekspluatatsiinoi narobky nesuchykh konstruktsii rukhomoho skladu v zadachakh prodovzhennia terminu yoho ekspluatatsii [Analysis of accrued operating time of supporting structures of rolling stock in problems of prolongation its operation life]. *Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2010, issue 35, pp. 10-16.
3. Dashchenko A.F., Lazareva D.V., Suryaninov N. G. *ANSYS v zadachakh inzhenernoy mekhaniki* [ANSYS in problems of engineering mechanics]. Odessa, Astroprint Publ., 2007. 488 p.
4. Lerner B.M., Kovalev N.P., Lebedev V.P., Kuryatnikov A.A. *Dizel – poyezda. Ustroystvo, remont, ekspluatatsiya* [Diesel trains. Installation, repair, operation]. Moscow, Transport Publ., 1982. 279 p.
5. Zenkevich O.M. *Metod konechnykh elementov v tekhnike* [Finite elements method in engineering]. Moscow, Mir Publ., 1975. 542 p.

## ПРОМИСЛОВИЙ ТРАНСПОРТ

6. Mikhaylenko A.A. *Dizel-poyezda tipa DR A* [Diesel trains of type DR]. Moscow, Transport Publ., 1990. 337 p.
7. *Normy rashcheta i otsenki prochnosti nesushchikh elementov i dinamicheskikh kachestv ekipazhnoy chasti motorvagonnogo podvyzhnogo sostava zheleznykh dorog MPS RF kolei 1520 mm* [Norms for calculating and assessing the strength of bearing elements and dynamic qualities of the motor-car-wagon rolling stock of Railways of the MPS, Russian Federation of track gauge 1,520 mm]. Moscow, VNIIZhT Publ., 1997. 147 p.
8. Potemkin A. *Tverdotelnoye modelirovaniye v sisteme KOMPAS-3D (+CD-ROM)* [Solid modeling in KOMPAS-3D]. Saint Petersburg, BKhV-Peterburg Publ., 2004. 512 p.
9. Rakov V.A. *Lokomotivy i motor-vagonnyy podvizhnoy sostav zheleznykh dorog Sovetskogo Soyuz (1976-1985 gg.)* [Locomotives and motor-car rolling stock of the Soviet Union railways (1976-1985)]. Moscow, Transport Publ., 1990. 238 p.
10. *Rozrobka rekomendatsii po pidvyshchenniu terminu ekspluatatsii dyzel-poizdiv D1, DR1 na pidstavi provedennia eksperymentalno-analitychnykh robot», № DR 0199U000049* [Development of recommendations to improve the operation life of diesel trains D1, DR1 on the basis of experimental and analytical work, No. DR 0199U000049]. Dnipropetrovsk, 1999. 157 p.
11. Boyer Howard E. *Metals Handbook, 8<sup>th</sup> edition. Volume 10: Failure Analysis and Prevention. Fatigue Failures*. American Society for Metals Publ., 1975. 604 p.
12. Yoshida S., Innagaki N., Kanao M. Effect of size and frequency on fatigue properties of SM50B butt welded joint. *Journal Welding Society*, 1978, no. 9, pp. 5-10.
13. Mitsui Y., Kurobane Y., Harada K., Konomi M. Fatigue crack growth behaviours at the toe of fillet welded joints under plane bending load. / *Journal of the Japan Welding Society*, 1983, no. 3, pp. 58-65.

*Стаття рекомендована до публікації к.т.н., доц. А. Л. Пуларією (Україна); к.т.н, доц. О. Д. Жаковським (Україна)*

Надійшла до редколегії 15.09.2012

Прийнята до друку 28.11.2013