

УДК 629.463.66

Андрій Сулим<sup>1\*</sup>; Олег Орлов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Заступник директора з наукової роботи, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, 39621, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8144-8971>

<sup>2</sup> Науковий співробітник науково-дослідної лабораторії, Науково-дослідна лабораторія експериментальних досліджень залізничної техніки, Державне підприємство «Український науково-дослідний інститут вагобудування», вул. І. Приходька, 33, м. Кременчук, 39621, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1555-0297>

\* Автор, відповідальний за листування: [sulim1.ua@gmail.com](mailto:sulim1.ua@gmail.com)

## ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ДОВГОБАЗНОГО ВАГОНА-ПЛАТФОРМИ ШЛЯХОМ ПРОВЕДЕННЯ ВІБРАЦІЙНИХ ВИПРОБУВАНЬ

За результатами аналізу існуючих досліджень останнього періоду в напрямку досліджень міцності довгобазних вагонів-платформ встановлено необхідність експериментального обґрунтування конструктивних рішень рами довгобазних вагонів-платформ та оцінки точності теоретичних розрахунків шляхом проведення вібраційних випробувань на втому. Представлено методологію проведення вібраційних випробувань на втому довгобазного вагона-платформи. Наведено результати теоретичних досліджень з визначення міцності довгобазного вагона-платформи. Наведено результати експериментальних досліджень вібраційних випробувань на втому рами довгобазного вагона-платформи до та після конструктивного удосконалення. Приведено конструктивні зміни та удосконалення рами довгобазного вагона-платформи на етапі проведення експериментальних вібраційних випробувань на втому. Показано місце зародження та розвитку тріщини в конструкції рами довгобазного вагона-платформи. За результатами досліджень визначено фактичну міцність елементів конструкції вагона та обрано конструкцію довгобазного вагона-платформи з метою недопущення втомного руйнування та забезпечення необхідної експлуатаційної безпеки руху. Доведено необхідність удосконалення методів оцінки опору втомі зварних з'єднань рам довгобазних вагонів-платформ на стадії проектування.

Матеріали статті сприятимуть створенню нових моделей довгобазних вагонів-платформ для магістрального залізничного транспорту та модернізації існуючих моделей, а також підвищенню міцності та ресурсу під час їх експлуатації.

**Ключові слова:** випробування на втому, довгобазний вагон-платформа, коефіцієнт запасу, міцність, ресурс.

**Вступ.** Контейнерні перевезення є одним із основних секторів економіки залізничного транспорту, що забезпечують ефективність його роботи та задовольняють потреби експортно-імпортних та транзитних вантажопотоків. Зростаючі об'єми використання 40-футових великотоннажних контейнерів в таких перевезеннях потребують створення нових удосконалених вагонів-платформ збільшеної довжини. Таким чином, дослідження, направлені на створення довгобазного вагона-платформи, є актуальними.

**Постановка проблеми.** До цього часу накопичено значний досвід побудови та експлуатації контейнерних довгобазних вагонів-платформ. Однак під час створення довгобазних вагонів-

платформ для перевезення двох 40-футових контейнерів виробники стикнулися з рядом труднощів, а саме: в процесі експлуатації довгобазних вагонів-платформ з довжиною 25 м різних заводів-виробників були виявлені поперечні тріщини втомного характеру в несучих вузлах рам, що утворюються, як правило, в зонах зварних швів.

Даний факт ставить під сумнів можливість використання прийнятих методів оцінки опору втоми в розрахунках довгобазних вагонів-платформ та потребує експериментального підтвердження конструктивно-закладених параметрів міцності в умовах, максимально наближених до експлуатаційних.

**Аналіз останніх досліджень.** На цей час питанню підвищення втомної міцності довгобазних вагонів-платформ багато вчених і науковців залізничного транспорту приділяють особливу увагу. Даний факт в черговий раз підтверджує актуальність і необхідність вирішення питання удосконалення конструкції довгобазних вагонів-платформ з метою підвищення їх ресурсу. До основних досліджень щодо підвищення міцносних якостей довгобазних вагонів-платформ належать роботи Гуржи Н.Л., Донченка А.В., Кельріха М.Б., Ловської А.О., Федосова-Ніконова Д.В., Фоміна О.В., Чепурного А.Д., Шатунова О.В. [1–10]. В цих роботах детально розглянуто існуючі конструктивні рішення довгобазних вагонів-платформ та шляхи їх удосконалення, результати експериментальних досліджень міцносних характеристик цих вагонів, теоретичні та експериментальні методи досліджень міцності основних несучих елементів конструкції довгобазних вагонів-платформ, а також ряд інших питань. Разом з тим, питання експериментального дослідження міцності довгобазного вагона-платформи шляхом проведення вібраційних випробувань на втому в зазначених роботах детально не розглядалось. Тому, в цій роботі пропонується зосередитись на цьому актуальному питанні.

**Мета** – визначення втомної міцності довгобазного вагона-платформи за допомогою експериментальних досліджень шляхом проведення вібраційних випробувань на втому.

**Матеріал та результати досліджень.** Об'єктом досліджень є довгобазний вагон-платформа, призначений для перевезення великотоннажних контейнерів типорозмірів 1А, 1АА, 1АХ, 1С, 1СС, 1СХ. Унікальною особливістю цього довгобазного вагона-платформи є можливість одночасного перевезення двох 40-футових контейнерів або чотирьох 20-футових контейнерів. Рама довгобазного вагона-платформи являє собою зварну металоконструкцію, основними несучими елементами якої є хребтова та бічні балки. Хребтова балка – це зварна конструкція коробчастого перерізу змінної висоти та товщини по довжині. Бічні балки мають двотавровий переріз, виконаний однієї по всій довжині з підсилюючими вертикальними ребрами. Бічні балки з'єднані між собою двома шворневими балками, проміжними поперечними балками та розкосами. Довжина вагона по осях зчеплення автозчепів складає 25,62 м, база – 18,5 м.

У зв'язку з тим, що конструкція рами довгобазного вагона-платформи є складною просторовою системою, яка повинна забезпечувати максимальну вагову ефективність за заданої міцності, розрахунок виконувався з використанням програмних пакетів скінченно-елементного аналізу.

Для перевірки втомної міцності виконано розрахунок опору втоми рами довгобазного вагона-платформи під час багатоциклічного навантаження. Результати розрахунку показали, що конструкція витримує діючі навантаження з достатніми запасами міцності на весь призначений строк служби.

Під час проведення експериментальних досліджень довгобазний вагон-платформа був навантажений чотирма імітаторами 20-футових контейнерів до повної вантажопідйомності (рис. 1).

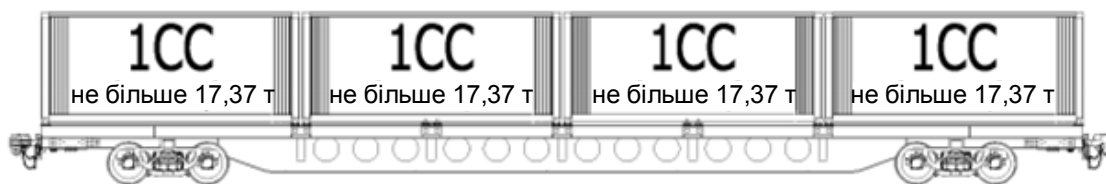


Рис. 1. Схема завантаження довгобазного вагона-платформи під час випробувань

Як основне обладнання під час проведення вібраційних випробувань на втому використовувалось спеціальне пристосування (стенд) з пневмомеханічним збудником коливань, що забезпечує створення зовнішнього збуджуючого впливу на довгобазний вагон-платформу та стабільне підтримання режиму коливань. Пневмопульсаторні елементи були встановлені з обох кінців вагона та розміщені вздовж осі вагона біля шворневих балок. Стенд для проведення вібраційних випробувань на втому залізничного рухомого складу розроблено та захищено охоронним документом [11] за колективної участі таких авторів як Кохан А.Е., Пузирьков В.І., Латишенок В.І., Кельріх М.Б. та інших. Детально складові стенду для проведення вібраційних випробувань на втому рухомого складу та принцип його дії описано в роботах [11, 12]. Слід зазначити, що на даний час розробники довгобазних вагонів-платформ широко використовують такі стенди під час здійснення вібраційних випробувань на втому, незважаючи на давність винаходу такого технічного рішення та наявності інших високотехнологічних стендів з можливістю одночасного формування поздовжніх, поперечних та поздовжньо-поперечних навантажень. Головними перевагами наведеного стенду є простота конструкції та реалізації, відносно низька вартість порівняно з іншими високотехнологічними стендами.

Для вибору режиму випробувань використовувались експериментальні дані за експлуатаційною навантаженістю деталі  $\sigma_{a,e}$ , отримані за результатами ходових міцносних випробувань. Еквівалентна приведена амплітуда динамічного напруження на нижньому поясі хребтової балки в центральному перерізі рами при цьому склала  $\sigma_{a,e} = 32$  МПа. Величина випробувальної амплітуди в даному перерізі під час проведення випробувань склала  $\sigma_{a,вин} = 45$  МПа.

Напруження на нижньому поясі хребтової балки в центральному перерізі рами під час проведення випробувань склали:

- $\sigma_{cp} = 159$  МПа – середнє напруження циклу;
- $\sigma_{min} = 114$  МПа – мінімальне напруження циклу;
- $\sigma_{max} = 204$  МПа – максимальне напруження циклу.
- $\sigma_{a,вин} = 45$  МПа – випробувальна амплітуда.

1,89 Гц – частота коливань під час амплітуди, що встановилася.

Розрахункова кількість циклів під час випробувань для центрального перерізу рами визначалась (з урахуванням рівняння кривої втоми) за формулою [13-17]:

$$N_{вин}^p = \left( \left( \frac{\sigma_{a,N}^p}{\sigma_{a,вин}^{max}} \right) \right)^m N_0, \quad (1)$$

де  $\sigma_{a,N}^p \geq [n] \cdot \sigma_{a,3} \geq 1,15 \cdot 32 \geq 36,8$  МПа – розрахункова границя витривалості за амплітудою за базового числа циклів;

$[n] = 1,15$  – допустимий коефіцієнт запасу опору втоми;

$N_0 = 10^7$  – базове число циклів;

$\sigma_{a, \text{вип}}^{\text{max}}$  – максимальна амплітуда динамічних напружень в досліджуваній зоні конструкції вагона під час випробувань,  $\sigma_{a, \text{вип}}^{\text{max}} = 45$  МПа.

$m = 4$  – показник ступеня в рівнянні кривої втоми.

Розрахункова кількість циклів під час випробувань для центрального перерізу рами вагона склало 4 472 406 циклів.

Під час досягнення  $N_{\text{вип}} = 1\,980\,000$  циклів в конструкції було виявлено тріщини в круглих вікнах вертикального листа хребтової балки в центральній зоні рами. Місця та характер руйнування рами довгобазного вагона-платформи під час проведення вібраційних випробувань на втому наведено на рис. 2.

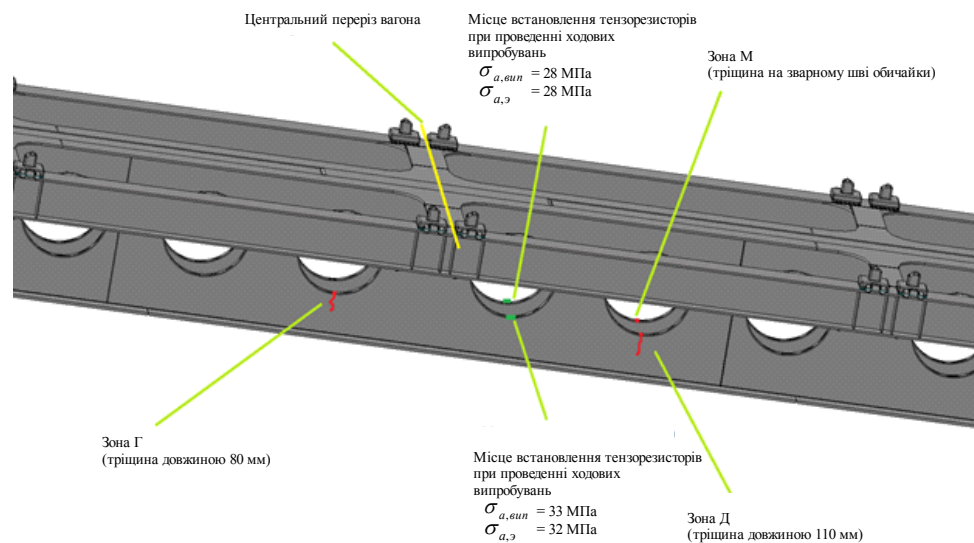


Рис. 2. Місця та характер руйнувань рами довгобазного вагона-платформи

При цьому коефіцієнт запасу опору втоми в місці зародження тріщини склав  $n=0,57$ , за необхідного  $[n] = 1,15$  згідно таблиці 13 ГОСТ 33211 [13].

Даний факт потребував проведення досліджень з уточнення силових впливів з урахуванням взаємодії контейнерів та конструкції рами, розроблення уточнених розрахункових схем та модернізації алгоритму проектування з урахуванням конструктивних особливостей довгобазних вагонів-платформ.

Після цього було виготовлено другий дослідний зразок довгобазного вагона-платформи, в конструкцію якого були внесені істотні зміни з метою підвищення запасу втомної міцності. Зміни в конструкції рами довгобазного вагона-платформи наведено на рис. 3.

Другий дослідний зразок довгобазного вагона-платформи був також підданий експериментальним дослідженням на міцність шляхом проведення вібраційних випробувань на втому з використанням стенду.

Під час проведення експериментальних досліджень напруження на нижньому поясі хребтової балки в центральному перерізі рами під час проведення випробувань склали:

- $\sigma_{\text{cp}} = 104$  МПа – середнє напруження циклу;
- $\sigma_{\text{min}} = 54$  МПа – мінімальне напруження циклу;
- $\sigma_{\text{max}} = 154$  МПа – максимальне напруження циклу;
- $\sigma_{a, \text{вип}} = 50$  МПа – випробувальна амплітуда.
- 1,97 Гц – частота коливань під час амплітуди, що встановилася.

Розрахункова кількість циклів під час випробувань  $N_{\text{вип}}^P$  визначалась за формулою (1) і склала 2 266 712 циклів.

Центральна частина нової хребтової балки

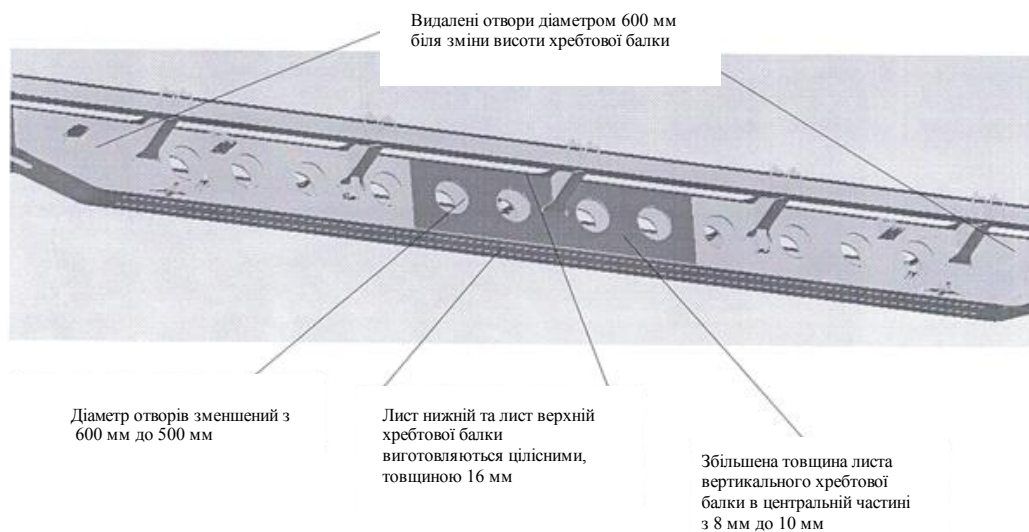


Рис. 3. Конструктивні зміни в рамі довгобазного вагона-платформи

Під час досягнення  $N_{вин} = 2\ 128\ 000$  циклів в конструкції рами довгобазного вагона-платформи було виявлено тріщину в зоні з'єднання вертикального та нижнього листів хребтової балки в центральній зоні рами. Місцем зародження тріщини виявився зварний шов в зоні переходу вертикального листа хребтової балки з товщини 10 мм на товщину 8 мм. Місце та характер руйнування рами довгобазного вагона-платформи зображено на рис. 4. При цьому коефіцієнт запасу опору втомі в місці зародження тріщини склав 1,196, за допустимого нормативного не менше 1,15 згідно таблиці 13 ГОСТ 33211 [13].

Після виявлення тріщини випробування були продовжені з незмінною величиною випробувальної амплітуди  $\sigma_{a,вин} = 50$  МПа на нижньому поясі хребтової балки в центральному перерізі рами з постійним місцем контролю місця зародження та розвитку тріщини. При даному режимі було досягнуто  $N_{вин} = 2\ 267\ 000$  циклів при базовому розрахунковому числі циклів для центрального перерізу рами  $N_{вин}^p = 2\ 266\ 712$  циклів.

Характер розвитку втомної тріщини після досягнення  $N_{вин} = 2\ 267\ 000$  циклів зображено на рис. 6.

При цьому коефіцієнт запасу опору втомі на нижньому поясі хребтової балки в центральному перерізі рами під час досягнення  $N_{вин} = 2\ 267\ 000$  циклів склав  $n = 1,15$ . Під час проведення досліджень в центральному перерізі рами та в зоні появи тріщини наведено осцилограми випробувальних амплітуд на рис. 6.

Результати теоретичних та експериментальних досліджень з визначення міцності конструкції в центральному перерізі рами та в зоні виявлення тріщини довгобазного вагона-платформи наведено в таблиці 1.

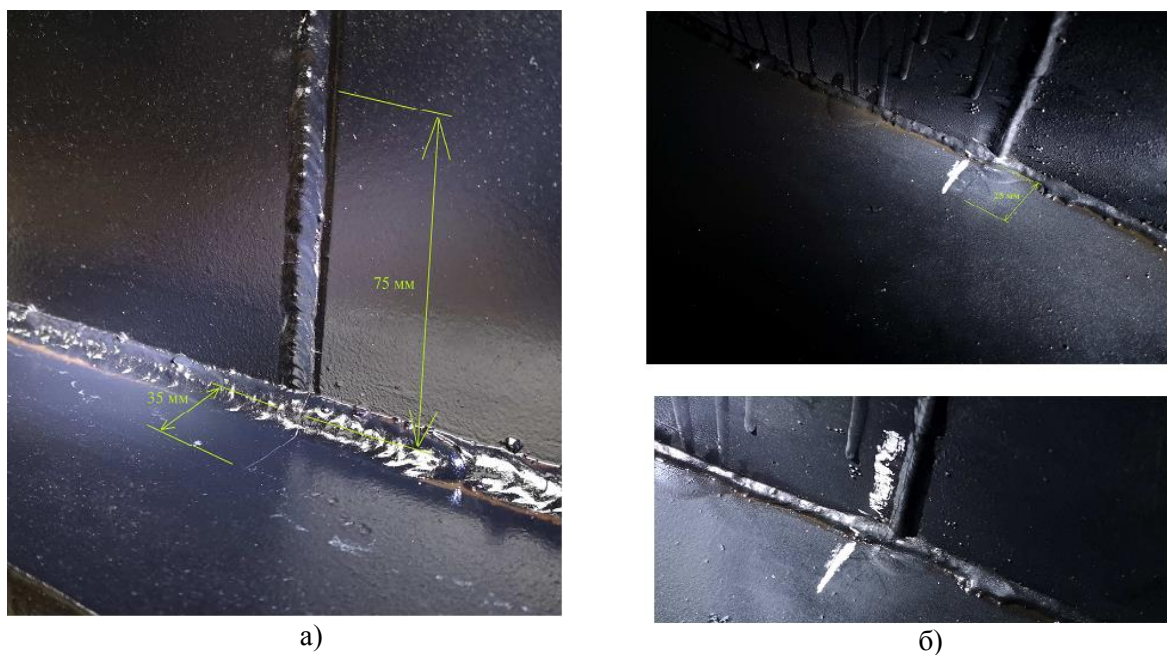


Рис. 4. Початок зародження тріщини: вид зовні (а) та зсередини (б) хребтової балки рами вагона-платформи

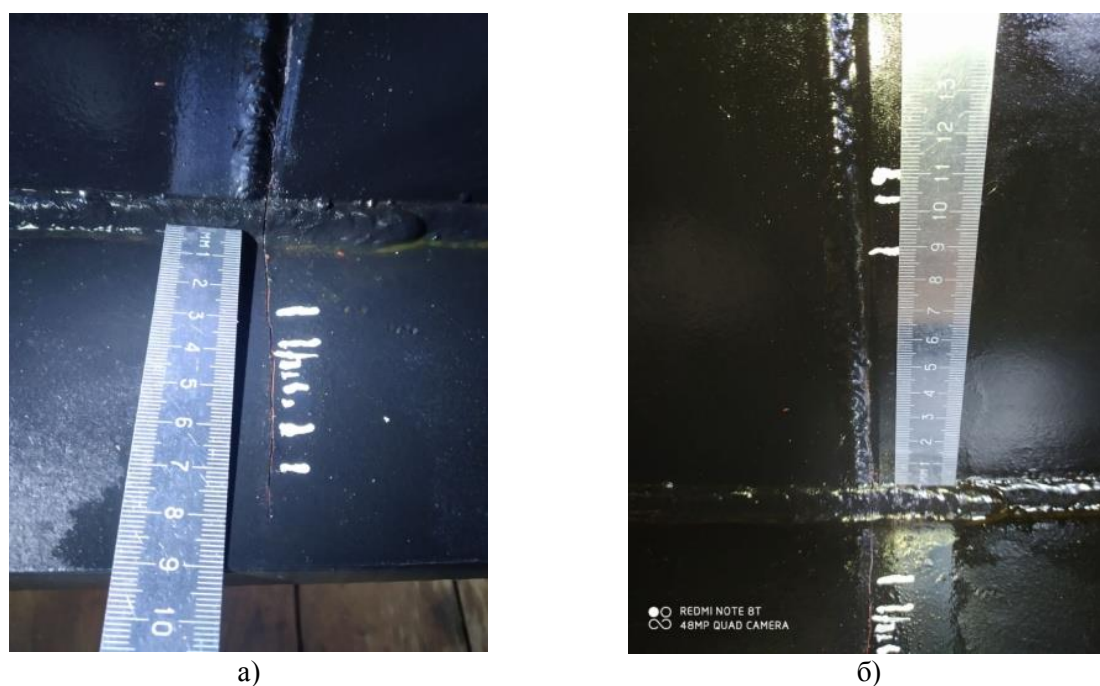


Рис. 5. Вид тріщини втомі після досягнення базового числа циклів: нижній (а) та верхній (б) лист хребтової балки вагона-платформи

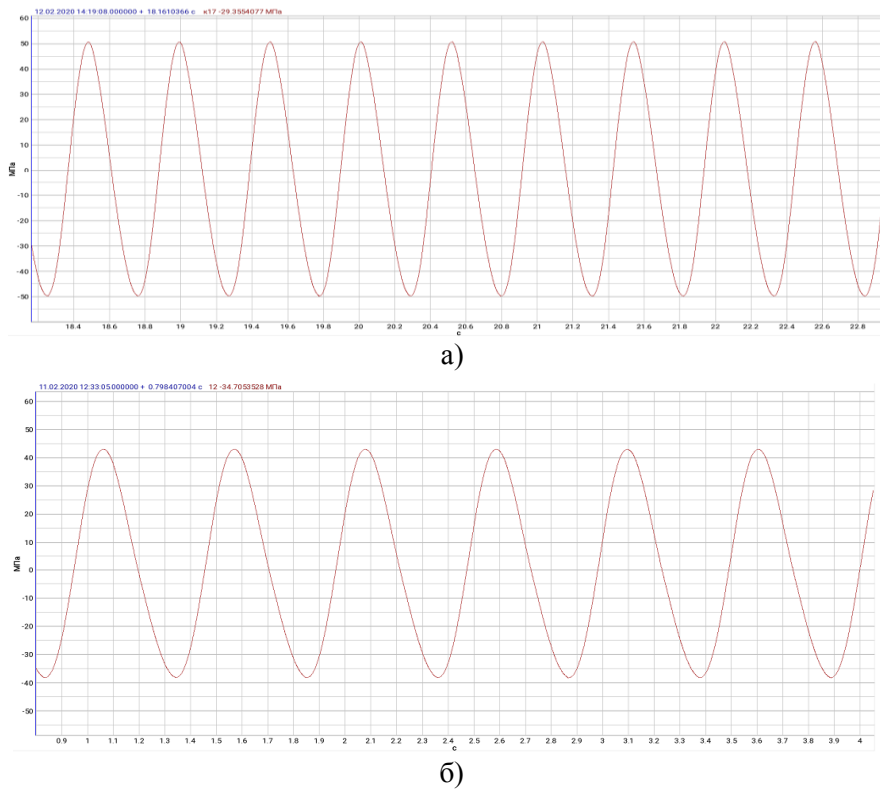


Рис. 6. Осцилограми випробувальних амплітуд під час проведення досліджень:  
**а** – в центральному перерізі рами; **б** – в зоні виявлення тріщини

Таблиця 1. Результати досліджень з визначення коефіцієнта запасу опору втомі

Місце дослідження конструкції	Розрахунковий	Експериментальний	Нормативний допустимий
Хребтова балка, центральний переріз, нижній лист	1,3	1,150	$\geq 1,15$
Хребтова балка (зона виявлення тріщини)	1,35	1,196	$\geq 1,15$

Таким чином, складність конструкції довгобазного вагона-платформи, різноманіття експлуатаційних навантажень та значна кількість факторів, що впливають на втомну міцність, зумовлюють необхідність експериментального обґрунтування конструктивних рішень рами довгобазного вагона-платформи та оцінки точності теоретичних розрахунків шляхом проведення досліджень в умовах максимально наближених до експлуатаційних.

### Висновки

1. Початкова конструкція довгобазного вагона -платформи мала недостатні міцносні якості, що підтвердилось за результатами експериментальних досліджень шляхом проведення вібраційних випробувань на втому. Найбільш слабкою виявилась центральна зона рами в круглих вікнах вертикального листа хребтової балки. Аналіз результатів експериментальних досліджень показав, що коефіцієнт втомної міцності в цих зонах склав 50 % від допустимого значення.

2. Удосконалено початкову конструкцію рами довгобазного вагона-платформи в частині видалення отворів діаметром 600 мм біля змінної висоти перерізу хребтової балки, зміни діаметру отворів з 600 мм до 500 мм, технології виготовлення листа нижнього та верхнього хребтової балки цілісним товщиною 16 мм, збільшення товщини листа вертикального хребтової балки в центральній зоні з 8 мм до 10 мм.

3. Після удосконалення конструкції довгобазного вагона-платформи та проведення експериментальних досліджень встановлено, що мінімальне значення коефіцієнта втомленої міцності в центральній зоні складає 1,196, що задовольняє величині допустимого нормативного значення не менше 1,15.

4. Визначено фактичну міцність елементів конструкції рами довгобазного вагона-платформи, обрано раціональну конструкцію вагона-платформи, виявлено місця з недостатньої міцності та запропоновано варіанти перерозподілу навантажень в конструктивно-силовій схемі довгобазного вагона-платформи з метою запобігання втомному руйнуванню та забезпеченню необхідних умов експлуатаційної безпеки руху. До заходів щодо запобігання втомного руйнування відносяться раціональне конструювання з метою виключення концентраторів напружень, зварних швів у зоні значних напружень, вибір оптимальної форми сполучення несучих елементів, підвищення енергоємності демпфуючих вузлів, обґрунтований вибір міцності конструкційних матеріалів.

5. Доведено необхідність оцінки точності теоретичних розрахунків та експериментального обґрунтування конструктивних рішень рами довгобазного вагона-платформи шляхом проведення вібраційних випробувань на втому.

6. Складність конструкції довгобазних вагонів-платформ, різноманіття експлуатаційних навантажень і значна кількість факторів, що впливають на втомну міцність, актуалізують завдання щодо вдосконалення методів оцінки опору втоми рам довгобазних вагонів-платформ на стадії проектування.

Подальші дослідження необхідно спрямувати на удосконалення методів оцінки опору втоми зварних з'єднань рам довгобазних вагонів-платформ на стадії проектування.

### ЛІТЕРАТУРА

1. Гуржи Н.Л. Поліпшення технічних характеристик секційного вагону-платформи шляхом вдосконалення конструкції : автореф. дис. канд. техн. наук : 05.22.07 / Гуржи Наталія Леонідівна : Дніпропетр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. В. Лазаряна. Д., 2010. 20 с.
2. Третяк Е.В., Сулим А.О., Хозя П.О. Основні типи конструкцій довгобазних вагонів-платформ та дослідження їх міцносних характеристик. Збірник наукових праць "Рейковий рухомий склад", 2020. Вип. 20. С. 27–33.
3. Кельрих М. Б., Федосов-Ніконов Д. В. Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи. Вісник Східноукраїнського Національного університету імені Володимира Даля, 2016. № 1 (225). С. 90 – 94.
4. Донченко А. В., Федосов-Ніконов Д. В. Методика розрахунково-експериментальних досліджень конструкції довгобазної платформи. Збірник наукових праць Державного економіко-технологічного університету транспорту. Серія: Транспортні системи і технології, 2016. Вип. 28. С. 53 – 60.
5. Чепурной А. Д., Литвиненко А. В., Шейченко Р. И., Граборов Р. В., Чубань М. А. Ходовые прочностные и динамические испытания вагона-платформы. Вісник НТУ "ХПІ", 2015. Вип. 31 (1140). С. 111 – 128.
6. Panchenko S., Fomin O., Vatulia G., Ustenko O., Lovska A. Determining the load on the long-based structure of the platform car with elastic elements in longitudinal beams. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. 2021. №1(7(109)). P. 6 – 13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224638>.
7. Fedosov-Nikonov D. V., Sulym A. O., Ilchyshyn V. V., Safronov O. M., Kelrikh M. B. Study of strength characteristics of the long wheelbase flat cars. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 2020. Vol. 985. 012029. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012029>
8. Shatunov O. V., Shvets A. O. Study of dynamic indicators of flat wagon with load centre shift. Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту, 2019. № 2 (80). С. 127 – 143. <https://doi.org/10.15802/stp2019/165160>
9. Фомін О. В., Ловська А. О., Рибін А. В. Дослідження повздовжньої навантаженості вагона-платформи з наповнювачем в несучій конструкції. Наукові вісті Давіського університету, 2021. №21. С. 1-7. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-17>

10. Анисимов П. С., Петров Г. И. Пространственные колебания вагона-платформы. Мир транспорта, 2014. №2. С. 20 – 26.
11. А.С. № 264739. 42 К 21/01. Стенд для вибрационных испытаний вагонов / А.Е. Кохан, В.И. Пузырьков, В.И. Латышенко, М.Б. Кельрих и др. № 1275872/27-11. Заявлено 14.10.68; Опубл. 03.03.70. 1970. Открытия. Изобретения. Бюл. 9. 2 с.
12. Бороненко Ю.П., Кельрих М.Б., Дубинский В.А. Исследование работы вибрационной установки для испытаний несущих конструкций на долговечность. Научные труды ДИИТ, 1980. Вып. 210(2). С. 3.
13. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам. М., 2016. 54 с.
14. ГОСТ 33788-2016 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и динамические качества. Москва, Стандартинформ, 2016. 46 с.
15. Терентьев В.Ф. Усталость металлических материалов. М.: Наука. 2003. 254 с.
16. Степнов М.Н., Чернышев С.Л., Ковалев И.Е., Зинин А.В. Характеристики сопротивления усталости. Расчетные методы оценки. М.: Технология машиностроения, 2010. 256 с.
17. Елизаров С. В., Каптелин Ю. П., Кульгавий Я. К., Савкин Н. М. Сопротивление материалов. Основы теории. Примеры. Задачи: учеб. пособие. СПб.: ПГУПС, 2006. 400 с.

## REFERENCES

1. Hurzhy, N.L. (2010). Polipshennia tekhnichnykh kharakterystyk sektsiinoho vahonu-platformy shliakhom vdoskonalennia konstrukttsii [Improving the technical characteristics of the sectional flat wagon by improving the design]. *Extended abstract of candidate's thesis. Dnipro: DNUZT* [in Ukrainian]
2. Tretiak, E.V., Sulym, A.O., & Khozia, P.O. (2020). Osnovni typy konstrukttsii dovhobaznykh vahoniv-platform ta doslidzhennia ikh mitsnosnykh kharakterystyk [The main types of structures of long-base flat wagons and the study of their strength characteristics]. *Zbirnyk naukovykh prats "Reikovy rukhomyi sklad" - Collection of scientific works "Railbound rolling stock"*, 20, 27–33 [in Ukrainian]
3. Kelrich, M. B., & Fedosov-Nikonov, D. V. (2016). Doslidzhennia na mitsnist konstrukttsii dovhobaznoi platformy [Research on the strength of the structure of a long-base platform]. *Visnyk Skhidnoukrainskoho Natsionalnoho universytetu imeni Volodymyra Dalia - Bulletin of the Eastern Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl*, 1(225), 90 – 94 [in Ukrainian]
3. Donchenko, A. V., & Fedosov-Nikonov, D. V. (2016). Metodyka rozrakhunkovo-ekspyrymentalnykh doslidzen konstrukttsii dovhobaznoi platformy [Methodology of calculation and experimental studies of the construction of a long-base platform]. *Zbirnyk naukovykh prats Derzhavnoho ekonomiko-tehnolohichnoho universytetu transportu. Seriya: Transportni systemy i tekhnolohii - Collection of scientific works of the State Economic and Technological University of Transport. Series: Transport systems and technologies*, 28, 53 – 60 [in Ukrainian]
4. Shatunov, O. V., & Shvets, A. O. (2019). Study of dynamic indicators of flat wagon with load centre shift. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport - Science and progress of transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2(80), 127-143. <https://doi.org/10.15802/stp2019/165160>.
5. Chepurnoi, A. D., Lytvynenko, A. V., Sheichenko, R. Y., Hraborov, R. V., & Chuban, M. A. (2015). Khodovye prochnostnye y dynamicheskiye yspytanyia vahona-platformy [Running strength and dynamic tests of the platform car.]. *Visnyk NTU "KhPI" - Bulletin of NTU "KhPI"*, 31(1140), 111 – 128. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-17> [in Russian].
6. Panchenko, S., Fomin, O., Vatulia, G., Ustenko, O., & Lovska, A. (2021). Determining the load on the long-based structure of the platform car with elastic elements in longitudinal beams. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, 1(7(109)), 6-13. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.224638>.
7. Fedosov-Nikonov, D. V., Sulym, A. O., Ilchysyn, V. V., Safronov, O. M., Kelrich, M. B. (2020). Study of strength characteristics of the long wheelbase flat cars. *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*, 985, 012029. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/985/1/012029>.
8. Shatunov O. V., & Shvets A. O. (2019). Study of dynamic indicators of flat wagon with load centre shift. *Nauka ta prohres transportu. Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transport - Science and progress of transport. Bulletin of the Dnipropetrovsk National University of Railway Transport*, 2(80), 127-143. DOI: <https://doi.org/10.15802/stp2019/165160>.
9. Fomin, O. V., Lovska, A. O., Rybin, A. V. (2021). Doslidzhennia povzdovzhnoi navantazhenosti vahona-platformy z napovniuvachem v nesuchii konstrukttsii [Research of the longitudinal loading of a flat wagon with filler in the load-bearing structure]. *Naukovi visti Dalivskoho universytetu - Scientific news of Dahl University*, 21, 1-7. <https://doi.org/10.33216/2222-3428-2021-21-17> [in Ukrainian].
10. Anisimov, P. S., & Petrov, G. I. (2014). Prostranstvennye kolebaniya vagona-platformy [Spatial oscillations of the flat wagon]. *Mir transporta - World of Transport*, 2, 20 – 26 [in Russian].
11. Kokhan A.Ye., Puzyrkov V.I., Latsyhenok, Kelrich M.B. et al. (1970). Vibration test stand. No. 1275872/27-11. Certificate of authorship No. 264739. 42 K 21/01. Appl. October 14, 1968. Publ. March 3, 1970. *Discoveries. Inventions*, 9 [in Russian].

12. Boronenko, Yu.P., Kelrich, M.B., & Dubinskiy V.A. (1980). Study of the operation of vibration installation for testing of the load-bearing structures for durability. *Scientific works of DIIT*, 210(2), 3 [in Russian].
13. Vagony gruzovye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [Freight wagons. Requirements for strength and dynamic qualities] (2016). *GOST 33211-2014*. Moscow [in Russian].
14. Vagony gruzovye i passazhirskie. Metody ispytaniy na prochnost' i dinamicheskie kachestva [Freight and passenger cars. Test methods for strength and dynamic qualities]. (2016). *GOST 33788-2016*. Moscow: Standartinform [in Russian]
15. Terent'ev, V.F. (2003). Ustalost' metallicheskih materialov [Fatigue of metallic materials]. *Moscow: Nauka* [in Russian].
16. Stepnov, M.N., Chernyshev, S.L., Kovalev, I.E., & Zinin, A.V. (2010). Charakteristiki soprotivleniya ustalosti. Raschetnye metody ocenki [Fatigue resistance characteristics. Estimation technique]. *M.: Tekhnologiya mashinostroeniya – M: Machine-building technology* [in Russian].
17. Elizarov, S.V., Kaptelin, Yu.P., Kul'gavij, Ya. K., Savkin, N. M. (2006). Soprotivlenie materialov. Osnovy teorii. Primery. Zadachi [Strength of materials. Fundamentals of the theory. Examples. Tasks]. *Saint-Petersburg.: PGUPS* [in Russian].

**Andrii Sulym<sup>1\*</sup>, Oleh Orlov<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Deputy director for research, State Enterprise " Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute", 33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

<sup>2</sup> Researcher of the research laboratory, Research laboratory of experimental studies of railway technics, State Enterprise " Ukrainian Scientific Railway Car Building Research Institute", 33 I. Prykhodka St., Kremenchuk, 39621, Ukraine

## **EXPERIMENTAL STUDIES OF THE STRENGTH OF A LONG BASE FLAT WAGONS BY CARRYING OUT ENDURANCE CYCLIC FATIGUE TESTS**

*The need for experimental validation of structural solutions concerning the frame of long-base flat wagon and assessment of the accuracy of theoretical calculations by carrying out resource cyclic fatigue tests based on the results of the recent studies analysis in the research of the strength of long-base flat wagons, was established. The methodology for carrying out resource cyclic fatigue tests of a long-base flat wagon is presented. The results of theoretical studies on determining the strength of a long-base flat wagon are described. The results of experimental studies of endurance cyclic fatigue tests of the frame of a long-wheelbase flat wagon before and after structural improvement are shown. Structural changes and improvements of the frame of the long-base flat wagon at the stage of experimental endurance cyclic fatigue tests are presented. The place of initiation and development of a crack in the structure of the frame of a long-base flat wagon is shown. Based on the results of the research, the actual strength of the elements of the wagon structure was determined and the design of the long-base flat wagon was chosen in order to prevent fatigue failure and ensure the required operational safety. The need to improve the evaluation methods of fatigue strength of welded joints of the long-wheelbase flat wagons frames at the design stage has been proven.*

*The content of the article will contribute to the construction of new models of long-base flat wagons for mainline railway and the modernization of existing models, as well as to increase their strength and service life while in operation.*

**Keywords:** *fatigue test, endurance limit, long-base flat wagon, fatigue strength safety factor, strength, service life.*