

## ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

### **Горбунов Микола Іванович,**

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри залізничного і автомобільного транспорту та підйомно-транспортних машин Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля.

Вул. Івана Федорова, 39, м. Київ, 03038.

Тел.: +38 095 309 10 39.

E-mail: gn0255@mail.ru

### **Герліці Юрай,**

д-р техн. наук, професор, завідувач кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету [Department of Transport and Handling Machines (KDMT), Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina], Словачія. Strojnícka fakulta, Univerzita 1, 010 26 Žilina.

E-mail: juraj.gerlici@fstroj.uniza.sk

### **Кравченко Катерина Олександрівна,**

канд. техн. наук, доцент, начальник відділу динаміки та міцності філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Укрзалізниця».

Вул. Івана Федорова, 39, м. Київ, 03038.

Тел.: +38 096 345 90 27.

E-mail: kkatherina@ukr.net

### **Лак Томаш,**

канд. техн. наук, доцент, начальник відділу досліджень кафедри транспорту та підйомно-транспортних машин Жилінського університету [Department of Transport and Handling Machines (KDMT), Faculty of Mechanical Engineering, University of Žilina], Словачія.

Strojnícka fakulta, Univerzita 1, 010 26 Žilina.

E-mail: tomas.lack@fstroj.uniza.sk

## Модернізація та ремонт

УДК 629.4.023.11

*Інженери Ю.В. Браславець, О.П. Коломієць, С.В. Кара, П.А. Шевчук*

### **ВІДНОВЛЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ УШКОДЖЕНИХ НЕСУЧИХ КОНСТРУКЦІЙ ЕЛЕКТРОВАЗА ВЛ82М №067**

**Ключові слова:** електровоз ВЛ82М, екіпаж, рама електровоза, модернізація, ремонт, випробування.

Вступ та постановка проблеми  
Двосистемний восьмивісний електровоз ВЛ82М №067 філії «Південна залізниця» ПАТ «Укрзалізниця» зазнав значних ушкоджень в результаті зіткнення з вантажним автомобілем на переїзді. Пошкоджень зазнали кабіна та рама кузова електровоза. З метою забезпечення обсягів перевезень з урахуванням безпеки руху було ініційовано проведення комплексної науково-дослідної роботи, в рамках якої для відновлення та модернізації ушкоджених несучих конструкцій електровоза були поставлені наступні задачі: 1. дослідження напружено-деформованого стану

несучих конструкцій та розробка проекту ремонту та модернізації; 2. проведення робіт з ремонту та модернізації; 3. проведення випробувань щодо відповідності ремонту та модернізації електровоза показникам безпеки.

#### **Основна частина**

Дослідження напружено-деформованого стану несучих конструкцій та розробка проекту ремонту та модернізації. Пошкоджений електровоз ВЛ82М №067 представлено на рисунку 1. Після експертного огляду несучих конструкцій електровоза у відповідності [1 – 8] було прийнято рішення щодо можливості відновлення електровозу для його подальшої роботи.

На підставі розроблених спеціалістами філії «НДКТИ» ПАТ «Укрзалізниця» пропозицій щодо відновлення рами кузова електровозу для усунення наслідків пошкоджень було виконано ряд відповідних робіт за проектом модернізації (відновлення):

1. Відновлення рами кузова шляхом поєднання до неї нової передньої частини з використанням підсилюючих елементів в місцях зварних з'єднань;

2. Заміна лобової частини рами кузова електровоза;

### 3. Проведення контролю якості зварних з'єднань.



Рис. 1 – Пошкоджений електровоз ВЛ82М № 067

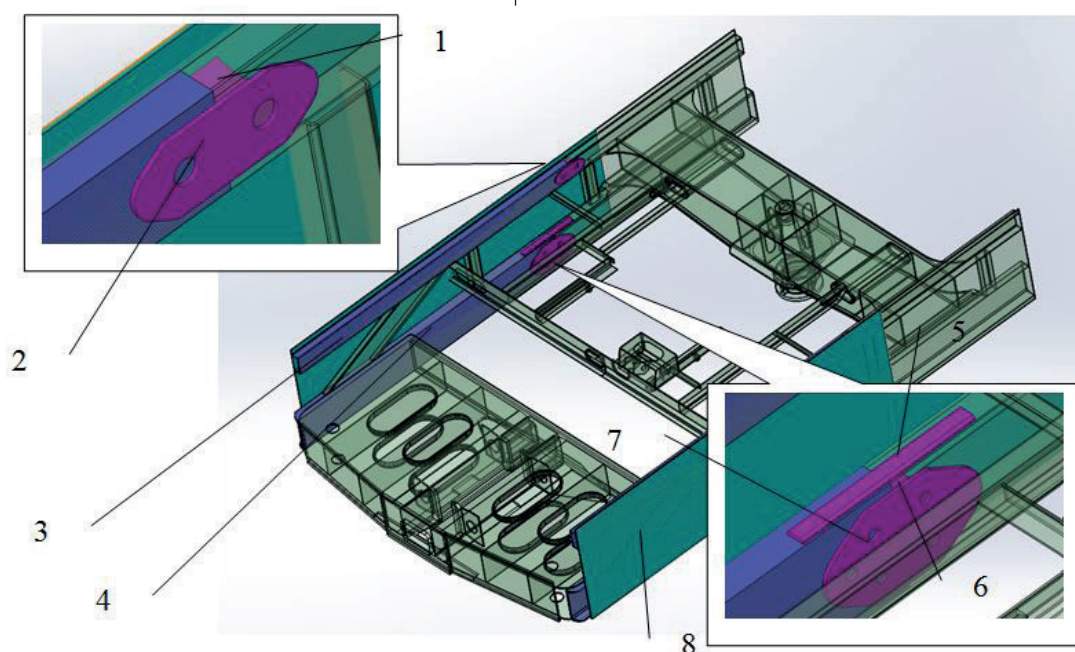


Рис. 2 – Основні елементи модернізації (відновлення) лобової частини рами кузова:  
1 – накладка внутрішня; 2 – накладка зовнішня; 3 – швелер; 4 – швелер; 5 – планка; 6 – накладка внутрішня; 7 – накладка зовнішня; 8 – лист

На рисунку 2 представлена комп'ютерна модель зміненої лобової частини рами кузова.

Для модернізації було проведено ряд розрахунків з використанням методу скінчених елементів (програмний комплекс SolidWorks) [9, 10]. Для цього було розроблено детальну 3-D модель рами кузова згідно конструкторській документації, як показано на рисунку 3, та кінцевоелементні (далі КЕ) моделі.

Для розрахунку напружено-деформованого стану рами кузова локомотива за режимами I, II згідно діючих Норм [11] розроблено розрахункові схеми навантажень та проведено розрахунки.

Для розрахунку напружено-деформованого стану рами кузова модернізованого локомотива згідно Норм розроблено відповідну 3-D модель (рис. 4), КЕ-модель та схему навантаження з урахуванням розподілу залишкових термічних напружень у зварних з'єднаннях згідно рекомендацій Міжнародного Інституту Зварювання 2008 р. [11–13]. Епюру еквівалентних напружень модернізованої рами представлено на рис 5.

Роботи з ремонту та модернізації електровозу були проведені згідно проекту модернізації.

Випробування з оцінки відповідності ремонту та модернізації електровоза показникам безпеки. Після повного відновлення та збору електровоза було проведено перевірку вертикального прогину боковин рами згідно діючих нормативних документів.



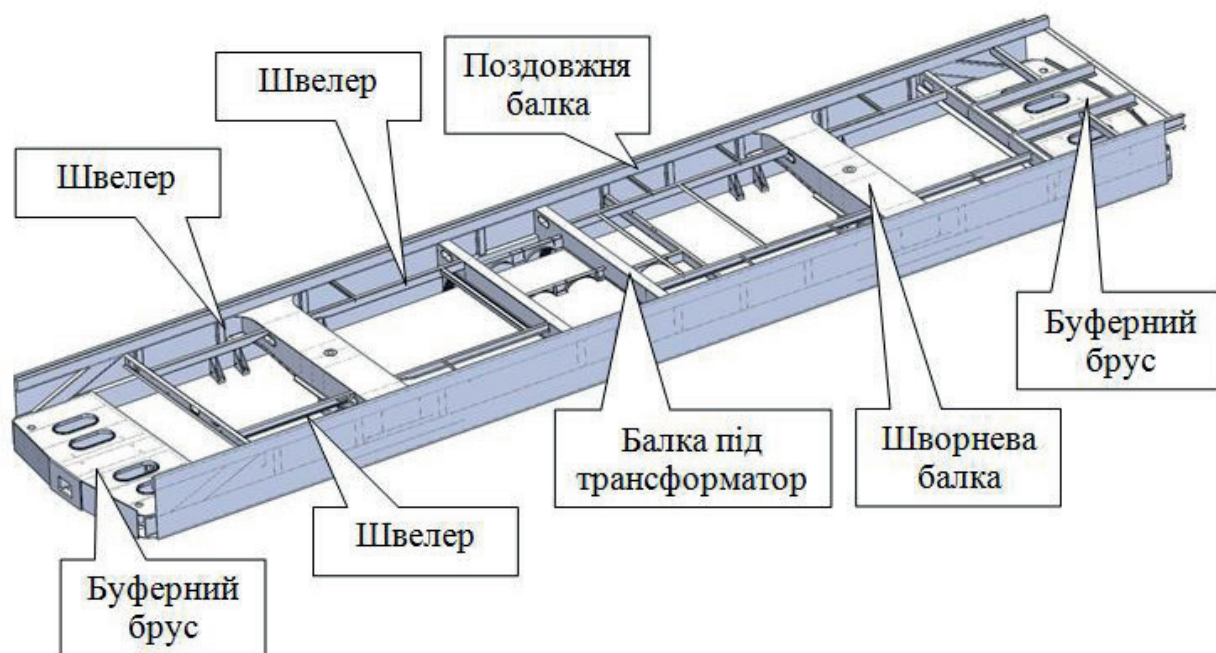


Рис. 3 – 3-D модель рами кузова електровоза ВЛ82М

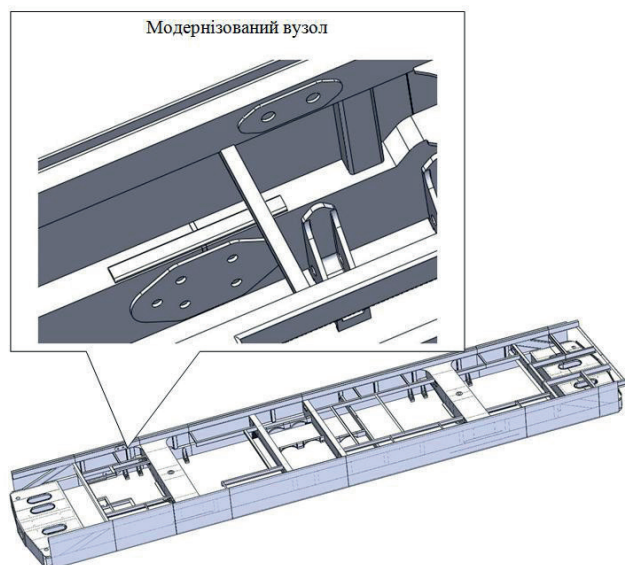


Рис. 4 – 3-D модель модернізованої рами кузова електровоза

Результати були отримані за 5-ти разове знімання кожної координати бокових рам електровоза з двох сторін, за допомогою приладу тахеометра та відбивачів.

За результатами поколісного зважування визначено різницю навантажень по колесах колісної пари, по осях в одному візку, по сторонах локомотива та підтверджено відповідність параметрів розважування діючим вимогам.

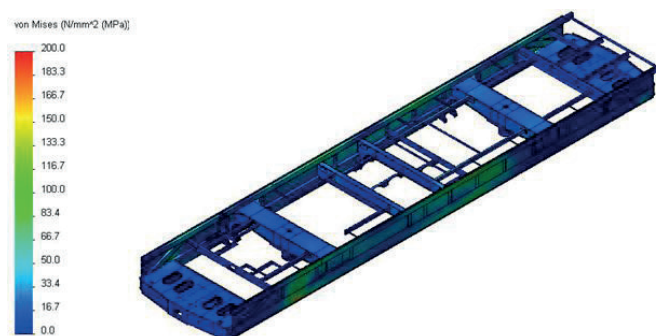


Рис. 5 – Епюра еквівалентних напружень модернізованої рами з урахуванням розподілу залишкових термічних напружень у зварних з'єднаннях

Згідно розробленої програми та методики ходових динамічних випробувань згідно [13] було виконано встановлення тензорезисторів на рамі електровоза з метою оцінки рівня напружень у зварних швах.

Тензорезистори були з'єднані в напівмостову схему Уїтстона, з одним активним та компенсаційним тензорезистором. Така схема складає вимірювальний канал, який доповнюється тензометричним модулем NI 9237. Зони встановлення тензорезисторів на раму кузова показано на рисунку 6.

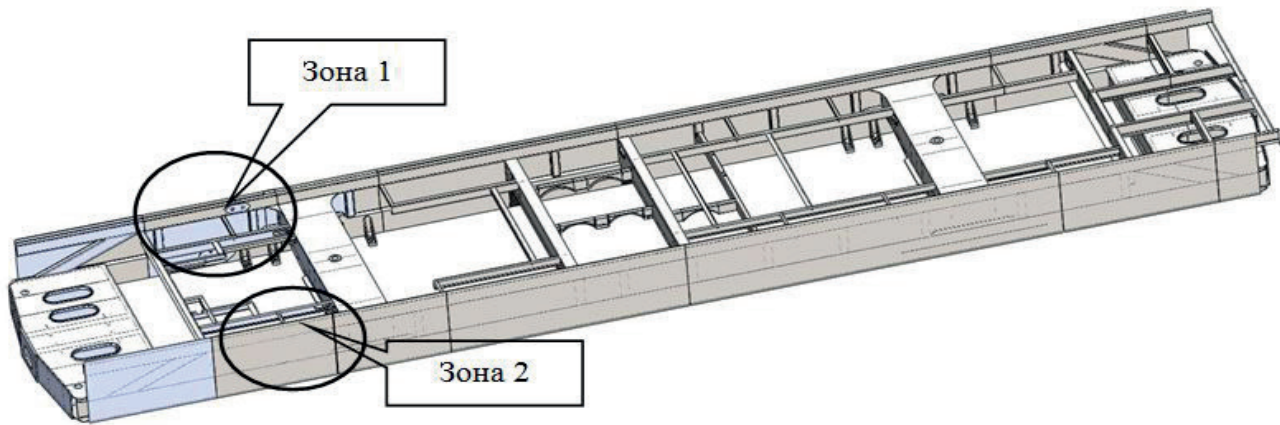


Рис. 6 – Місця розміщення тензорезисторів на рамі кузова електровоза

Для реєстрації показань тензорезисторів використовувався програмно – апаратний комплекс який складається з контролера NIcRio 9012 з модулями NI9237, та програмного забезпечення, розробленого в програмному пакеті LabVIEW.

Випробування проводилися на ділянці колії між станціями Куп'янськ-Вузл. – Полтава, зі швидкостями встановленими для вантажних поїздів (0 – 90 км/год).

Основним критерієм оцінки напружено-деформованого стану являється найбільше ймовірне значення напружень [12, 13].

З масиву максимальних значень амплітуд напружень знайдено найбільше значення ( $\sigma_{Vmax}$ ) за формулою:

$$\sigma_{Vmax} = \bar{\sigma}_{Vmax} + 2S,$$

де  $\sigma_{Vmax}$  - середня величина амплітуди з вибірки максимальних значень для даної градації швидкості (середнє абсолютне відхилення);

S - середнє квадратичне відхилення максимальних амплітуд (СКВ).

Також для оцінки відповідності опору втоми відновленого вузла кузова за Нормами визначено коефіцієнт запасу міцності за границею витривалості n, який не повинен бути менше – 2. Оцінка опору втоми здійснюється за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{-1}}{K_{\sigma}\sigma_v + \psi\sigma_m} > [n],$$

де  $\sigma_{-1}$  – середнє значення границі витрива-

лості стандартного зразка при симетричному циклі навантаження,  $K_{\sigma}$  – коефіцієнт, що характеризує пониження границі витривалості по відношенню до границі витривалості стандартного зразка,  $\sigma_v$  – амплітуда динамічних напружень,  $\sigma_m$  – середня напруження циклу (визначається напруженнями, які виникають від дії статичних навантажень, а також від дії квазістатичних сил виникаючих в режимі тяги, гальмування і при русі в кривій),

$\sigma_m = \sigma_{ст} + \sigma_f$ ,  $\sigma_f$  – напруження, виникаючі від дії сили тяги,  $\psi$  – коефіцієнт, що характеризує вплив асиметрії циклу, при  $\sigma_m > 0 \psi = 0.3$ .

при  $\sigma_m < 0 \psi = 0, [n]$  – допустимий коефіцієнт запасу міцності за границею витривалості.

Для оцінки кривої втоми за параметром імовірності відмови використано наступну залежність:

$$\sigma = \sigma_R(P; N) \cdot e^{\frac{A_R}{N(P) + B_R}}.$$

Нормативне значення границі витривалості  $\bar{\sigma}_R$  визначено за діаграмами граничних напружень циклу [12], як значення, відповідне гілці  $N \rightarrow \infty$ .

Нормативне значення середньоквадратичного відхилення  $S_{\sigma_{-1}}$  границі витривалості за групами елементів для симетричного циклу навантаження ( $R_{\sigma} = -1$ ) визначено за даними [12]. Для інших коефіцієнтів асиметрії циклу



$R_{\sigma}$  нормативне значення  $S_{\sigma_R}$  визначають залежно від значення  $S_{\sigma_{-1}}$  і  $R_{\sigma}$  за формулою:

$$S_{\sigma_R} = \frac{\sigma_R}{\sigma_{-1}} \cdot S_{\sigma_{-1}}.$$

В результаті розрахунків було отримано позитивний результат щодо коефіцієнту запасу міцності за границею витривалості та позитивний результат щодо втомної довговічності згідно Норм [11].

Локомотив в процесі ремонту та після відновлення показано на рис. 7.



Рис. 7 – Електровоз ВЛ82М-067 в процесі та після відновлення

### Висновки

Експертний огляд несучих конструкцій електровоза ВЛ82М №067, що зазнали ушкоджень, та результати виконаної комплексної науково-дослідної роботи з розробки проекту ремонту та модернізації, дозволили: оцінити напружено-деформований стан несучих конструкцій електровозу та розробити проект його

ремонту і модернізації; якісно виконати комплекс робіт з ремонту та модернізації локомотива; провести випробування з підтвердження відповідності електровоза показникам безпеки після виконаного його ремонту та модернізації.

Після проведення ремонтних робіт були виміряні максимальні вертикальні відхилення розмірів рами кузова, які відповідали допускам. За результатами поколісного зважування визначено різницю навантажень по колесам колісної пари, по осях в одному візку, по сторонах локомотива та підтверджено відповідність параметрів розважування діючим вимогам.

На основі результатів вимірювань динамічних напружень, що виникають в рамі кузова, під час дослідної поїздки в умовах та режимах звичайної експлуатації на лінії Куп'янськ – Полтава, визначено коефіцієнти запасу міцності за границею витривалості  $n$ . Всі визначені коефіцієнти більше  $n > 2$ , що відповідає вимогам «Норм», при цьому найменше значення  $n = 2,28$ . Згідно розрахунків втомної довговічності експлуатаційна навантаженість рами кузова не обмежує її строк служби.

### Література

1. ДСТУ ISO 17637:2003 Неруйнівний контроль зварних швів. Візуальний контроль з'єднань, виконаних зварюванням плавленням.
2. ДСТУ EN 583-1:2001 Неруйнівний контроль. Ультразвуковий контроль. Частина 1. Загальні вимоги.
3. ДСТУ EN 1290:2002 Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Магнітопорошковий контроль зварних з'єднань.
4. ДСТУ EN 1291:2002 Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Магнітопорошковий контроль зварних з'єднань. Критерії приймання.
5. ДСТУ EN 1714:2005 Неруйнівний контроль зварних з'єднань. Контроль зварних з'єднань ультразвуковий.
6. ДСТУ EN ISO 9934-1:2005 Неруйнівний контроль. Контроль магнітопорошковий. Частина 1. Загальні вимоги.
7. ДСТУ EN 13018:2005 Неруйнівний контроль. Контроль візуальний. Загальні вимоги.
8. ЦТ-0134 "Правила капітального ремонту КР-1, КР-2 електровозів змінного струму серій ВЛ80в/і, ВЛ82М.К.: ТОВ "НВП Поліграфсервіс", 2006. - 172 с.
9. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006/2007. Инженерный ана-

лиз методом конечных элементов / А.А. Алямовский. – М.: ДМК, 2007. – 784 с.

10. SolidWorks 2007/2008. Компьютерное моделирование в инженерной практике / А.А. Алямовський, А.А. Собачкин, Е.В. Одинцов, А.И. Харитонович, Н.Б. Пономарев. – СПб.: БХВ-Петербург, 2008. – 1040 с.

11. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов, динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520мм – М.: ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.

12. РД 50-694-90. Методические указания. Надежность в технике. Вероятностный метод расчета на усталость сварных конструкций. – Москва, 1991. – 84 с.

13. International Institute of Welding Fatigue Recommendations: <http://ru.scribd.com/doc/82937107/IIW-Recommendations-for-Fatigue-Design-of-Welded-Joints-and-Components-2008>.

#### ВІДОМОСТІ ПРО АВТОРІВ

**Браславець Юрій Володимирович**, провідний інженер відділу зварювання та ремонту відділення надійності філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Українська залізниця».

Вул. Глисерна, 14, м. Запоріжжя, Україна.  
Тел.: +38 050 965 33 04

**Коломієць Олександр Петрович**, начальник сектору вимірювань науково-дослідного відділу випробувань філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Українська залізниця».  
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, Україна.  
Тел.: +038 044 309 61 41

**Шевчук Павло Анатолійович**, начальник сектору комплексних інженерних розрахунків науково-дослідного відділу випробувань філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Українська залізниця».  
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, Україна.  
Тел.: +038 044 309 61 41

**Кара Сергій Віталійович**, провідний інженер науково-дослідного відділу динаміки та міцності філії «Науково-дослідний та конструкторсько-технологічний інститут залізничного транспорту» ПАТ «Українська залізниця».  
Вул. І. Федорова, 39, м. Київ, Україна.  
Тел.: +038 044 309 61 41.  
E-mail: kara1520mm@gmail.com

УДК 629.4.027.5

*Інженери О.М. Олексієнко,  
А.І. Феногенов, В.В. Нестикайло*

#### ВІДНОВЛЕННЯ РІЗЬБОВИХ ОТВОРІВ М20 ОСЕЙ РУ1Ш

**Ключові слова:** рухомий склад, вантажні вагони, колісні пари, осі, торцеві різьбові отвори, наплавлення отворів.

#### Вступ та постановка проблеми

Вісі колісних пар є масовими, коштовними і складними у виготовленні деталями конструкції вантажних вагонів. Термін придатності найбільш поширених осей типу РУ1Ш у значній мірі залежить від стану різьбових отворів М20 у їх кінцевих торцевих частинах. Структурний підрозділ

(СП) «Київське ПКТБ РС» філії «НДКТІ» ПАТ «Укрзалізниця», спільно з фахівцями Інституту електрозварювання імені Є. О. Патона Національної академії наук України, провели науково-дослідні та дослідно-конструкторські роботи (НДДКР) по відновленню різьбових отворів М20 осей РУ1Ш колісних пар вантажних вагонів з метою продовження терміну їх експлуатації [1].

#### Аналіз стану питання

Вісь РУ1Ш (рис.1) являє собою деталь циліндричної форми довжиною 2216 мм і масою понад 400 кг.

На торцях обох кінців вісь має по чотири глухих отвори з різьбленням М20 для кріплення за допомогою болтів шайб, що утримують на осі внутрішні обійми підшипників буксових вузлів. В процесі експлуатації вищевказані різьбові отвори сприймають значні навантаження, що призводить до пошкодження