

ПОРІВНЯЛЬНА ОЦІНКА ВПЛИВУ МОДЕРНІЗАЦІЇ НА НАПРУЖЕНО-ДЕФОРМОВАНИЙ СТАН РАМИ ВІЗКУ ЕЛЕКТРОВОЗА ВЛ60

В статті наведено результати розрахунку напружено-деформованого стану фрагменту несучої конструкції рами візку у варіанті заводу-виробника та модернізованого. Показано, що запропонований варіант модернізації приводить до зменшення рівня напружень найбільш навантаженого вузла.

В статті приведені результати расчета напряженно-деформированного состояния фрагмента несущей конструкции рамы тележки в варианте завода-изготовителя и модернизированного. Показано, что предложенный вариант модернизации приводит к уменьшению напряжений наиболее нагруженного узла.

In the paper the results of stressed-and-strained state calculations of the fragment of bogie frame supporting structure in the manufacturer's variant and modernized one are presented. It is demonstrated that the proposed variant of modernization leads to reduction of stresses of the most loaded unit.

Електровози ВЛ60 (рис. 1) переважно експлуатуються на магістральних коліях Одеської залізниці. Особливістю конструкції їх екіпажної частини є подвійний шкворневий вузол спирання кузова електровоза на візок (рис. 2).



Рис. 1. Електровоз ВЛ60пк у складі пасажирського поїзда

У процесі експлуатації вказаного електровоза на рамі візку спостерігалися втомні руйнування в зоні з'єднання бічних балок з литими поперечинами, які відмічені на рис. 2. Для виявлення причин цього явища було проведено динамічні ходові міцнісні випробування [1]. Аналіз результатів проведених випробувань показав, що найбільші напруження виникають при русі електровоза в кривих і практично не залежать від швидкості руху локомотива. Тому застосування організаційно-технічних заходів (обмеження швидкості руху) не мало сенсу.

В такій ситуації було прийнято рішення щодо розробки модернізації вузла з'єднання поздовжньої та поперечної балок, спрямованої на покращення показників міцності.

Оцінку впливу модернізації на залишковий ресурс рами візка в даній роботі пропонується проводити на підставі порівняння напружень у вищезазначеному місці.

Щодо застосування вказаного підходу необхідно приймати до уваги наступне:

1. Модернізація вказаного вузла має бути місцевою, тобто вона не повинна суттєво впливати на показники динамічності і навантаженості досліджуваного рухомого складу.

2. Тип зовнішнього, відносно досліджуваного елемента конструкції, навантаження бажано обирати з номенклатури нормативних [2] навантажень, які можуть приводити до появи втомних руйнувань в експлуатації вказаної несучої конструкції.

3. Для аналізу напружень, які виникають при навантаженні вказаного вузла конструкції, необхідно розробити математичні моделі (розрахункові схеми).

4. Повинні бути визначеними напруження, які виникають в навантажених місцях конструкції в базовому варіанті та при виконанні можливих варіантів її модернізації.

Порівняльний розрахунок ресурсу будемо проводити наступним чином.

Напрацювання базового варіанту несучої конструкції (без модернізації) під дією змінних навантажень визначаємо як

$$D_0 = \sum_{i=1}^K \sigma_{0Ei}^m \cdot n_i \quad (1)$$

Тут D_0 – міра наробітку базового варіанту конструкції; σ_{0Ei} – еквівалентне експлуатаційне напруження базового варіанту конструкції i -го рівня; K – сумарне число рівнів навантаження конструкції; $m = 4$ – показник [2] ступеня кривої витривалості; n_i – кількість циклів навантаження конструкції з напруженням відповідного рівня.

Напрацювання модернізованого варіанту несучої конструкції під дією змінних навантажень буде визначене як

$$D_m = \sum_{i=1}^K \sigma_{mEi}^m \cdot n_i \quad (2)$$

Тут D_m – міра наробітку модернізованого варіанту конструкції; σ_{mEi} – еквівалентне експлуатаційне напруження модернізованого варіанту конструкції i -го рівня; K – підсумкова кількість рівнів навантаження конструкції.

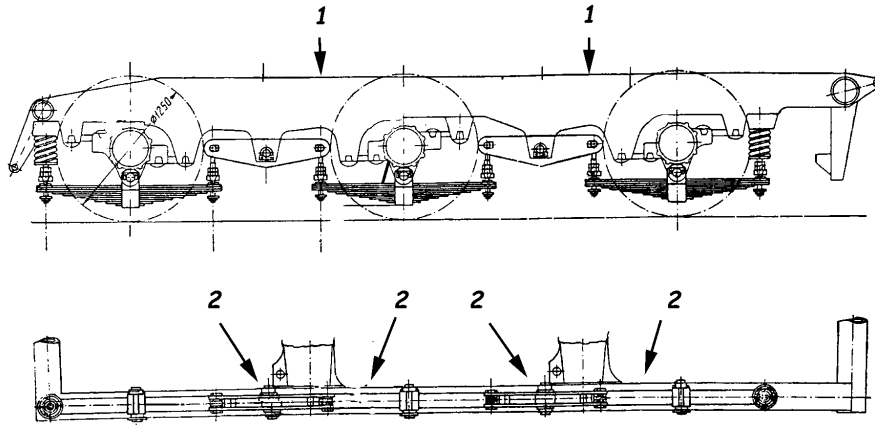


Рис. 2. Рама візку електровоза ВЛ60:

1 – місця розташування шкворневих вузлів; 2 – місця пошкоджень рами візка

Відношення ресурсу модернізованої конструкції до ресурсу базового варіанту d знаходиться як зворотне відношення наробітків [3]

$$d = \frac{D_0}{D_m} \quad (3)$$

Це відношення показує відносну величину тривалості терміну експлуатації базового варіанту конструкції та конструкції з модернізацією і може слугувати показником якості проведеної модернізації. Значення $d < 1$ відповідає модернізації, що погіршує існуючий ресурс конструкції, $d = 1$ відповідає модернізації, яка не впливає на ресурс несучої конструкції, $d > 1$ – модернізація, яка збільшує її ресурс. Чим більше величина d , тим краща якість модернізації.

У відповідності до наявної лінійної залежності між зовнішнім навантаженням та максимальним напруженням в несучій конструкції можна записати

$$\begin{aligned} \sigma_{0\max} &= r_0 P, \\ \sigma_{m\max} &= r_m P, \\ \sigma_{m\max} &= \frac{r_0}{r_m} \sigma_{0\max} = C \sigma_{0\max}, \end{aligned} \quad (4)$$

де P – зовнішнє зусилля (яке вибирається довільно); r_0 , r_m – коефіцієнти впливу дії навантаження на напруження в точках несучих конструкцій; C – константа, що залежить тільки від властивостей базової та модернізованої конструкції.

Константу C з (4) можна визначити також і при розрахунку варіантів конструкції під дією однакового навантаження як

$$C = \frac{\sigma_{0\max}}{\sigma_{m\max}} \quad (5)$$

Тоді рівняння (3) з урахуванням залежності (4) буде мати вигляд

$$d = \frac{D_0}{D_m} = \frac{\sum_{i=1}^K \sigma_{0Ei}^m \cdot n_i}{\sum_{i=1}^K \sigma_{mEi}^m \cdot n_i} = \frac{\sum_{i=1}^K (C \sigma_{0Ei})^m \cdot n_i}{\sum_{i=1}^K \sigma_{mEi}^m \cdot n_i} = \frac{C^m \cdot \sum_{i=1}^K \sigma_{mEi}^m \cdot n_i}{\sum_{i=1}^K \sigma_{mEi}^m \cdot n_i}.$$

Остаточно

$$d = C^m = \left(\frac{\sigma_{0\max}}{\sigma_{m\max}} \right)^m. \quad (6)$$

Вказане співвідношення (6) є основним розрахунковим співвідношенням, яке використовується для оцінки ефективності виконання модернізації несучих конструкцій рухомого складу.

Рама візку електровоза ВЛ60 є литовварною конструкцією. Бічна балка рами зварена з гнутих профілів, посилені по нижній полиці накладками. Поперечна балка – лита, з елементом жорсткості, через який вона приварена до бічної балки. Крім того, поперечна балка на кінцях по обидва боки містить циліндри-

чні елементи, які через круглі вирізи в бічних балках приварені до зовнішніх стінок. Для запобігання корозії зазначені ділянки з торців закриті круглими мембранами, що приварені до поперечних балок з боку зовнішніх стінок бічних балок. В експлуатації втомні тріщини зароджувалися, в основному, на внутрішніх стінках поздовжніх балок у районі низу краплевидної накладки.

Для розрахунку напружено-деформованого стану навантаженої ділянки рами візка за методом скінчених елементів була розроблена розрахункова схема, яка складалася з 2970 кінцевих елементів – трикутних і чотирикутних пластин (рис. 3).

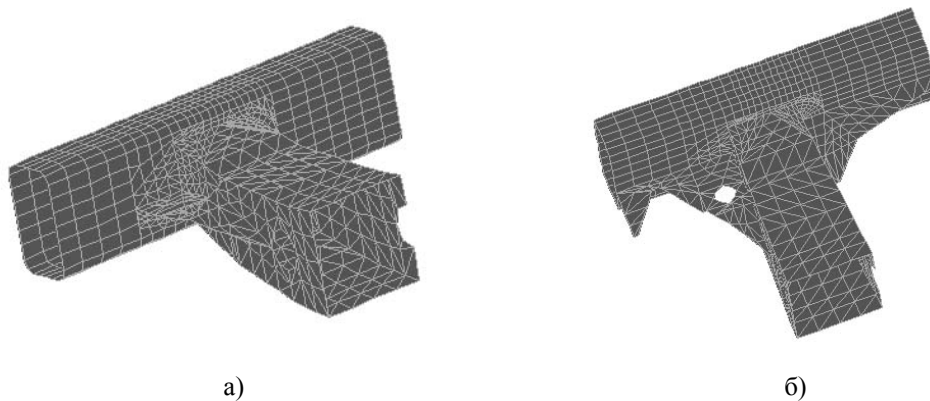


Рис. 3. Розрахункові схеми базового (а) варіанту конструкції рами візку електровоза ВЛ60 та модернізованих (б) конструкцій

Конструкція була закріплена від переміщень і кутів поворотів так, щоб це відповідало її деформаціям в експлуатації (рис. 4). До віддаленого краю ділянки поперечної балки приклада-

лися подовжні горизонтальні зусилля, що викликали деформації елемента рами, подібні тим, що виникають при русі електровоза в кривих.

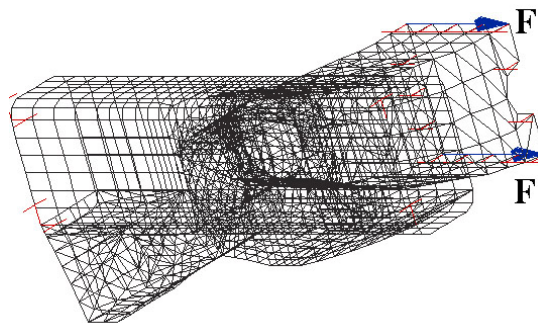


Рис. 4. Навантаження базового (без підсилень) елемента з'єднання поздовжньої та поперечної балок рами візку електровоза ВЛ60

На рис. 5 показано загальний вид напружено-деформованого стану вузла при сумарному навантаженні

величиною 10 кН.

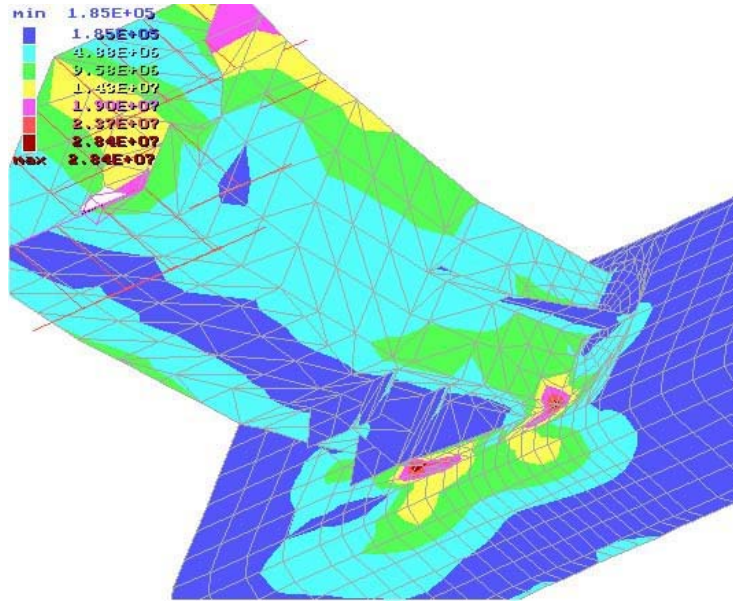


Рис. 5. Напруження у базовому (без підсилень) елементі з'єднання поздовжньої та поперечної балок рами візку електровоза ВЛ60

Найбільші напруження в елементі конструкції виявилися в місцях з'єднання накладки до бічної балки з нижньої її сторони. На рис. 6, 7 показані, відповідно, напруження в накладці і внутрішній стінці бічної балки рами візка. Їхній

вид дозволяє зробити висновок про те, що максимальні напруження в рамі візка електровоза ВЛ60 виникають у місцях їхніх руйнувань при рівнях навантажень, що відповідають руху локомотива в кривих.

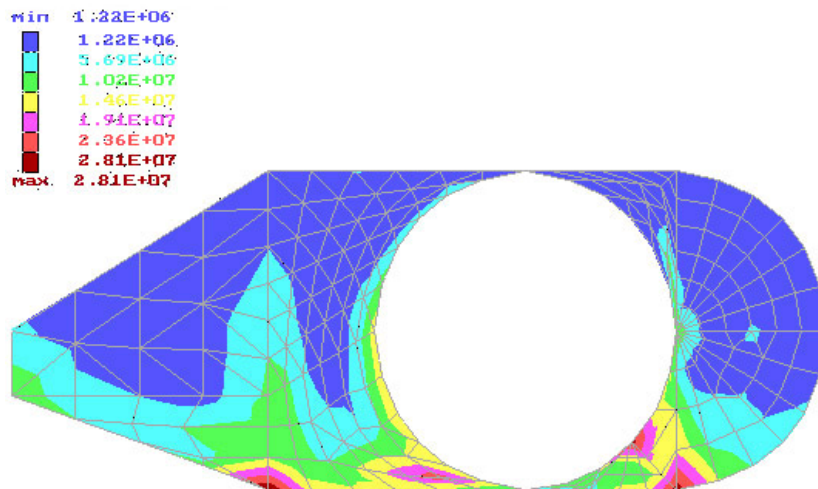


Рис. 6. Напруження у краплевидній накладці рами візку електровоза ВЛ60

В результаті розрахунку був отриманий розподіл деформацій і напружень з вищезазначених варіантів. Аналіз показав, що найбільш небезпечним є місце приварювання поперечної балки до поздовжньої – знизу.

В табл. 1 наведені значення еквівалентних напружень у найбільш навантажених точках. Показник кривої витривалості, з урахуванням

максимальної можливої концентрації напружень [2], приймався рівним $m = 4$.

Аналіз наведених результатів показує, що проста модернізація рам візків, яка запропонована і може бути здійсненою в умовах депо, приводить до зниження найбільших напружень у небезпечних точках до 20 %. Це означає, що запропонований спосіб дозволяє аналізувати напружено-деформований стан рам візків елек-

тровозів в умовах їх модернізації, сприяє зменшенню напружень у навантажених точках, та буде сприяти продовженню терміну їх експлуатації. За отриманими оцінками, можна очікува-

ти подвійне подовження терміну експлуатації розглянутого елемента конструкції електровоза ВЛ60.

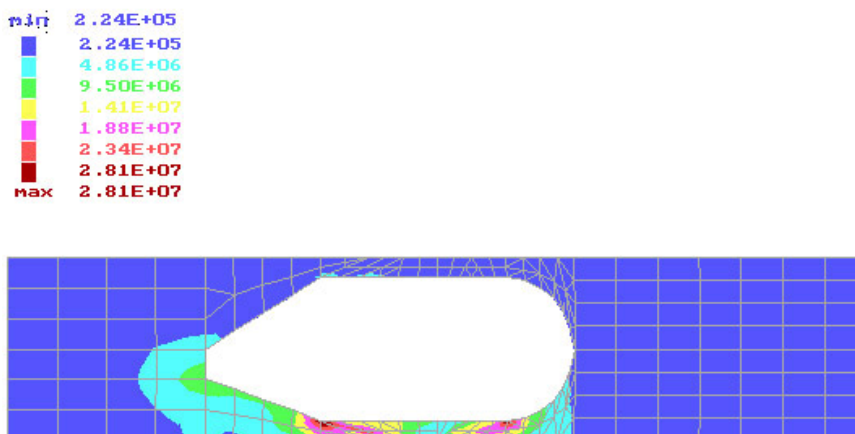


Рис. 7. Напруження у бічній стінці рами візка електровоза ВЛ60

Таблиця 1

Найбільші еквівалентні напруження та показник якості модернізації для розглянутих варіантів конструкції

№ пп	Варіант розрахункової схеми	Напруження, МПа	Показник ефективності модернізації
1	Модель базового з'єднання, яка складена за кресленнями заводу-виготівника	28,1	1,0
2	Модель модернізованого вузла, посиленого ребрами жорсткості	25,1	1,57
3	Модель модернізованого вузла, посиленого ребрами жорсткості та накладками	22,9	2,27

ВИСНОВКИ

1. Розроблено методику порівняльної оцінки ресурсу несучих конструкцій рухомого складу за розрахунком їх статичного навантаження.
2. Проведено аналіз напружено-деформованого стану елемента рами візка електровоза ВЛ60.
3. Проведений аналіз модернізації рами візків електровозів ВЛ60 дозволяє зробити висновок щодо можливого збільшення вдвічі строку експлуатації рам візків електровоза ВЛ60 у порівнянні з немодернізованою конструкцією візка.

БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

1. Бондарев А. М. Влияние эксплуатационных нагрузок на напряжения в элементах несущих электровоза ВЛ60 / А. М. Бондарев, В. Л. Горобец, В. И. Дворецкий, И. М. Грушак // *Залізничний транспорт України*, 2002 – № 4. – С. 21-25.
2. Нормы для расчета и оценки прочности несущих элементов и динамических качеств и воздействия на путь экипажной части локомотивов железных дорог МПС РФ колеи 1520 мм. – М: МПС РФ, ВНИИЖТ, 1998. – 145 с.
3. Довганюк С. С. Применение методов математического моделирования к оценке выносливости рам тележек тягового подвижного состава / С. С. Довганюк, В. Л. Горобец, И. М. Грушак // *Зб. наук. пр. Київського ун-ту економіки і технологій транспорту. Серія «Транспортні системи і технології»*. – Вип. 8. – К.: КУЕТТ, 2005. – С. 27-35.

Надійшла до редколегії 22.05.2008.