

УДК 629.463.004.4:656.211.7

*Візняк Р.І., к.т.н. (УкрДАЗТ)*  
*Ловська А.О., аспірант (УкрДАЗТ)*  
*Кеба Е.М., інженер (Одеський технікум залізничного тр-ту)*

**РОЗРОБКА ЗАХОДІВ ЩОДО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА  
АДАПТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЙ ВАГОНІВ ДО ЇХ НАДІЙНОЇ  
ВЗАЄМОДІЇ З БАГАТООБЕРТОВИМИ ПРИСТРОЯМИ  
ЗАКРІПЛЕННЯ ВІДНОСНО ПАЛУБ ЗАЛІЗНИЧНИХ ПОРОМІВ**

*Постановка проблеми.* З метою підвищення об'ємів перевезень через територію України отримала поширеного розвитку взаємодія комбінованого транспорту поміж окремими його галузями: залізничного та водного, які утворюють залізнично-поромні перевезення, а також залізничного та автомобільного, сумісна робота яких забезпечує функціонування контрейлерних перевезень.

Розвиток залізнично-поромного сполучення на Чорному морі розпочався з середини ХХ сторіччя. Зараз в експлуатації України знаходяться поромні маршрути: Тамань – Керч (Росія – Україна), Іллічівськ – Варна (Україна – Болгарія), Іллічівськ – Поті/Батумі, Керч – Поті (Україна – Грузія), Іллічівськ – Дериндже (Україна – Туреччина).

Для забезпечення стійкості кузова вагону проти зміщення та перекидання в умовах хвилювання моря здійснюється його технологічне закріплення на палубі поромного судна за допомогою комплексу судових пристроїв [1, 2].

Одним із головних недоліків існуючого способу закріплення і пристроїв взаємодії вагонів з палубою залізнично-поромних суден, які перешкоджають отриманню необхідного технічного результату надійності закріплення вагонів та збереженню їх вузлів та деталей в умовах морського хвилювання є саме відсутність в самій конструкції вагонів спеціальних місць закріплення ланцюгових стяжок за їх елементи, які відповідають цим умовам за міцністю.

*Аналіз останніх досліджень.* Відомо, що зміщення вантажу відносно штатних місць на судні є частою причиною зниження метацентричних висот, втрати остійності і загибелі морських суден. Тому

необхідним є забезпечення надійного закріплення вантажів відносно палуб суден за своїм конкретним призначенням при перевезеннях.

На підставі досліджень типових схем закріплень вагонів відносно палуб залізнично-поромних суден на станціях “Іллічівськ – Поромна” та ДП “ТИС – Крим” були визначені реальні зони елементів несучої конструкції кузовів вагонів, за які відбувається закріплення за найбільшим відсотком імовірності.

Найбільш частими з них є наступні випадки закріплення за конструкційні зони вагонів окремих типів, що постійно експлуатуються у залізнично-водному сполученні:

– криті: провушини для підтягування; нижні балки рами під дверима бокової стіни; нижня повздовжня балка рами бокової стіни;

– піввагон: запірні скоби кришок люків; запірні прилади, шкворневі балки рами;

– хопери: гаки для підтягування; нижня обв’язка в ділянці прилягання до стійки між бункерами; провушини для підтягування в ділянці переходу до консолі, якщо вона передбачена в конструкції, консольна частина рами; щелепи бокової рами візка; дільниця з’єднання розкосу стійки з шкворневою балкою рами; проміжні балки;

– цистерни: діафрагми “фасонної балочки” дерев’яних брусків під котлом; елементи піврами, скоби для підтягування;

– платформи: елементи рами; запірні прилади бортів; провушини для встановлення стійок; боковини візків.

Як видно, зони реальних закріплень значно відрізняються від тих, що затверджені до використання технологічними процесами поромних переправ своєю несиметричністю і випадковістю. Така випадкова експлуатація знижує рівень надійності і ефективності залізнично-поромних перевезень в цілому.

**Формулювання цілей статті.** Розробка заходів, спрямованих на підвищення збереження вагонів при перевезенні їх в умовах морського хвилювання, а також забезпечення більшої ефективності функціонування залізнично-поромних переправ у напрямку інтенсифікації експлуатації міжнародних транспортних коридорів.

**Викладення основного матеріалу статті.** Суттєвий вплив на напружено-деформований стан (НДС) кузова вагона при перевезенні його залізнично-поромним судном має симетричне просторове розміщення ланцюгових стяжок відносно площини кузова вагону. При відхиленні від симетричного закріплення ланцюгових стяжок за несучу конструкцію вагонів з’являється нерівномірність силового навантаження на кузов, що

приводить до остатніх деформацій і взагалі пошкоджень елементів конструкції. Проблема полягає ще у тому, що здійснити симетричне закріплення вагона відносно палуби судна фактично неможливо через конструкційну недостатність багатообертових засобів закріплення, а також відсутність спеціальних місць на вагоні.

На підставі проведених досліджень фактичних випадків за типовою схемою закріплення вагонів відносно палуб вітчизняних залізнично-поромних суден встановлено, що частіш за все воно помилково здійснюється за елементи конструкції вагонів, які призначені для підтягування їх під час маневрових операцій, а зовсім не для взаємодії із багатооберттовими судовими пристроями. Наслідками таких нерівномірних закріплень є пошкодження вагонів, оскільки динамічні процеси, що відбуваються з ними на судні при хвилюванні акваторії моря на ділянці розташування поромних маршрутів, значно відрізняються від маневрових робіт при підтягуванні, і враховують дію сил у різних напрямках (складний напружений стан), а не в одному постійному (одновісний напружений стан). Для перевірки міцності елементів конструкції кузовів при даних умовах експлуатації були побудовані їх 3-D моделі за допомогою програмного забезпечення SolidWorks [3] з подальшим розрахунком в CosmosWorks (вер.2010). При побудові кінцево-елементної моделі (КЕМ) використовувалися об'ємні просторові параболічні тетраїдральні елементи. Така конфігурація елемента забезпечує лінійне змінення переміщень в межах об'єму елемента, а отже, постійність деформацій в елементі [4].

Дискретизація проводилася в автоматичному режимі, кількість елементів сітки також визначалася автоматично.

Показники міцності вузла розраховувалися за критерієм Мізеса (критерій потенційної енергії формозмінення), тобто за IV теорією міцності, який визначає момент вичерпання несучої здатності зрівнянням величини еквівалентних напружень з межею текучості матеріалу. Повна потенційна енергія деформації складається з потенційної енергії змінення об'єму та потенційної енергії змінення форми. Під дією прикладених сил змінюється форма та об'єм.

При цьому зусилля, які діють на вузли посередництвом ланцюгових стяжок розраховувалися з урахуванням їх реального несиметричного розміщення відносно кузовів вагонів.

Багатоваріантні розрахунки підтвердили гіпотезу для встановлення критерія міцності – межового для НДС. Головний вплив на міцність конструкційних зон кузова вагона здійснює зростання кута нахилу судна (крен та диферент), а також дії прискорень відносно ланцюгових стяжок,

напрямки розташування стяжок по відношенню до місця закріплення вагону (зони), і відповідне прикладення напрямків навантажень, які перевищують межові значення напружень. Порушення міцності і остатні деформації у деяких конструкційних зонах виникають практично після досягнення узагальненим критерієм межового значення.

На підставі проведених розрахунків було встановлено, що напруження в елементах закріплення вагонів у всіх розглянутих випадках в декілька разів перевищують допустимі для марок сталей 09Г2Д та 09Г2С [5], що свідчить про подальшу неприпустимість закріплення ланцюгових стяжок за такою схемою.

Попередньо на кафедрі “Вагони” УкрДАЗТ було досліджено НДС кузова універсального піввагона нового покоління моделі 12-7023 при взаємодії його з ланцюговими стяжками в умовах хвилювання моря [6]. При цьому розглядалися різні варіанти закріплення ланцюгових стяжок до кузова вагону, на підставі чого було зроблено висновки, що напруження в конструкційних зонах закріплення вагонів при навантаженні його ланцюговими стяжками перевищують допустимі у випадку несиметричного закріплення та закріплення за схемою у відповідності з “Наставлением для крепления генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Плевны”” [7].

У випадку закріплення ланцюгових стяжок в кутах, що утворені шкворневою балкою та вертикальними стійками кузова вагону напруження в умовах бортової та кільової качок знаходяться в межах допустимих. Однак, здійснити подібне закріплення на практиці не можливо у наслідок геометричних особливостей вузла закріплення на кузові та гака ланцюгової стяжки.

У зв'язку з цим пропонується оснащення парку вагонів, які обертаються в міжнародному залізнично-поромному сполученні, спеціальними елементами для взаємодії з судовими пристроями закріплення вагонів (рисунок 1).

Напрямна гака 1 повністю повторює геометрію контуру зачеплення гака ланцюгової стяжки та призначена для взаємодії його з вузлом закріплення. Для зменшення концентрації напружень у зоні взаємодії вузла з опорною частиною передбачений радіальний прилив 2. Посередництвом циліндричної частини 3, висота якої проектувалася з урахуванням ширини гака за контуром зачеплення забезпечується чітка взаємодія гака з вузлом. Призматична частина 4 призначена для об'єднання робочої частини вузла з допоміжною, яка складається з

посилення 5. Опорні частини 6 вузла призначені для закріплення його на шкворневій балці вагона. Маса вузла складає 9,2 кг.

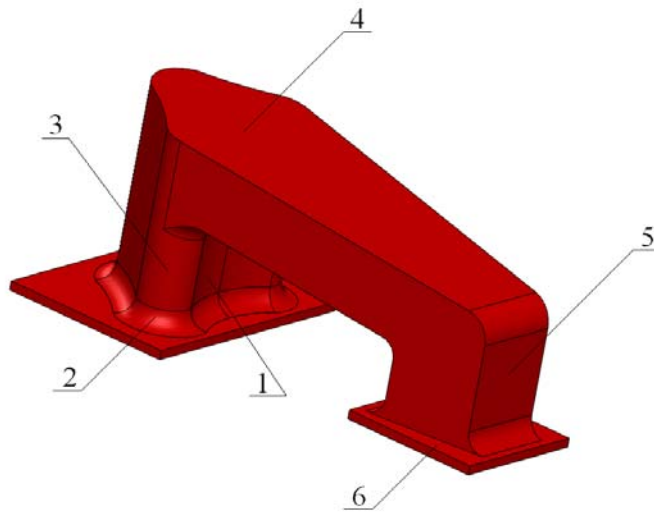


Рисунок 1 - Вузол для закріплення гака ланцюгової стяжки  
1 – напрямна гака ланцюгової стяжки; 2 – прилив радіальний; 3 –  
опора циліндрична; 4 – призматична частина; 5 – посилення; 6 – опорна  
частина

Для удосконалення конструкції вузла для закріплення гака ланцюгової стяжки використовувалася теорія оптимізації, за критерій оптимальності приймалася мінімізація металоємності вузла.

Цільова функція має вигляд:

$$F(x) = x_1 \cdot x_2 \cdot x_3 ,$$

де  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  – відповідно довжина, ширина та висота частини вузла, яка оптимізується, мм

Критерій оптимальності:

$$F(x) \rightarrow \min .$$

При обмеженнях:

$$1) \sigma_p \leq [\sigma],$$

де  $\sigma_p$  – розрахункові напруження, МПа.

Розрахункові напруження  $\sigma_p$  будуть визначатися:

$$\sigma_p = \frac{M}{W} + \frac{p}{S}.$$

2)  $h \geq h_{min}$ ,

де  $h_{min}$  – мінімально припустима висота вузла.

В даному випадку  $h_{min} = 40$  мм (з умови конфігурації гака ланцюгової стяжки).

3)  $n \geq 2$ ,

де  $n$  – запас міцності вузла.

Для дослідження НДС вузла для закріплення гака ланцюгової стяжки на вагоні був проведений розрахунок його на міцність за енергетичною теорією, при цьому кількість елементів сітки склала 8531, вузлів – 13829.

Розрахункова схема вузла наведена на рисунку 2, результати розрахунку на рисунку 3.

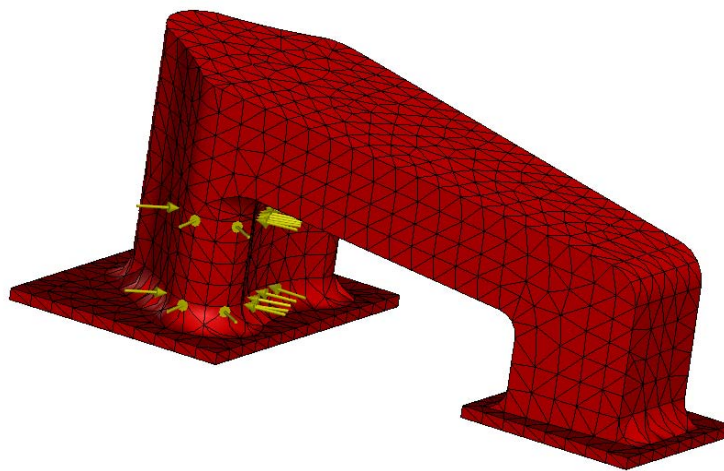


Рисунок 2 - Розрахункова схема вузла для закріплення гака ланцюгової стяжки на вагоні

При цьому закріплення вузла моделювалося як жорстке зацімлення за його опорні частини, а навантаження приймалося як рівномірнорозподілене від гака ланцюгової стяжки за зоною контакту з вузлом.

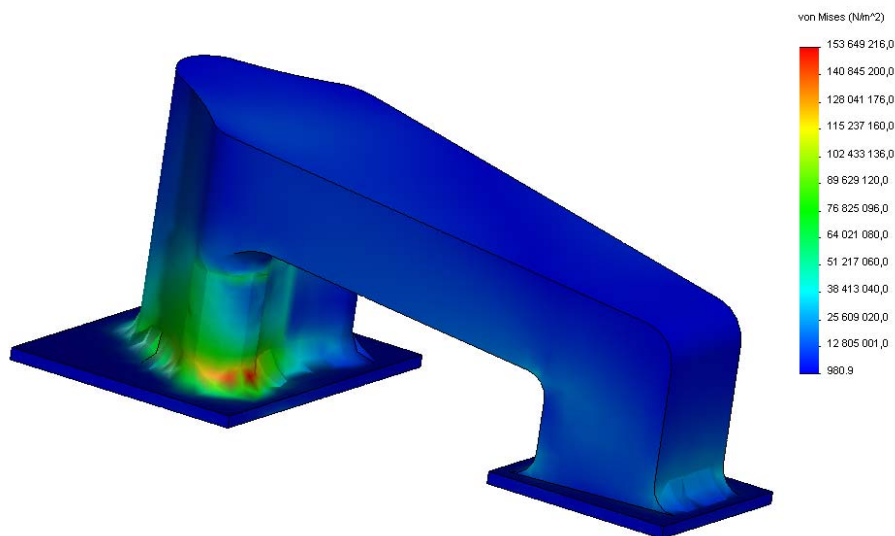


Рисунок 3 - Напружений стан вузла для закріплення гака ланцюгової стяжки на вагоні

З проведених розрахунків можна зробити висновок, що в умовах взаємодії гака ланцюгової стяжки з вузлом при навантаженні його робочої частини, а саме радіальної напрямної для гака ланцюгової стяжки та циліндричної частини максимальні еквівалентні напруження простежуються в зоні радіального приливу, який пов'язує робочу частину з опорною, та мають величину близько 150 МПа, що менше допустимих для завданих марок сталей (09Г2Д та 09Г2С), в перехідній частині та допоміжній напруження мають незначну величину – 10 МПа. Максимальні переміщення у вузлі складають 0,02 мм, деформації –  $5,7 \cdot 10^{-4}$  мм в зоні радіального приливу. Запас міцності конструкції дорівнює 2,12. Тобто при завданих силових навантаженнях вузла для закріплення гака ланцюгової стяжки забезпечується його міцність та надійність роботи.

Для дослідження НДС відповідних зон шкворневої балки піввагона при розміщенні на ній вузла для закріплення гака ланцюгової стяжки в умовах морського хвилювання було побудовано її просторову модель у відповідності з альбомом креслень піввагона моделі 12-757 побудови ВАТ “КВБЗ” та проведений розрахунок на міцність. Оскільки в дійсності шкворнева балка знаходиться в постійній взаємодії з іншими конструкційними елементами вагона, то в розрахунках їх дію було замінено зв'язками у відповідних зонах.

Кількість елементів сітки склала 14792, вузлів – 29265.

Напружений стан шкворневої балки з урахуванням розміщення на ній вузлів для закріплення гаків ланцюгових стяжок в умовах бортової качки як випадку найбільшої навантаженості конструкції представлений на рисунку 4.

З проведених розрахунків можна зробити висновок, що напруження в шкворневій балці знаходиться в межах допустимих і дорівнюють 190 МПа, переміщення в вузлах складає 0,7 мм, деформація  $7,7 \cdot 10^{-4}$  мм. Запас міцності конструкції становить 2.

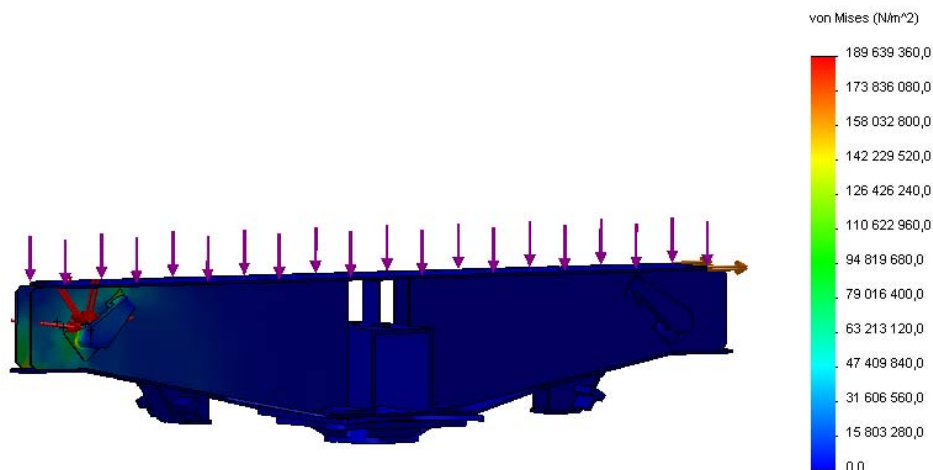


Рисунок 4 - Напружений стан шкворневої балки піввагона при взаємодії з ланцюговими стяжками при модернізації спеціальними вузлами для закріплення в умовах бортової качки судна

Для підвищення жорсткості перетину шкворневої балки піввагона в зоні розміщення вузла для закріплення гака ланцюгової стяжки пропонується оснащення його підсилюючими діафрагмами (рисунок 5).

Розрахунок шкворневої балки на міцність з урахуванням її підсилення показав, що напруження в умовах бортової качки складають близько 153 МПа, переміщення в вузлах 0,6 мм, деформація  $6,23 \cdot 10^{-4}$  мм, запас міцності дорівнює 2,12.



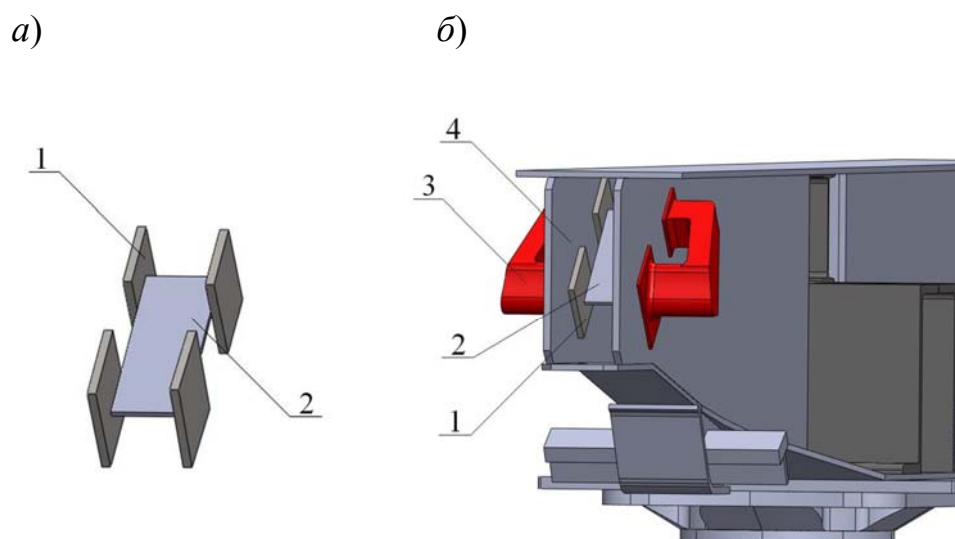


Рисунок 5 - Підсилення шкворневого перетину піввагона  
1 – підсилююча накладка; 2 – з’єднувальна накладка; 3 – вузол для закріплення гака ланцюгової стяжки; 4 – вертикальний лист шкворневої балки  
а) підсилююча кутова діафрагма; б) розміщення підсилюючої кутової діафрагми в шкворневій балці піввагона

Таким чином, при встановленні в шкворневий перетин підсилюючих кутових діафрагм стає можливим зменшити напруження в конструкції майже на 20% при незначному збільшенні металоємності шкворневої балки – 6,6 кг.

Для перевірки дотримання кутів розміщення ланцюгової стяжки відносно вагона було промодельовано закріплення її за вузол взаємодії з кузовом та встановлено, що кути розміщення ланцюгової стяжки у просторі відповідають зазначеним в [7].

**Висновки.** З проведених теоретичних досліджень стає можливим стверджувати, що при закріпленні вагонів відносно палуб залізнично-поромних суден з використанням існуючих технологій і технічних засобів, напруження в вузлах закріплення кузовів перевищують допустимі для марок сталей 09Г2Д і 09Г2С.

Тому, на кафедрі “Вагони” УкрДАЗТ був розроблений пристрій для взаємодії вагонів з ланцюговими стяжками залізничних поромів. Аналіз НДС вагонів при взаємодії з пристроями закріплення їх відносно палуби судна за новою технологією в умовах морського хвилювання показав, що напруження в елементах конструкції не перевищують допустимі і тим

самим забезпечується збереження вагонів при експлуатації їх в міжнародному залізнично-водному сполученні і підвищується ефективність експлуатації комбінованого транспорту.

***Список літератури***

1. Международная паромная переправа Илличевск – Варна / А.Е.Суколенов, Э.Захариев, И.Г.Гутин и др.; Под ред. А.Е.Суколенова. – М.: Транспорт, 1989. – 103 с.
2. Шмаков М.Г. Специальные судовые устройства. Л.: Судостроение, 1975. – 344 с.
3. Прохоренко В.П. SolidWorks 2005. Практическое руководство. – М.: ООО “Бином – Пресс”, 2006. – 512 с.: ил.
4. Алямовский А.А. SolidWorks/COSMOSWorks 2006 – 2007. Инженерный анализ методом конечных элементов. – М.: ДМК, 2007. – 784 с., ил. (Серия “Проектирование”).
5. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
6. Візняк Р.І., Ловська А.О. Дослідження напружено-деформованого стану кузовів піввагонів при перевезенні їх залізничними поромами/Зб. наук. праць. Харків: ХарДАЗТ. – 2009. – Вип. 111 – с. 189 – 197.
7. Наставление по креплению генеральных грузов при морской перевозке для т/х “Герои Плевны”. CARGO SECURING MANUAL for m/v “Geroi Plevny” № 2512.

**УДК 629.4.083.:629.463**

*Волошин Д.І., к.т.н. (УкрДАЗТ)  
Салівон Ю.С., аспірант (УкрДАЗТ)*

**ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМИ РЕМОНТУ ТА ТЕХНІЧНОГО  
ОБСЛУГОВУВАННЯ ВАНТАЖНИХ ВАГОНІВ З  
ВИКОРИСТАННЯМ ЛОГІСТИЧНИХ ПРИНЦИПІВ**

***Постановка проблеми.*** За останні роки в результаті нестабільної економічної ситуації в державі на залізницях України склалися негативні тенденції:

- зменшилися об’єми перевезення вантажів та пасажирів;
- збільшилася конкуренція відносно інших видів транспорту;
- знизилися платоспроможність попиту на перевезення;