

УДК 629.463.66:001.891

В.В. Ільчишин, А.М. Стринжа, В.А. Худієнко, Д.В. Федосов-Ніконов, В.М. Полулях (ДП «УкрНДІВ»), С.В. Долінський (ПрАТ «Дніпровагон-маши»)

ТЕОРЕТИЧНІ ТА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ МІЦНОСТІ ІННОВАЦІЙНОЇ КОНСТРУКЦІЇ БУНКЕРНОГО ВАГОНА

У статті розглянуто питання щодо теоретичного та експериментального дослідження міцності елементів конструкції вагона-хопера критого для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4152. Виконано аналіз розрахунків елементів рами, з використанням обчислювального комплексу, що реалізує метод скінчених елементів (МСЕ) та результатів експериментальних досліджень.

Ключові слова: вагон-хопер, міцність елементів, розрахункові та експериментальні напруження.

Постановка проблеми

Шворневий вузол є одним із найбільш навантажених вузлів вантажних вагонів, що експлуатуються на мережі колій Укрзалізниці. Питання покращення умов навантаження та зниження напружень у шворневому вузлі, а також продовження терміну його безпечної експлуатації знаходяться під постійною увагою виробників, експлуатаційників та вчених.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Проблеми міцності рухомого складу розглядалися в роботах В.А. Лазаряна [1, 2], Є.П. Блохіна [3], М.Б. Кельріха [4], С.В. Мямліна [5, 6], В.Д. Дановича [7], С.И. Соколова [8] та інших видатних вчених.

На даний час проблема міцності конструкцій бункерних вагонів неодноразово розглядалася як в Україні, так і в країнах СНД. Роботи щодо дослідження міцності конструкції бункерних вагонів проводилися в Білоруському державному університеті транспорту (БелДУТ), Державному підприємстві «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), Петербурзькому державному університеті шляхів сполучення (ПДУШС) та інших науково-дослідних закладах. У останніх публікаціях, присвячених бункерним вагонам, розглянуті питання щодо міцності елементів конструкцій вагонів-хоперів. У статті Макєва С.В. [9] розглянуте питання розрахунків на міцність основних несучих елементів, стійок, обшиви та інших елементів. Стаття Рахімова Р.В. [10] присвячена питанню дослідження елементів кузова на міцність, виявленню найбільш напружених зон та елементів.

© *Ільчишин В.В., Стринжа А.М., Худієнко В.А., Федосов-Ніконов Д.В., Полулях В.М. (ДП «УкрНДІВ»), Долінський С.В. (ПрАТ «Дніпровагонмаши»)*

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Дані публікації вказують, що останні дослідження спрямовані на підвищення міцності та надійності, покращенню технічних та експлуатаційних характеристик вагонів-хоперів.

Однак і сьогодні, при експлуатації нових моделей вагонів-хоперів різного конструктивного виконання, виникає багато запитань щодо їх міцнісних показників.

Мета статті

Вагони - хопери мають суттєві відмінні риси від вантажних вагонів інших типів - наявність розвантажувальних бункерів та похилих торцевих стін кузова. Зазначені відмінності багато в чому визначають міцносні якості бункерних вагонів. В експлуатації ці вагони отримують різні види ушкоджень, основні з яких обумовлені впливом ударних навантажень при розпуску вагонів з гірок. При проведенні експериментальних досліджень вагона-хопера, згідно [11], були виявлені зони перевищення допустимих напружень в елементах конструкції шворневого вузла [12-14]. Для зниження напружено-деформованого стану елементів конструкції шворневого вузла потрібно застосування теоретичного та експериментального методів. Один з таких методів дослідження із застосуванням математичної моделі наружено-деформованого стану, що адекватно відображує конструкцію та навантаження, що діють на неї, приведено у статті. Тому дослідження, спрямовані на підвищення міцності і надійності бункерних вагонів є актуальними.

Викладення основного матеріалу

З метою задоволення потреб перевізників, розширення номенклатури продукції, зниження собівартості перевезень та збереження вантажу, що перевозиться, багато вагонобудівних заводів України, Росії та інших країн СНД розробили й поставили на виробництво багато моделей вагонів-хоперів різного конструктивного виконання з покращеними показниками. Однак при проведенні випробувань нової продукції виникають проблеми з міцністю елементів конструкції.

У статті наведено результати досліджень напружено-деформованого стану несучої конструкції вагона-хопера критого для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4152 (основні технічні характеристики наведені в табл. 1) при статичних випробуваннях від дії вертикальних навантажень та випробувань на міцність при співударі нормативними навантаженнями [12-14].

Таблиця 1 - Основні технічні характеристики вагона-хопера критого для зерна та інших харчових вантажів моделі 19-4152

Наименование параметра	Значение параметра
Вантажопідйомність, т, не більше	71,5
Маса тари, т: - max - min	22,5 21,8
Об'єм кузова, м ³ , не менше	133
Максимальне розрахункове статичне навантаження від колісної пари на рейки, кН (тс)	230,5 (23,5)
Питома матеріаломісткість (відношення маси тари до вантажопідйомності)	0,315

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Кінець таблиці 1

Довжина вагона по осях зчеплення автозчепів, мм	14720±20
Висота від рівня головок рейок до вісі автозчепу у порожньому стані вагона, мм	1060±20
Кількість люків, шт.: - завантажувальних - розвантажувальних	4 або 5 6
Розміри люків, мм: - завантажувального - розвантажувального	1625x595 1100x325
Кут нахилу до горизонтальної площини, град: - торцевих стін кузова - стін бункерів	40 42; 55
Конструкційна швидкість, км/год, не більше	120

На рисунку 1 наведена схема шворневого вузла вагона-хопера, який був наданий для проведення випробувань. Під час проведення випробувань на співудар та статичних випробувань від дії вертикальних навантажень було встановлено перевищення нормативних напружень в елементах шворневої балки. Аналіз отриманих напружень свідчить, що причиною цього є низька міцність елементів конструкції, зумовлена конструктивними особливостями вагонів-хоперів.

При допустимому значенні 390 МПа на нижньому листі шворневого вузла, у місці з'єднання з хребтовою балкою, отримані значення 623 МПа та 406 МПа, що є перевищенням допустимих нормативних значень [12-14]. Виникла необхідність удосконалення та підсилення конструкції з метою перерозподілу напружень у шворневому вузлі.

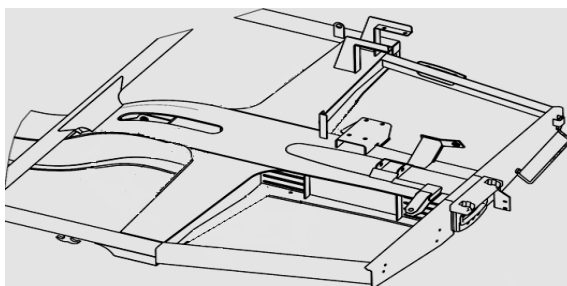


Рис. 1. - Схема шворневого вузла вагона-хопера моделі 19-4152

Крім того, в шворневій балці вагона за I розрахунковим режимом під час проведення експлуатаційних випробувань отримані напруження 346 МПа, за III розрахунковим режимом - 226 МПа, при допустимих для сталі класу міцності 390 відповідно 351 МПа та 240 МПа. Отримані напруження складають 98,6% та 94,2% відповідно від допустимих нормативних значень показників.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

На підставі результатів експериментальних досліджень проведено коригування розрахункової схеми та зроблені висновки про можливі варіанти перерозподілу напружень в зоні шворневого вузла.

Після коригування розрахункової схеми проведені повторні розрахунки шворневого вузла на міцність. Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення за I режимом наведено на рисунках 2-3.

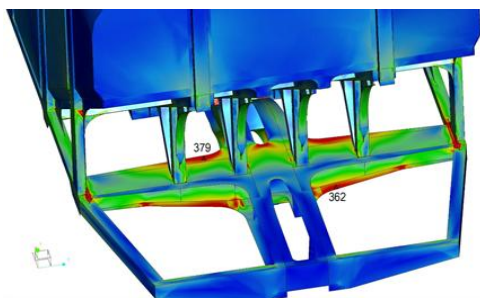


Рис. 2 – Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення за I режимом (вид зверху), МПа.

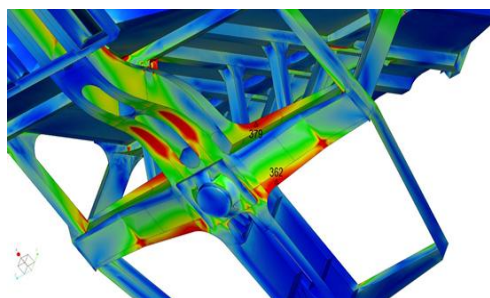


Рис. 3 - Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення за I режимом (вид знизу), МПа.

Збіжність результатів розрахунку і експериментальних досліджень за I режимом склала 96%.

Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення за III режимом наведено на рисунках 4-5.

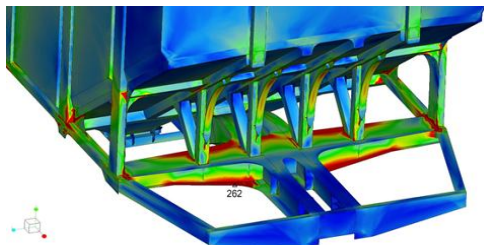


Рис. 4 – Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення за III режимом (вид зверху), МПа.

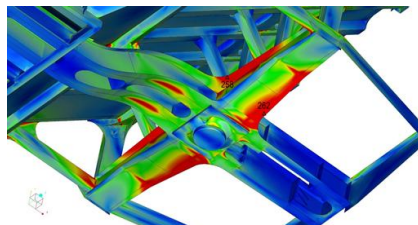


Рис. 5 – Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення за III режимом (вид знизу), МПа.

Збіжність результатів розрахунку і експериментальних досліджень за III режимом склала 86%.

Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення у режимі співудару наведено на рисунках 6-7.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

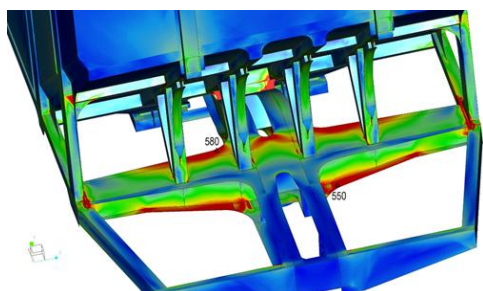


Рис. 6 – Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення у режимі співудару (вид зверху), МПа.

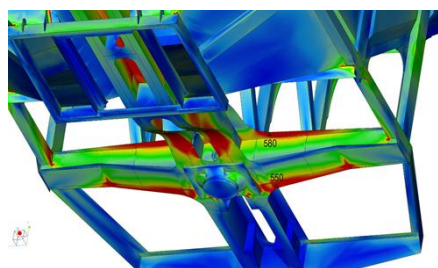


Рис. 7 – Напружено-деформований стан шворневого вузла до підсилення у режимі співудару (вид знизу), МПа.

Збіжність результатів розрахунку і експериментальних досліджень у режимі співудару склала 93%.

Результатами повторних розрахунків фактично співпали з результатами експериментальних досліджень, що свідчить про достовірність розрахункової схеми.

Після отримання позитивних результатів розрахунків з результатами експериментальних досліджень було виконано доопрацювання конструкції шворневого вузла з метою його підсилення. Для зменшення напружень, отриманих в ході випробувань вагона, в верхньому і нижньому листах шворневої балки було виконано армування крайок даних листів. Армування виконано листом товщиною 16 мм зі сталі класу міцності 390 МПа. Схема розташування армування крайок наведена на рисунку 8.

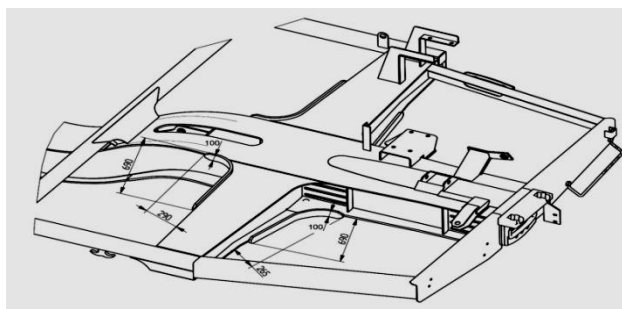


Рис. 8 - Схема виконання армування листів шворневої балки вагона-хопера моделі 19-4152

Розрахунок на міцність підсиленого вузла показав суттєві зниження напружень в елементах конструкції шворневого вузла:

- за I режимом – до 268 МПа (рисунок 9-10);
- за III режимом - до 220 МПа (рисунок 11-12);
- у режимі співудару – до 322 МПа (рисунок 13-14).

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

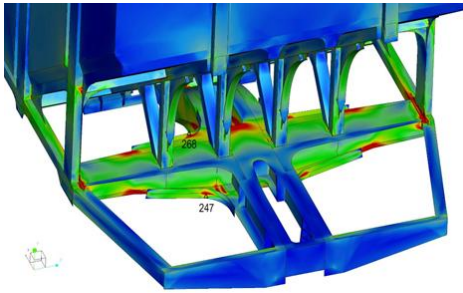


Рис. 9 – Напружено-деформований стан шворневого вузла після підсилення за I режимом (вид зверху), МПа.

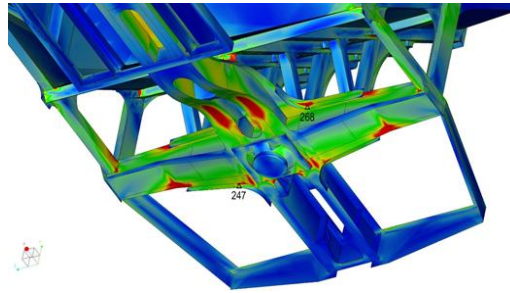


Рис. 10 – Напружено-деформований стан шворневого вузла після підсилення за I режимом (вид знизу), МПа.

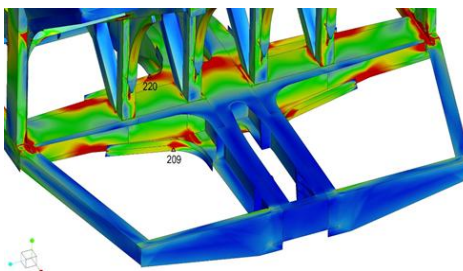


Рис. 11 – Напружено-деформований стан шворневого вузла після підсилення за III режимом (вид зверху), МПа

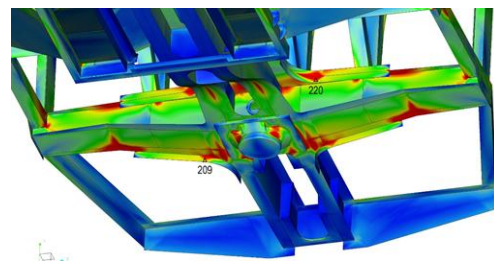


Рис. 12 – Напружено-деформований стан шворневого вузла після підсилення за III режимом (вид знизу), МПа.

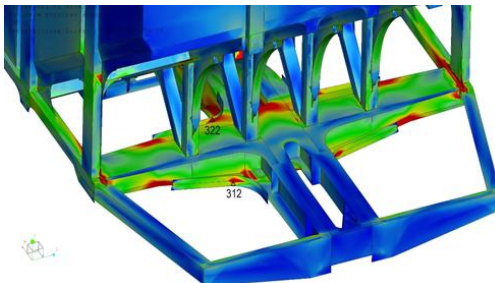


Рис. 13 – Напружено-деформований стан шворневого вузла після підсилення у режимі співудару (вид зверху), МПа.

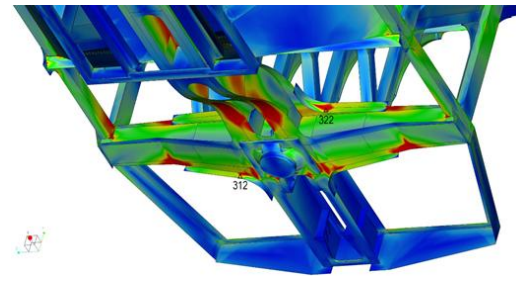


Рис. 14 – Напружено-деформований стан шворневого вузла після підсилення у режимі співудару (вид знизу), МПа.

Після підсилення шворневого вузла проведені додаткові експериментальні дослідження. Аналіз результатів показав, що максимальні сумарні напруження від статичних випробувань на міцність та на співудар в зоні підсилення склали 369 МПа та 384 МПа. Збіжність результатів теоретичних розрахунків та експериментальних досліджень склала 84% – 87%, що є задовільним результатом та підтверджує адекватність розрахункової схеми та достовірність можливих результатів розрахунків по іншим елементам конструкції вагона-хопера.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Експериментальні дослідження виконані тензометричним методом, причому особлива увага приділялася вимірюванню деформацій в шворневому вузлі, як найбільш навантаженому.

Обробка даних статичних випробувань на міцність виконувалася з використанням автоматизованих комплексів обробки дослідних даних з використанням статистичних методів.

Вимірювана величина при статичних випробуваннях визначалася за різницею показань засобів вимірювальної техніки до навантаження і після нього:

$$\sigma = (\Delta - \Delta_0) \cdot K, \quad (1)$$

де Δ - показання засобів вимірювальної техніки в завантаженому стані об'єкта випробувань;

Δ_0 - показання засобів вимірювальної техніки в порожньому стані об'єкта випробувань;

K - калібрувальний коефіцієнт засобів вимірювальної техніки, визначений за формулою (2):

$$K = \frac{R_0}{R_{ш} \cdot A_{ш}}, \quad (2)$$

де R_0 – опір тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$ – опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{ш}$ – амплітуда (відхилення) процесу, яка виміряна при калібруванні, В.

Напруження σ , МПа, в елементах конструкції у місцях встановлення тензорезисторів визначені за формулою (3) для одиночних тензорезисторів:

$$\sigma = a \cdot \frac{R_0}{R_{ш} \cdot A_{ш}} \cdot \frac{E}{K_m}, \quad (3)$$

де a – амплітуда (відхилення) процесу, В;

R_0 – опір тензорезистора, Ом;

$R_{ш}$ – опір калібрувального шунта, Ом;

$A_{ш}$ – амплітуда (відхилення) процесу, виміряна при калібруванні, В;

E – модуль пружності матеріалу досліджуваної деталі, МПа;

K_m – коефіцієнт чутності тензорезистора.

Отримані в результаті обробки даних напруження від статичного навантаження бруто використовувалися для оцінки міцності конструкції вагона у режимі співудару.

Оцінка міцності конструкції за результатами випробувань на співудар виконувалася за формулою (4):

$$(\sigma_{верт.} + \sigma_{уд.}) \leq \sigma_m, \quad (4)$$

де $\sigma_{верт.}$ – напруження від дії вертикального навантаження бруто, МПа;

$\sigma_{уд.}$ – напруження від дії удару зусиллям 3,5 МН;

σ_m – межа текучості матеріалу, МН.

РЕЙКОВИЙ РУХОМИЙ СКЛАД

Висновок

На підставі аналізу результатів експериментальних досліджень встановлено:

- для підвищення міцності і надійності несучих вузлів і деталей бункерних вагонів, що працюють в умовах тривалого й інтенсивного впливу динамічних навантажень, потрібно використовувати матеріали підвищеного класу міцності від 390 і вище;

- необхідно розробляти і застосовувати принципово нові конструктивні форми найбільш напружених вузлів з метою перерозподілу та зниження навантажень.

Незважаючи на проведену модернізацію та виконане підсилення шворневого вузла вагона-хопера моделі 19-4152, максимальні напруження в цьому вузлі складають 98,5% від допустимого нормативного значення. Зазначене свідчить, що шворневий вузол залишається одним з найбільш напружених елементів вагона та потребує детального вивчення при виконанні подальших досліджень.

ЛІТЕРАТУРА

1. Лазарян В.А. Динамика транспортных средств: Избранные труды. К.: Наукова думка, 1985. - 528 с.
2. Лазарян В.А. Исследование неустановившихся режимов движения поездов. -М.: Трансжелдориздат. 1949. - 135 с.
3. Блохин, Е.П. Расчет грузовых вагонов на прочность при ударах / Е.П. Блохин, И.Г. Барбас, Л.А. Манашкин, О.М. Савчук; под ред. Е.П. Блохина М.: Транспорт, 1988. - 380 с.
4. Федосов-Ніконов Д.В., Кельріх М.Б. «Дослідження на міцність конструкції довгобазної платформи» Автори: Публікація: науковий журнал «Вісник Східноукраїнського національного університету ім. Володимира Даля», №1-2016, с. 90-94
5. Мямлин С.В. Программа моделирования пространственных колебаний подвижного состава / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2000. – № 3. – С. 52 – 54.
6. Мямлин С.В. Методика моделирования пространственных колебаний железнодорожного экипажа / С.В. Мямлин // Залізничний транспорт України. – 2001. – № 2. – С. 2 – 5.
7. Данович В.Д. Пространственные колебания грузового вагона при движении по пути с детерминированными и случайными неровностями / В.Д. Данович, Р.С. Липовский, Р.Б. Грановский // Механика и транспорта [ред. В.А. Лазаряна]. – К.: Наук. думка, 1977. – С. 37 – 41.
8. Исследование динамики и прочности вагонов / под ред. С.И. Соколова. М.: Машиностроение, 1976.
9. Макеев С.В. «Расчет на прочность вагона-хопера модели 19-923 для минеральных удобрений», Журнал «Механика. Научные исследования и учебно-методические разработки». Издательство: Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта»(БелГУТ, Гомель) ISSN: 2227-1104 2009 г. - С. 71-78.
10. Рахимов Р. В. Исследования напряженно-деформированного состояния кузова вагона-хопера для перевозки цемента // Молодой ученый. — 2015. — №13. — С. 178-182.
11. РД 24.050.37-95 Вагоны грузовые и пассажирские. Методы испытаний на прочность и ходовые качества. ГосНИИВ, Москва, 1995 г.
12. ДСТУ 7598:2014 «Вагоны вантажні. Загальні вимоги до розрахунків та проектування нових і модернізованих вагонів колії 1520 мм (несамохідних)».
13. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных), ГосНИИВ-ВНИИЖТ, М., 1996 г., с изменениями и дополнениями (01.02.2000 г. и 01.03.2002 г.).
14. Справочник по сопротивлению материалов Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев, Киев, Наукова думка, 1988 г.