

УДК 629.46.015:531.44

А. В. Донченко, к.т.н., с.н.с.

(директор ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

С. В. Бондарев

(завідуючий лабораторією ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

О. М. Багров

(старший науковий співробітник ДП «Український науково-дослідний інститут вагонобудування» (ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

ВПЛИВ ПРОХОДЖЕННЯ ДВОВІСНОГО ВІЗКА ВАНТАЖНОГО ВАГОНА В КРИВИХ МАЛОГО РАДІУСА НА БОКОВУ РАМУ ВІЗКА

У статті розглянуто вплив проходження візками кривих малого радіуса на міцність литих бокових рам вантажних вагонів. Виконані дослідження з метою визначення максимальних напружень при схемах навантажень, аналогічних експлуатаційним.

Ключові слова: лита бокова рама, візок вантажного вагона, консольна частина бокової рами, внутрішній кут буксового прорізу.

В статье рассмотрено влияние прохождения тележками кривых малого радиуса на прочность литых боковых рам грузовых вагонов. Выполнены исследования с целью определения максимальных напряжений при схемах нагрузок, аналогичных эксплуатационным.

Ключевые слова: литая боковая рама, тележка грузового вагона, консольная часть боковой рамы, внутренний угол буксового проема.

Для успішного освоєння обсягу перевезень вантажів залізничним транспортом виконується програма технічного вдосконалення вантажних вагонів. Вагонний парк залізниць поповнюється новими вагонами, візки яких допускають швидкість руху до 120 км/год.

Однак, на жаль, останнім часом почастишали випадки зламів бокових рам візків вантажних вагонів. Статистика показує, що 90% всіх руйнувань відбувається в зоні внутрішнього кута буксового прорізу (в зоні R55).

Існує безліч причин, що сприяють зародженню і росту тріщин з подальшим руйнуванням деталі: наявність ливарних дефектів, зміни в конструкціях складових частин візка при недостатньому врахуванні бокових і поздовжніх сил, що діють на візок вантажного вагона під час руху.

Найбільш небезпечним режимом руху вагона, з точки зору можливості сходу вагона з рейок, є проходження кривих ділянок колії малого радіуса, при цьому

© Донченко А. В., Бондарев С. В., Багров О. М., 2016

траєкторію руху візка можна розділити на три фази [1]: від точки сполучення прямої і кривої ділянок до точки набігання передньої колісної пари на зовнішню рейку; від кінця першої фази до защемлення між боковими рамами і буксами колісних пар; від кінця другої фази до набігання задньої колісної пари на зовнішню рейку. Таким чином, передня колісна пара візка у всіх випадках одним зі своїх гребенів набігає на зовнішню рейку, а задня, в залежності від сил, що діють на візок з боку вагона і рейок, може або притискатися гребенем до зовнішньої рейки, або зберігати горизонтальні зазори між гребенями коліс і обома рейками, або набігати одним з гребенів на внутрішню рейку.

Результати випробувань [1] показують, що двовісні візки майже всіх моделей набігають обома колісними парами на зовнішню рейку, проте у деяких візків другі колісні пари рухаються з зазором по відношенню до зовнішньої рейки. Це пояснюється тим, що ці візки мають малі зазори між рамами і буксами.

Під час руху вагона по прямій ділянці шляху в штатному режимі, на візок, як правило, діють вертикальна динамічна сила, прикладена до підп'ятника, сила тяги вагона, сили, що виникають при взаємодії консольної частини бокової рами і букси колісної пари. Схема впливу цих сил показана на рис. 1.

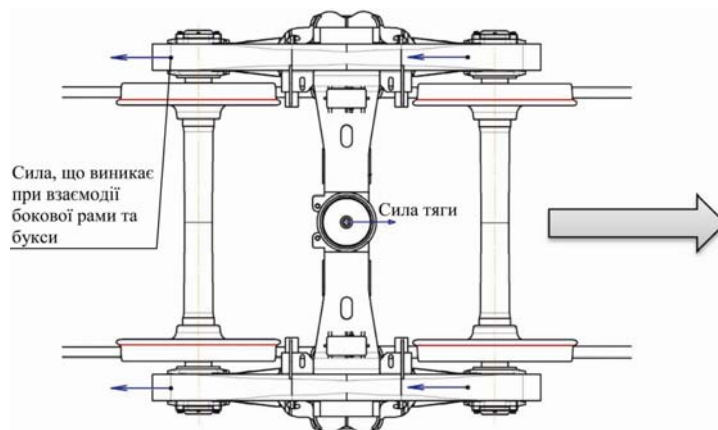


Рис. 1. Схема впливу сил під час руху візка по прямій

Під час руху вагона по кривій ділянці шляху [2] (вписування вагона в криву) до сил, що діють на візок в штатному режимі, додаються бокові сили, прикладені до підп'ятника, горизонтальні реакції рейок і сили тертя між колесами і рейками. Схема впливу сил під час руху візка в кривій показана на рис. 2.

На рис. 2 видно, що при проходженні візком кривої спостерігається забігання бокових рам відносно одне одного, відбувається зміна форми візка, з'являється паралелограмність, при цьому змінюється кут між боковою рамою і колісною парою. Під дією відцентрової сили відбувається зміщення бокової рами.

При розгляді взаємодії зовнішньої бокової рами з буксовими вузлом другий по ходу руху колісної пари, можна зробити висновок, що до площадки контакту між буксою і консольною частиною бокової рами додатково прикладається бокове навантаження. Це бокове навантаження створює крутний момент і викликає збільшення напружень в зоні R55. Про це так само свідчать результати ходових випробувань на міцність візків – аналогів візка моделі 18-100.

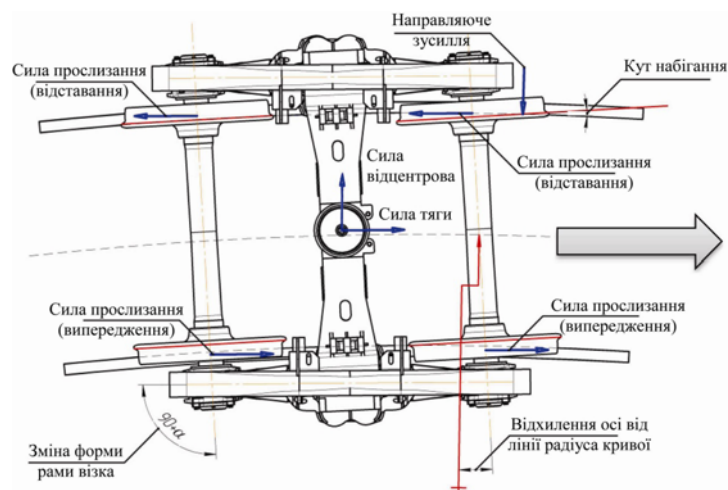


Рис. 2. Схема впливу сил під час руху візка в кривій

Для порівняння представлені результати випробувань проведених ІЦ ПВ ДП «УкрНДІВ». Випробування проводилися на ділянці Новомосковськ-Дніпровський – Балівка – Дніпродзержинськ-Лівобережний і Зустрічний – Сухачівка Придніпровської залізниці. Об’єкт випробувань – навантажений напіввагон на візках аналогах 18-100, на прямих і кривих ділянках колії з радіусами кривизни 680 і 906 метрів, рух здійснювався з різними швидкостями. На рисунках 3 і 4 показані осцилограми запису динамічного процесу навантаження внутрішнього кута буксового прорізу (R55) в місцях встановлення тензодатчиків. Як видно з результатів випробувань під час руху вагона по кривій, в порівнянні з прямими ділянками шляху, в зоні R55 зростають напруги на 13-19%.

Аналіз характеру взаємодії буксового вузла і бокової рами показує, що в режимі тяги букси колісних пар контактують з вертикальними направляючими консольних частин бокових рам зі сторони протилежної напрямку руху вагона.

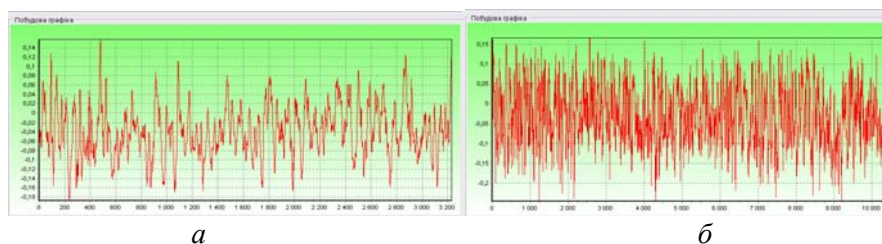


Рис. 3. Осцилограми запису динамічного процесу навантаження внутрішнього кута буксового прорізу (R55) (а – на прямій ділянці шляху, б – в кривій радіусом 680 метрів, збільшення напруження на 19 %) під час руху зі швидкістю 60 км/год

Під час руху візка по прямим ділянкам шляху відсутня дія поздовжніх сил, форма геометрії візка прямокутна тому можна сказати про відсутність забігання, при цьому відбувається рівномірний розподіл навантаження, тобто обидві контактні площадки букси торкаються двох контактних площадок бокової рами (рис. 5а).

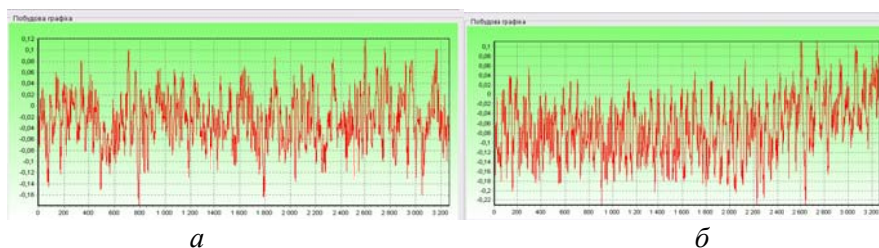


Рис. 4. Осцилограми запису динамічного процесу навантаження внутрішнього кута буксового прорізу (R55) (а – на прямій ділянці шляху, б – в кривій радіусом 906 метрів, збільшення напруження на 13 %) під час руху зі швидкістю 90 км/год

При входженні візка в криві малого радіуса форма візка змінюється на паралелограм, виникає забігання бокових рам, букса своєю направляючою спирається на зовнішню напрямну консольної частини бокової рами (рис. 5б) та за рахунок перекосу букси вона спирається тільки на одну внутрішню контактну площадку консольної частини, але розташування зони контакту незначно залежить від величини забігання бокових рам.

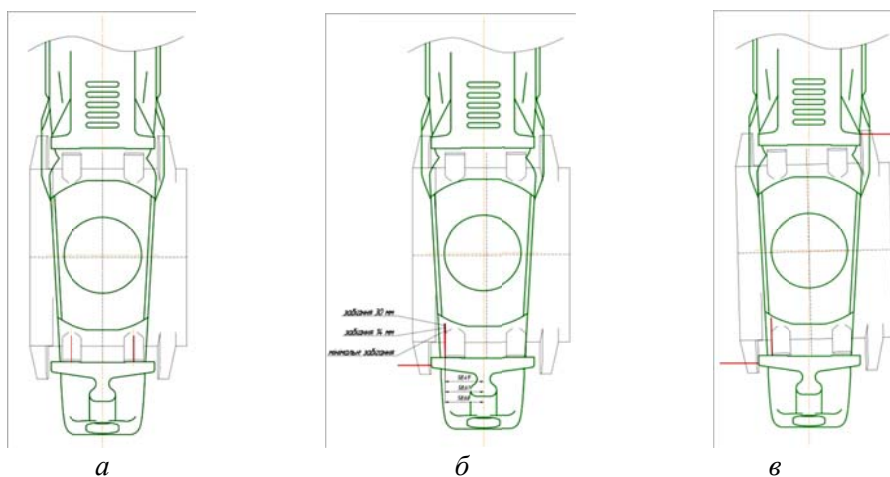


Рис. 5. Схеми спирання букси на консольну частину бокової рами

Також при значному забіганні можливо защемлення бокової рами на буксу воно характеризується зміщенням передньої колісної пари відносно задньої на величину, що дорівнює 39 мм і більше в залежності від геометрії візка [1]. В такому випадку з'являється додаткова зона контакту букси та бокової рами, що викликає збільшення напружень в внутрішньому куті буксового прорізу (рис. 5в).

З метою визначення напруженого стану бокової рами від поєднання експлуатаційних навантажень, зазначених на рисунку 5, був виконаний розрахунок навантажень, що прикладаються відповідно до «Норм ...» [3], данні для розрахунку приймалися як для напіввагона з осьовим навантаженням 23,5 тс. У програмі SolidWorks розроблена твердотільна модель бокової рами візка 18-100 за номінальними розмірами деталі. Далі модель експортувалася до прикладного

кінцево-елементного пакету AnsysWorkbench для умовного розбиття на кінцеві елементи, створення граничних умов, прикладання навантажень і визначення напруженого стану. Результати розрахунку навантажень наведені в табл. 1. Для розрахунку були прийняті наступні допущення: матеріал конструкції – лита легрована сталь, модуль пружності прийнятий відповідно до «Норм...» [3] і дорівнює $2,1 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона дорівнює 0,3, температура для розрахунку 22 °С.

Таблиця 1. Величини навантажень для розрахунку бокової рами візка на міцність

Тип навантаження	Прикладення навантажень	Значення, кН
Поздовжнє навантаження	Сила інерції маси візка при $N=3,5$ МН (п.2.4.2 «Норм...»). Прикладається до внутрішніх направляючих консольної частини бокової рами, що розташовані з протилежного від руху боку	25,728
Вертикальне навантаження на одну консольну частину	Сила ваги кузова вагона брутто, що діє на бокову раму візка (п.2.2.3 «Норм...») та половина вертикальної добавки від дії поздовжньої сили інерції кузова на бокову раму візка при $N=3,5$ МН (п.2.4.3 «Норм...»). Для однієї консольної частини розраховується як половина від зазначених сил та прикладається до опорної площадки буксового перерізу	177,907
Бокове навантаження	Бокове навантаження на консоль, що виникає під час руху в кривій. Прикладається до площадки контакту між буксою і консольною частиною бокової рами	47,393

Зовнішній вигляд прикладення навантажень та результати розрахунків наведено на рисунках 6-11.

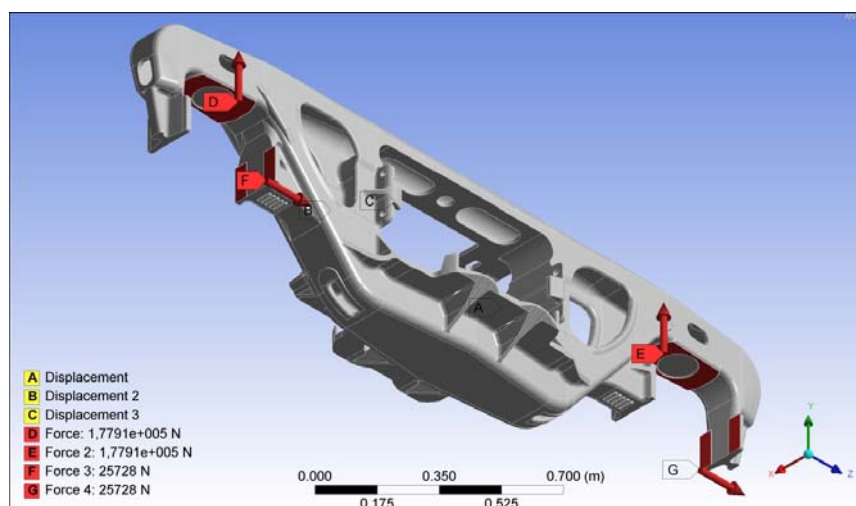


Рис. 6. Прикладення навантажень під час руху по прямій ділянці шляху (відсутнє бокове навантаження)

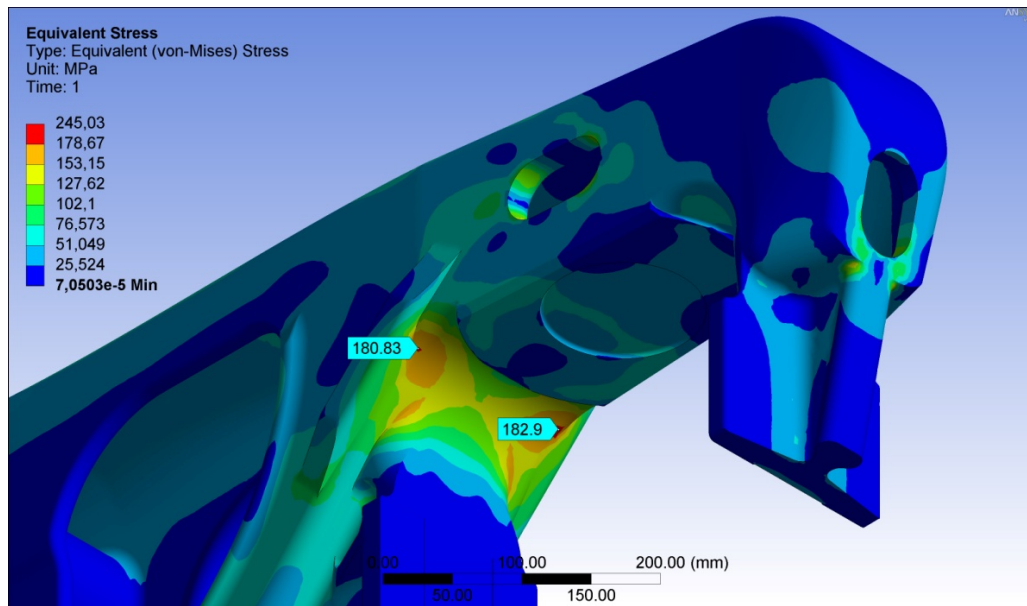


Рис. 7. Напруження в консольній частині під час руху по прямій ділянці шляху (відсутнє бокове навантаження)

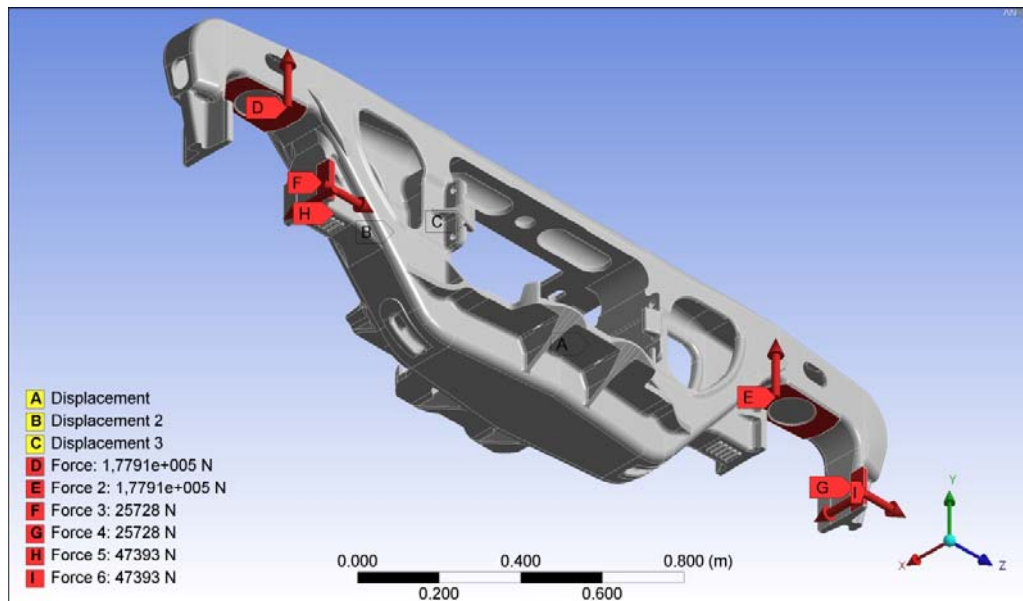


Рис. 8. Прикладання навантажень під час руху в кривій ділянці шляху

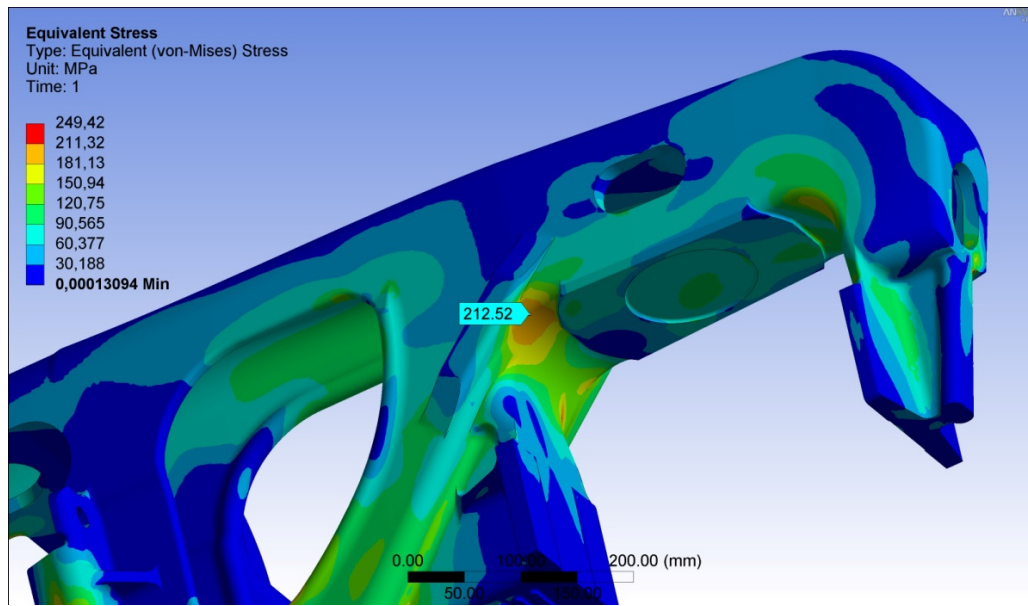


Рис. 9. Напруження, що виникають під час руху бокової рами в кривій ділянці шляху

Під час защемлення бокової рами на буксу, встановлюється додаткове обмеження для переміщення, що розташоване на зовнішній частині направляючої для букси з протилежного боку від прикладення навантаження (рисунок 10).

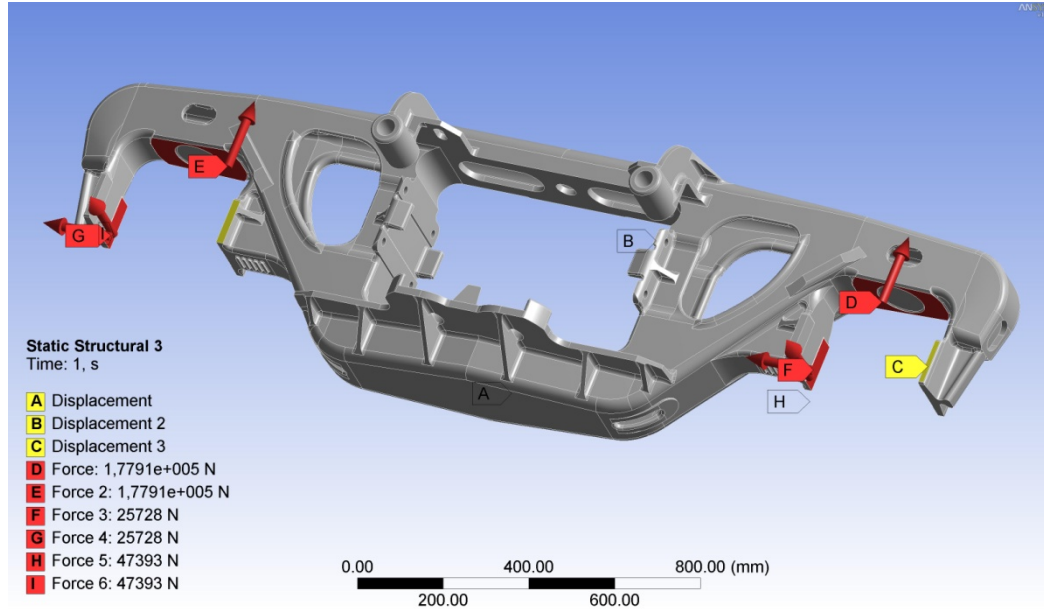


Рис. 10. Прикладання навантажень під час руху в кривій ділянці шляху с защемленням бокової рами

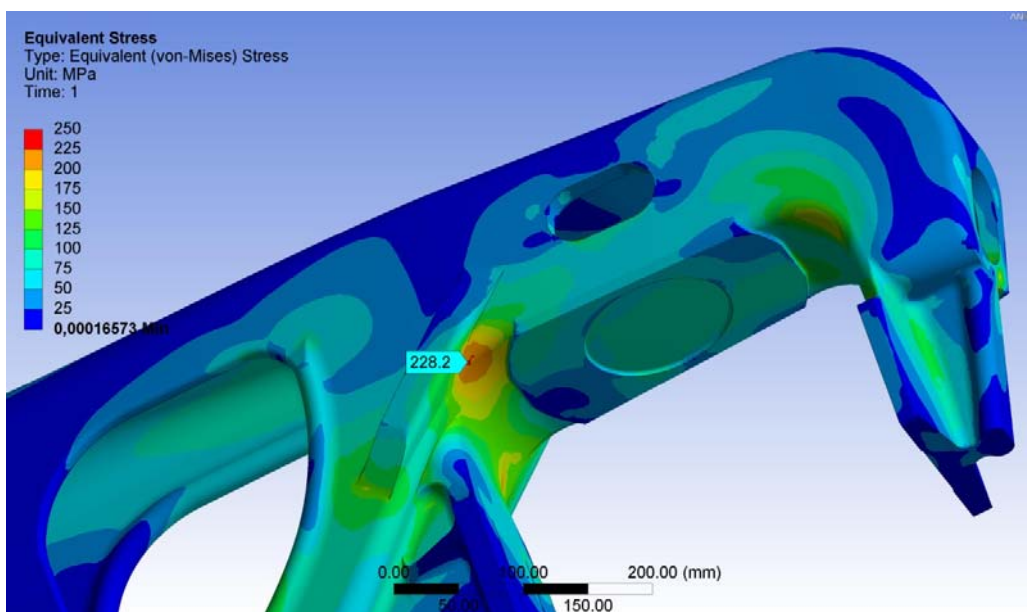


Рис. 11. Напруження, що виникають під час руху бокової рами в кривій ділянці шляху с защемленням бокової рами

Отримані максимальні напруження в досліджуваній зоні наведені в таблиці 2.

Таблиця 2. Напруження в досліджуваній зоні

№ з/п	Схема навантаження	Максимальне напруження в досліджуваній зоні, МПа	Збільшення напруження, %
1	Прикладання навантажень під час руху по прямій (відсутнє бокове навантаження)	182,9	-
2	Прикладання навантажень під час руху по кривій ділянці шляху	212,5	16
3	Прикладання навантажень під час руху в кривій ділянці шляху с защемленням бокової рами	228,2	25

Отримані результати дослідження показують, що під час руху по кривим малого радіуса спостерігається збільшення навантаження в досліджуваній зоні (R55) на 16 %, а при защемленні бокових рам напруження зростають на 25 %, ці показники в деякій мірі збігаються з даними отриманими під час випробувань вагонів на ділянках шляху.

Висновки. Лита бокова рама є елементом візка, досить складного конструкційного вузла ходової частини вагона. В експлуатації на вагон в цілому і візок зокрема діє цілий ряд різного роду сил, впливів тощо. Тому для зменшення імовірності виникнення зламів бокових рам з коробчастим перерізом консольних частин необхідно знизити вплив згинальних і крутних моментів в зоні R55 внутрішнього кута буксового прорізу, що виникають під час руху на кривих ділянках шляху та під час защемлення бокових рам.

ЛІТЕРАТУРА

- 1 *Сцепляемость и проходимость вагонов в кривых малого радиуса и по горкам*. Под ред. Ю.А. Хапилова. Изд-во «Транспорт», 1971 г., – 96 стр.
- 2 *Расчет вагонов на прочность*. Вершинский С.В. и др. Изд. 2-е. Под ред. Л.А. Шадура. М., «Машиностроение», 1971. – 432 с.
- 3 *Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных)*. ГосНИИВ – ВНИИЖТ, Москва, 1996 г.

Anatoliy V. Donchenko, PhD (Technical Sciences), Senior Research Associate

(Director of State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)

Sergiy V. Bondarev

(Research Laboratory Head, State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)

Oleksandr M. Bahrov

(Senior Researcher, State Enterprise «State Research Center of Railway Transport of Ukraine»)

**EFFECT CAUSED BY A FREIGHT CAR DOUBLE-BOGIE
ROUNDING SHORT RADIUS CURVES ON A BOGIE SIDE FRAME**

Effect caused by bogies rounding short radius curves on the strength of freight cars cast side frames is presented in the article. The most dangerous car running mode, in terms of derailment is rounding of the short radius curves. Researches on determination of the maximum stresses at load diagrams corresponding to operational ones were performed. Research results reveal that stresses increase for 16% in the internal angle of the pedestal jaw opening and in case of side frames restraint for 25% during rounding the short radius curves. These data coincide with results obtained during running tests of the cars. Therefore to reduce the probability of side frames breakage with a box section of the cantilever part it is necessary to decrease impact of bending and twisting moments in sector R55 of the internal angle of the pedestal jaw opening arising during rounding short radius curves and side frames restraint.

Keywords: cast side frame, side frame of a freight car, cantilever part of the side frame, internal angle of the pedestal jaw opening

REFERENCES

- 1 *Coupling ability and cars negotiability in short radius curves and on humps*. Edited by Y.A.Hapilov. Publishing company «Transport», 1971, -96 p.
- 2 *Cars strength calculation*. Vershinsky S.V. and others . Edition 2. Edited by L.A. Shadur. M., «Machine Building», 1971. -432 p.
- 3 *Norms of cars calculation and design of Ministry of Transportation Railways with 1520 mm gauge (unpowered)*. GosNIIV- VNIIZhT, Moscow, 1996.