

УДК 656.2:625.113

А. О. Сулим, к.т.н.

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

С. О. Столетов

(науковий співробітник ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

О. В. Фомін, д.т.н, доцент

(професор кафедри «Вагони та вагонне господарство» Державного економіко-технологічного університету транспорту, м. Київ)

Е. В. Третьак (інженер ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

В. С. Речкалов

(науковий співробітник ДП «УкрНДІВ»), м. Кременчук)

ДОСЛІДЖЕННЯ ХАРАКТЕРУ ЗМІНИ НАПРУЖЕНЬ У КРОМКАХ ПІДОШОВ РЕЙОК ПІД ЧАС РУХУ ПАСАЖИРСЬКОГО ВАГОНА НА КРИВИХ ДІЛЯНКАХ ЗАЛІЗНИЧНОЇ КОЛІЇ

У статті зазначено, що одним з основних показників впливу рухомого складу на колію є напруження в кромках підшов рейок. Проаналізовано існуючі дослідження по даному напрямку, за результатами яких встановлено, що в умовах впровадження швидкісного руху питання визначення величин максимально імовірних напружень в кромках підшов рейок та характер їх зміни залежно від швидкості руху в кривих ділянках залізничної колії, залишаються актуальними. Мета роботи – встановлення залежності величин напружень у кромках підшов рейок під час різних швидкостей руху пасажирського вагона в кривих ділянках залізничної колії. Побудовані графіки залежностей максимально імовірних значень напружень від швидкості під час руху пасажирського вагона в кривих радіусом 419 м, 906 м, 1530 м. Визначено величини максимально імовірних значень напружень, що виникають у зовнішній та внутрішній кромках підшов рейок, залежно від швидкості руху. Встановлено, що величини напружень у кромках підшов рейок з підвищенням швидкості руху та зменшенням радіуса кривої зростають, при цьому динаміка зростання має випадковий характер.

Ключові слова: вплив на залізничну колію, напруження в кромках підшов рейок, пасажирський вагон, рухомий склад, осьове навантаження.

В статье обозначено, что одним из основных показателей воздействия подвижного состава на путь является напряжение в кромках подшов рельс. Проанализированы существующие исследования в данном направлении, по результатам которых установлено, что в условиях внедрения скоростного движения вопросы определения величин максимально вероятных напряжений в кромках подшов рельс и характер их изменения в зависимости от скорости движения в кривых участках железнодорожного пути, остаются актуальными.

© Сулим А. О., Столетов С. О., Фомін О. В., Третьак Е. В., Речкалов В. С., 2017

Цель работы – установление зависимости величин напряжений в кромках подошв рельс при различных скоростях движения пассажирского вагона в кривых участках железнодорожного пути. Построены графики зависимостей максимально вероятных значений напряжений от скорости при движении пассажирского вагона в кривых радиусом 419 м, 906 м, 1530 м. Определены величины максимально вероятных значений напряжений, которые возникают во внешней и внутренней кромках подошв рельс, в зависимости от скорости движения. Установлено, что величины напряжений в кромках подошв рельс с повышением скорости движения и уменьшением радиуса кривой возрастают, при этом динамика возрастания имеет случайный характер.

Ключевые слова: воздействие на путь, напряжение в кромках подошв рельс, пассажирский вагон, подвижной состав, осевая нагрузка.

Постановка проблеми. Одним з важливих завдань під час удосконалення конструкції рухомого складу є покращення його динамічних якостей та зниження силового впливу на елементи верхньої будови залізничної колії [1-4]. Особливо це стосується швидкісного пасажирського рухомого складу (пасажирських вагонів, швидкісних електропоїздів та локомотивів) [6-10]. При підвищенні швидкостей руху поїздів зростає динамічний вплив на колію рухомого складу, у зв'язку з чим збільшуються вертикальні і горизонтальні сили і, як наслідок, напруження в кромках підшов рейок. Тому в якості основного показника впливу рухомого складу на колію приймають напруження в кромках підшов рейок, який є інтегральним показником сукупності сил, що діють від його коліс [6, 11]. Нормоване значення даного показника використовується як критерій для встановлення допустимих швидкостей руху.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Із робіт [1-14] відомо, що на величину напружень у кромках підшов рейок в основному впливають такі фактори як тип рухомого складу (осьове навантаження), швидкість руху та величина радіуса кривої на ділянках залізничної колії. Над дослідженнями в цьому напрямі працювало багато вітчизняних та іноземних учених [1-14]. Значний внесок у розвиток досліджень у цій галузі внесли: Веріго М.Ф., Коган А.Я., Єршков О.П., Рибкін В.В., Даніленко Е.І., Роман Ю.С., Курган М.Б., Курган Д.М. та інші.

За умов впровадження швидкісного руху дослідження, направлені на визначення величин максимальних напружень, що виникають у кромках підшов рейок та характеру їх зміни під час різних швидкостей руху пасажирських вагонів у кривих ділянках залізничної колії, залишаються актуальними.

Мета статті – встановлення залежності величин напружень у кромках підшов рейок під час різних швидкостей руху пасажирського вагона в кривих ділянках залізничної колії.

Виклад основного матеріалу досліджень. Як об'єкт випробувань обрано пасажирський вагон локомотивної тяги з осьовим навантаженням 15,8 тс (155 кН). Випробування проводились на коліях типових конструкцій магістральних залізничних доріг ПАТ «Укрзалізниці». Випробування виконувались на трьох дослідних ділянках колії з кривими різного радіусу.

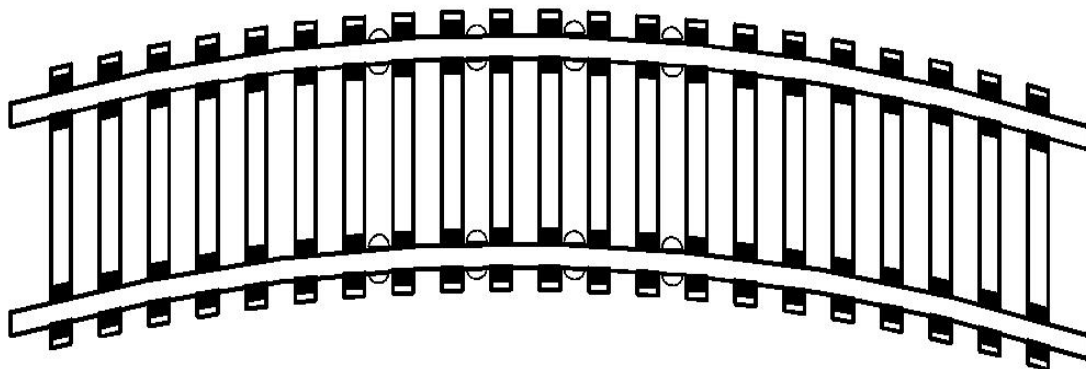
Дослідна ділянка № 1: крива радіусом 906 м, безстикова колія, рейки Р65, залізобетонні шпали (1840 шт/км) на щебеневому баласті при товщині баласту під шпалою 26...30 см.

Дослідна ділянка № 2: крива радіусом 419 м з такою ж конструкцією колії, як і на першій ділянці, але епюра шпал 2000 шт/км і товщина баласту під шпалою 30...35 см.

Дослідна ділянка № 3: крива радіусом 1530 м з такою ж конструкцією колії, як і на першій ділянці.

Стан колії та стрілочних переводів на зазначених ділянках оцінювався на «відмінно». Дослідний зчеп формувався з двох електровозів ЧС-7, вагона-лабораторії та дослідного пасажирського вагона. Поїздки на дослідних ділянках з кривими радіусом 906 м та 1530 м здійснювались зі швидкостями руху (25–114) км/год; з кривою радіусом 419 м – з швидкостями (25–84) км/год. Для тарування приладів (схем) на кожній ділянці проводились поїздки зі швидкостями (5–10) км/год.

Схему розміщення приладів на дослідних ділянках залізничної колії зображено на рис. 1.



 – прилади для вимірювань напружень у кромці підшви рейки

Рис. 1. Схема розміщення приладів на дослідних ділянках залізничної колії

Для реєстрації показників взаємодії колії та рухомого складу використовувались тензометричні датчики з базою 20 мм. На кожній ділянці було встановлено по 16 вимірювальних датчиків (рис. 1). Всього під час проведення випробувань було зроблено більше ніж 60 дослідних проїздів. Реєстрацію та запис процесів під час проїздів виконано за допомогою вимірювальної системи, до складу якої входять: персональний комп'ютер, аналого-цифровий перетворювач, підсилювач сигналів та вимірювальні тензометричні датчики. Обробка даних на персональному комп'ютері здійснювалась за допомогою атестованої комп'ютерної програми «Impact Raw Data».

Графік характеру зміни кромочних напружень в одній з точок вимірювань під час одиночного проїзду дослідного зчепу, зображено на рис. 2.

За результатами обробки для кожного проїзду дослідного зчепу фіксувались максимальні значення напружень, що виникають в кромках підшви рейки. Слід зазначити, що максимальні величини фіксувались для кожної осі дослідного пасажирського вагона. В процесі обробки даних для кожного діапазону швидкості і радіусу кривої визначалось: середнє значення, середньоквадратичне відхилення, максимально зафіксоване та максимально імовірне значення кромочних напружень з довірчою ймовірністю 0,994 [15].

Результати отриманих максимально імовірних значень напружень в кромках підшви рейок зображено у вигляді діаграм на рис. 3. Результати отриманих максимально імовірних значень по кожній кромці підшви рейки (для внутрішньої та зовнішньої ниток), представлено в табл. 1–3.

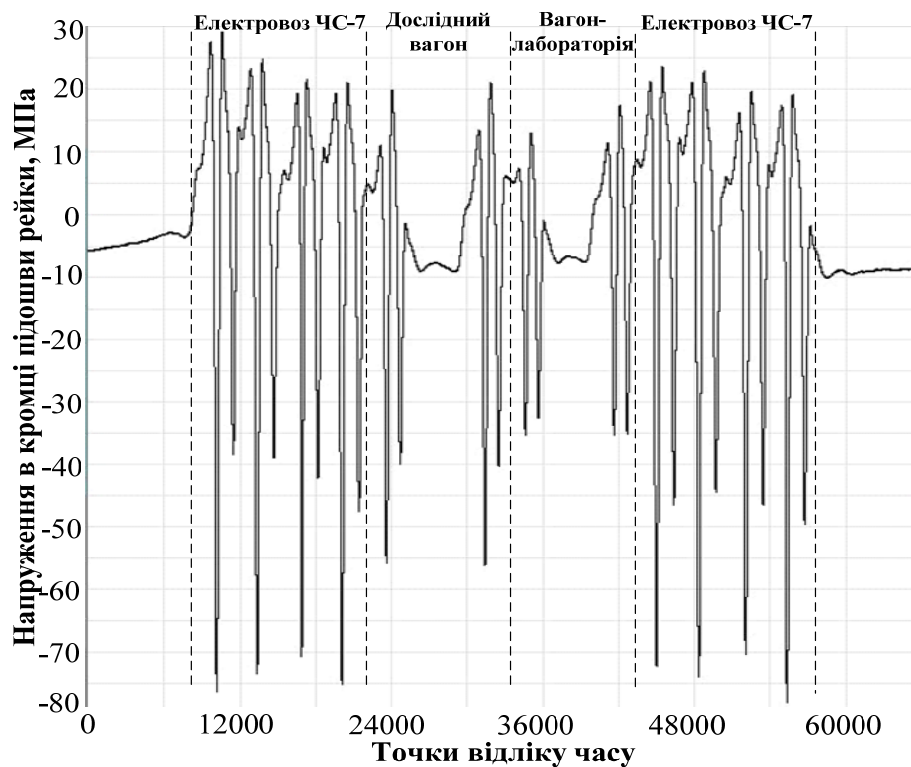


Рис. 2. Графік характеру зміни напружень в кромці підшви рейки під час проїзду дослідного зчепу

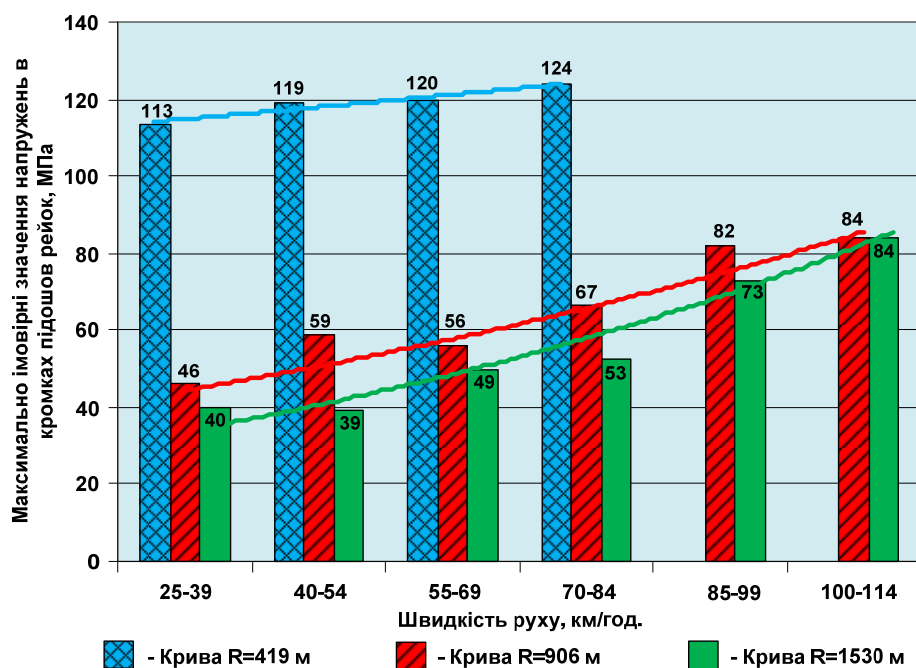


Рис. 3. Діаграми максимально імовірних значень напружень в кромках підшвів рейок

Таблиця 1. Максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок (R = 906 м), Мпа

V, км/год	Нитка			
	Внутрішня		Зовнішня	
	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка
25-39	38	45	31	46
40-54	35	45	31	49
55-69	42	56	32	56
70-84	47	67	37	58
85-99	52	82	38	67
100-114	57	84	43	75

Таблиця 2. Максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок (R = 419 м), Мпа

V, км/год	Нитка			
	Внутрішня		Зовнішня	
	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка
25-39	58	112	46	74
40-54	62	116	62	119
55-69	88	109	89	120
70-84	102	95	124	102

Таблиця 3. Максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок (R = 1530 м), Мпа

V, км/год	Нитка			
	Внутрішня		Зовнішня	
	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка	Внутрішня кромка	Зовнішня кромка
25-39	20	25	29	40
40-54	30	33	28	39
55-69	40	45	49	41
70-84	43	53	48	48
85-99	61	73	63	67
100-114	84	78	77	83

За результатами аналізу отриманих діаграм (рис. 1) встановлено наступне:

- величини кромочних напружень підошов рейок під час руху пасажирського вагона на дослідних кривих ділянках залізничної колії різного радіусу (419 м; 906 м; 1530 м) не перевищують допустимого нормативного значення, яке дорівнює 240 МПа;
- максимально імовірні значення напружень в кромках підошов рейок зростають за умов підвищення швидкості руху дослідного пасажирського вагона;
- зі зменшенням радіусу кривої збільшуються значення кромочних напружень в підошвах рейок за умови однакової швидкості руху пасажирського вагона;
- залежність кромочних напружень у підошвах рейок від швидкості руху має випадковий характер і не підпорядковується жодному математичному закону, проте наближено характер зміни даної залежності можливо описати експоненціальною функцією;
- значення кромочних напружень в кривих радіусів 906 м і 1530 м для однакових діапазонів швидкостей руху пасажирського вагона суттєво не відрізняються (максимальна різниця складає 20 МПа для діапазону швидкості 40–54 км/год);

– значення кромочних напружень в кривій радіусом 419 м у порівнянні з кривими радіусів 906 м і 1530 м для однакових діапазонів швидкостей руху пасажирського вагона більші у 1,9–3 рази (на кривій радіусом 906 м максимальна різниця складає 67 МПа для діапазону швидкості 25–39 км/год; на кривій радіусом 1530 м максимальна різниця складає 80 МПа для діапазону швидкості 40–54 км/год);

– динаміка зміни величин кромочних напружень в кривій радіусом 419 м зі збільшенням швидкості – незначна (максимальна різниця складає 6 МПа), в той час як в кривих радіусом 906 м і 1530 м – більш суттєва (максимальна різниця складає 15 МПа та 20 МПа відповідно).

За результатами аналізу даних таблиць 1–3 можна зробити наступні висновки:

– під час руху дослідного пасажирського вагона з різними швидкостями по кривим радіусу (419 м; 906 м; 1530 м) у переважній більшості максимально імовірні значення напружень спостерігаються у зовнішніх кромках підшов рейок;

– у кривій радіусом 906 м при швидкостях руху до 70 км/год максимально імовірні значення спостерігаються у зовнішній кромці зовнішньої нитки, при швидкостях понад 70 км/год – у зовнішній кромці внутрішньої нитки. При цьому різниця між значеннями напружень у зовнішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток при швидкості руху до 70 км/год незначна (максимальна різниця складає 4 МПа для діапазону швидкості 40–54 км/год), в той час як при швидкостях руху понад 70 км/год більш суттєва (максимальна різниця складає 15 МПа для діапазону швидкості 85–99 км/год). Максимальна різниця між значеннями напружень у внутрішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток складає 14 МПа для діапазону швидкості 100–114 км/год. Крім того, при швидкостях руху понад 70 км/год відбувається стрімка динаміка зростання максимально імовірних значень напружень у зовнішніх кромках порівняно з внутрішніми (на рівні 17 МПа для зовнішньої нитки; на рівні 17 МПа для внутрішньої нитки);

– у кривій радіусом 419 м характер зміни максимально імовірних значень має випадковий характер (максимально імовірне значення для діапазону швидкості 25–39 км/год зафіксовано у зовнішній кромці внутрішньої нитки, для діапазону швидкостей 40–69 км/год – у зовнішній кромці зовнішньої нитки, для діапазону швидкостей 70–84 км/год – у внутрішній кромці зовнішньої нитки). Різниця між максимально імовірними значеннями напружень у зовнішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток для діапазону швидкості 40–114 км/год незначна (на рівні 3–11 МПа), в той час як для діапазону швидкості 25–39 км/год більш суттєва (на рівні 38 МПа). Різниця між максимально імовірними значеннями напружень у внутрішніх кромках внутрішньої та зовнішньої ниток для діапазону швидкості 40–69 км/год незначна (на рівні 1 МПа), в той час як для діапазонів швидкостей 25–39 км/год та 70–84 км/год більш суттєва (на рівні 12–22 МПа). При швидкостях руху 70–84 км/год динаміка зростання максимально імовірних значень напружень у внутрішніх кромках продовжується (на рівні 14 МПа для внутрішньої нитки; на рівні 35 МПа для зовнішньої нитки), в той час як у зовнішніх кромках взагалі з'являється динаміка спадання (на рівні 14 МПа для внутрішньої нитки; на рівні 18 МПа для зовнішньої нитки);

– у кривій радіусом 1530 м при швидкостях руху до 70 км/год максимально імовірні значення напружень спостерігаються у зовнішній нитці, при швидкостях руху понад 70 км/год – у внутрішній нитці. Різниця між максимально імовірними значеннями напружень у кромках внутрішньої та зовнішньої ниток незначна (на рівні 1–9 МПа для зовнішніх кромок; на рівні 4–15 МПа для зовнішніх кромок). Динаміка зміни максимально імовірних значень при підвищенні швидкості руху має характер зростання для внутрішньої та зовнішньої ниток.

Висновки. За результатами аналізу даних, отриманих розрахунково-експериментальним шляхом, встановлено таке:

– максимально імовірне значення напруження в кромках підшов рейок отримано під час проходження кривої радіусу 419 м в діапазоні швидкості 70–84 км/год і дорівнює 124 МПа, що суттєво менше ніж нормоване допустиме значення 240 МПа (отримане значення складає 52 % від допустимої величини);

– максимально імовірні значення напружень в кромках підшов рейок суттєво залежать від швидкості руху та радіусу кривої. При підвищенні швидкості руху та зменшенні радіусу кривої значення напружень в кромках підшов рейок збільшуються. При незмінному радіусі кривої залежність максимально імовірних значень від швидкості руху не підпорядковується жодному математичному закону, однак наближено цю залежність можна описати експоненціальною функцією;

– максимально імовірні значення напружень переважно виникають у зовнішніх кромках підшов рейок. Найменша різниця між значеннями напружень у кромках підшов рейок спостерігається під час руху дослідного пасажирського вагона в кривій радіусу 1530 м (складає 7 МПа для діапазону швидкості 100–114 км/год), найбільша – в кривій радіусу 419 м (складає 66 МПа для діапазону швидкості 25–39 км/год). Отже, для кривої малого радіуса характерний значний розкид максимально імовірних значень у кромках підшов рейок і, навпаки, для кривої великого радіуса – розкид значень мінімальний.

ЛІТЕРАТУРА

1. Манкевич, Н.Б. Усовершенствование конструкции литых деталей двухосных тележек грузовых вагонов: дис. канд. техн. наук: 05.22.07 / Манкевич Николай Борисович : Дніпр. нац. ун-т залізн. трансп. ім. акад. Лазаряна. – Д., 2015. – 263 с. – Библиогр.: с. 184–214.
2. Даніленко, Е.І. Правила розрахунків залізничної колії на міцність і стійкість: ЦП-0117 / Е.І. Даніленко, В.В. Рибкін. – К.: Транспорт України, 2005. – 119 с.
3. Фомін О.В. Концепція ідеальних кузовів напіввагонів / О.В. Фомін // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля: науковий журнал. – Луганськ: СХУ ім. В. Даля, 2013. – № 4(193). – С. 267–271.
4. Фомін О.В. Аналіз доцільності застосування шестигранних порожнистих профілів в якості складових елементів несучих систем напіввагонів / О.В. Фомін // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна: науковий журнал. – Дніпропетровськ: ДНУЗТ ім. В. Лазаряна, 2014. – Вип. 6(54) – С. 146–153
5. Fomin O.V. Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45–48.
6. Рибкін, В.В. Обґрунтування параметрів плану лінії для ліквідації бар'єрних місць при реконструкції залізниці / В.В. Рибкін, М.Б. Курган, Н.В. Халіпова, В.І. Харлан // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2003. – Вип. 1. – С. 74–83.
7. Курган М.Б. Перебудова кривих для впровадження швидкісного руху пасажирських поїздів / М.Б. Курган, М.А. Гусак, Н.П. Хмелевська / Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. акад. В. Лазаряна. – Д., 2012. – Вип. 40. – С. 90–97.
8. Курган Д.М. Особливості сприйняття навантаження елементами залізничної колії при високих швидкостях руху / Д.М. Курган // Наука та прогрес транспорту. Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту – Д., 2015. – № 2 (56). – С. 136–145.
9. Рыбкин В.В. Результаты исследований по установлению условий обращения электровагона ДС3-001 на сети железных дорог / В.В. Рыбкин, А.П. Татуревич, С.М. Сова // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту ім. академіка В. Лазаряна. – Д., 2005. – Вип. 5. – С. 166–169.
10. Даніленко Е.І. Про необхідність внесення змін в існуючі нормативні допуски по ширині рейкової колії у прямих та кривих при впровадженні швидкісного руху на залізницях України / Е.І. Даніленко, М.І. Карпов, В.М. Молчанов, Р.М. Йосифович // Залізничний транспорт України. – 2014. – № 2. – С. 9–17.
11. Ромен Ю.С. Установление условий обращения вагонов с увеличенной осевой нагрузкой / Ю.С. Ромен, А.М. Орлова, М.С. Тихов, А.В. Заверталоу // Транспорт Российской Федерации. – 2013. – № 3 (46). – С. 25–35.

12. Вериги, М.Ф. Взаимодействие пути и подвижного состава / М.Ф. Вериги, А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1986. – 559 с.
13. Коган, А.Я. Динамика пути и его взаимодействия с подвижным составом / А.Я. Коган. – М.: Транспорт, 1997. – 326 с.
14. Ершков, О.П. Расчеты железнодорожного пути в кривых и нормы его устройства / О.П. Ершков, Л.П. Мелентьев, М.С. Яхов // Труды ВНИИЖТ. – М.: Трансжелдориздат, 1960. – Вып. 192. – 206 с.
15. Державний стандарт України ДСТУ 7571:2014. Рухомий склад залізниць. Норми допустимого впливу на залізничну колію шириною 1520 мм; Уведено вперше; надано чинності 2014-12-02. – К.: Мінекономрозвитку України, 2014. – 33 с.

Andrii Sulym, Ph.D. (Candidate of technical Sciences)

(Senior researcher, SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Sergii Stoletov

(Researcher of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Alexei Fomin, Doctor of Science (Technical Sciences)

(Professor, Cars and Carriage Facilities Chair of the State University for Transport Economy and Technologies)

Eduard Tretiak

(Engineer of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

Vladislav Rechkalov (Researcher of SE «Ukrainian Research Van-Building Institute»)

RESEARCH ON LOAD STRESSES VARIATION IN STRAIN GAGE BOTTOM EDGES ON THE PASSENGER CAR RUN ON CURVED TRACKS

The article deals with the load stresses in the strain gage bottom edges as one of the principal parameter of the rolling stock impact on the track. The study of the available research on this subject resulted into the fact that the determination of the maximum possible values of load stresses in strain gage bottom edges and their variation behavior in dependence of the running speed on the curved tracks continue to be relevant for introduction of high-speed running. The aim of the work is to define the dependence of the load stresses values in strain gage bottom edges under various speeds of a passenger car running on curved tracks. Diagrams of maximum possible load stresses versus running speed of a passenger car on curved tracks of 419m, 906m, and 1530m radiuses are plotted. The values of the maximum possible load stresses, generating in inner and outer bottom edges of strain gages in dependence of the speed were determined. It was found out that load stresses in the strain gage bottom edges increase with the speed rise and shortening of a curve radius, upon that the increase behavior is of random nature.

Key words: track impact, load stress in strain gage bottom edges, passenger car, rolling stock, axle load.

REFERENCES

1. Mankevich N.B. *Usovershenstvovaniye konstruktii litykh detaley dvukhosnykh telezhek gruzovykh vagonov* Cand, Diss. [Improvement of the design of cast parts of two-axle trolleys of freight wagons. Cand. Diss.]. Dnipropetrovsk, 2015. 263 p.
2. Danilenko E.I., Rybkin V.V. *Pravyla rozrakhunkiv zaliznychnoi kolii na mitsnist ta stiykist* [Terms railway line calculations for strength and stability]. Kyiv, Transport Ukrainy Publ., 2005. 119 p.
3. Fomin, O.V. *Koncepcija ideal'nih kuzoviv napivvagoniv* [The concept of ideal bodies gondola] [Text] / O.V. Fomin // Journal of East Ukrainian National University named after Vladimir Dal, a scientific journal. – Lugansk: EUNU. Dal, 2013. – № 4 (193). – S. 267-271.
4. Fomin O. V. *Analiz dotsilnosti zastosuvannia shestyhannykh porozhnystykh profiliv v yakosti skladovykh elementiv nesuchykh system napivvagoniv* // Visnyk Dnipropetrovskoho natsionalnoho universytetu zaliznychnoho transportu im. akademika V. Lazariana, Nauka ta prohres transportu, 6 (54). – 2014. – С. 146-153.

5. Fomin, O. *Improvement of upper bundling of side wall of gondola cars of 12-9745 model* / O.V. Fomin / Scientific and technical journal «Metallurgical and Mining Industry». 2015, No. 1 – P.45-48.
6. Rybkin V.V., Kurgan M.B., Khalipova N.V., Kharlan V.I. Obgruntuvannya parametriv planu linii dla likvidatsii bariernykh mistiv pry rekonstruktsii zaliznytsi [Justification line options plan to eliminate the barrier places in the reconstruction of the railway]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznyzhnogo transportu imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2003, issue 1, pp. 74–83.
7. Kurgan M.B., Gusak M.A., Khmelevska M.P. Perebudova kryvykh dla vprovadzhennia shvydkisnogo rukhu pasazhyrskykh poizdiv [Restructuring curves for the introduction of high-speed passenger trains]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznyzhnogo transportu imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2012, issue 40, pp. 90–97.
8. Kurgan D.M. Osoblyvosti spryiniattia navantazhennia elementamy zaliznychnoi kolii pry vysokomykh shvydkostiakh rukhu [Features perceptions load elements of the railway line at high speeds]. *Nauka ta progres transportu. Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznyzhnogo transportu* [Science and Transport Progress. Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport], 2015, issue 2 (56), pp. 136–145.
9. Rybkin V.V., Taturevich A.P., Sova S.M. Rezultaty eksperymentalnykh issledovaniy po ustanovleniyu usloviy obrashcheniy elektrovoza DS-001 na seti zheleznykh dorog [The results of studies on the establishment of conditions for the circulation of an electric locomotive DS3-001 on the railway network]. *Visnyk Dnipropetrovskogo natsionalnogo universytetu zaliznyzhnogo transportu imeni akademika Lazariana* [Bulletin of Dnipropetrovsk National University of Railway Transport named after academician V. Lazaryan], 2005, issue 5, pp. 166–169.
10. Danilenko E.I., Karpov M.I., Molchanov V.M., Yosyfovych R.M. Pro neobkhdnist vnesennia zmin v isnuivchi normatyvni dopusky po shyryni reikovoï kolii u priamykh ta kryvykh pry vprovadzhenni shvydkisnogo rukhu na zaliznytsiakh Ukrainy [On the need to amend the existing regulatory tolerances the width of rail track in the straight and curves with embedded high-speed traffic on the railways of Ukraine]. *Zaliznychnyi transport Ukrainy – Railway transport of Ukraine*, 2014, issue 2, pp. 9–17.
11. Romen Yu. S., Orlova A.M., Tikhov M.S., Zavertalyuk A.V. Ustanovleniye usloviy obrashcheniya vagonov s uvelichennoy osevoy nagruzkoy [Establishment of conditions for handling wagons with increased axial load]. *Transport Rossiyskoy Federatsii – Transport of the Russian Federation*, 2013, no. 3 (46), pp. 25–35.
12. Verigo M.F., Kogan A.Ya. *Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava* [Interaction of the track and rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1986. 559 p.
13. Kogan A.Ya. *Dinamika puti i yego vzaimodeystviya s podvizhnym sostavom* [Dynamics of the path and its interaction with rolling stock]. Moscow, Transport Publ., 1997. 326 p.
14. Yershkov O.P., Melentyev L.P., Yakhov M.S. *Raschet y zheleznodorozhnogo puti v krivykh i normy yego ustroystva* [Calculations of the railway track in curves and norms of its device]. Moscow, Transport Publ., 1960. 206 p.
15. DSTU 7571:2014. *Rukhomyi sklad zaliznyts. Normy dopustymogo vplyvu na zaliznychnu koliiu shyrynoiu 1520 mm.* [State Standart 7571–2014. Rolling railways. The norms of permissible impact on railway track 1520 mm]. Kyiv, Minekonomrozvytku Ukrainy Publ., 2014. 33 p