

УДК 625.031.1:004.94

М. Г. ГЕГЕДЕШ^{1,2}, Т. С. ЯКИМЧИК², Р. В. ШИЛО³

¹*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Гомель, Беларусь*

²*Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь*

³*Могилевское отделение Белорусской железной дороги, Могилев, Беларусь*

ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В КРИВЫХ МАЛОГО РАДИУСА

Предложена конструкция соединительного упорного элемента контррельса, изготовленного из старогодных рельсов, с установкой на путевой рельс через специально изготавливаемое крепление. В среде ANSYS Workbench разработана конечно-элементная модель предлагаемого соединительного элемента. На основе анализа напряженно-деформированного состояния конструкции сделаны выводы о ее прочности и долговечности при эксплуатации в кривых малого радиуса.

Ключевые слова: кривые малого радиуса, контррельс, соединительный элемент, компьютерное моделирование, напряженно-деформированное состояние.

Высокая плотность застройки в местах расположения подъездных и внутризаводских железнодорожных путей приводит к необходимости проектирования кривых малого радиуса. На таких участках при движении подвижного состава могут возникать значительные горизонтальные силы, которые становятся причиной существенного износа колесных пар и рельсов, а также ведут к поперечному смещению рельсовой колеи и, как итог, сходу железнодорожного подвижного состава [1].

Результаты исследования [2] показали, что износ рельсов, который влияет на сход подвижного состава с пути, в значительной мере зависит от радиуса кривой. Авторами [3] на основе моделирования динамического взаимодействия подвижного состава с криволинейным участком железнодорожного пути, выполненного методом конечных элементов, произведена оценка влияния неисправностей элементов креплений на безопасность движения железнодорожного транспорта и сохранность верхнего строения пути. В публикации [4] дополнительно учтено возвышение наружного рельса колеи.

В названных исследованиях центробежная сила принималась постоянной по величине, что соответствует постоянному радиусу закругления кривой железнодорожного участка. Авторами [5, 6] оценивается влияние переменности радиусов кривых на возможное возникновение вынужденных колебаний рельсо-шпальной решетки при динамическом взаимодействии колес и рельсов, которое вызывает появление транспортного шума [7–10].

Значительную опасность для железнодорожного состава представляет движение по криволинейному участку пути малого радиуса, при котором направление перемещения тележки (рисунок 1) обеспечивается гребнем колеса передней колесной пары, набегающим на наружный рельс. Задняя колесная пара в зависимости от сил, действующих на тележку со стороны кузова вагона и рельсов, в этом случае может как прижиматься гребнем к наружному рельсу, так и ударяться о контррельс либо оставлять зазор между гребнем колеса и контррельсом [11–13].

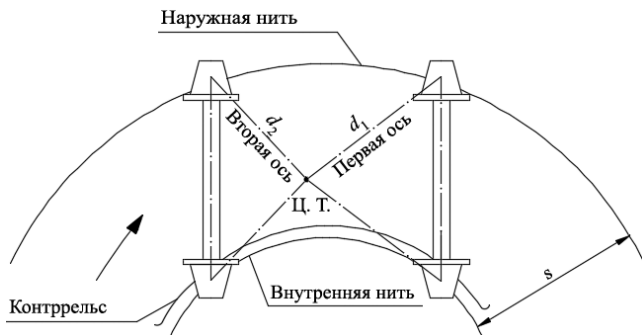


Рисунок 1 – Схема двухосного экипажа при вписывании в кривую малого радиуса

При радиусах кривых менее 350 м Техническими требованиями по эксплуатации кривых участков железнодорожного пути с колесей 1520 мм на Белорусской железной дороге регламентируется установка контррельсов, которая предусматривает их укладку со стороны внутренней нити [14].

Единая конструкция контррельса до настоящего времени не разработана. Так, в патенте [15] предложено техническое решение составного контррельса на основе использования прокатного профиля СП-850. Опыт эксплуатации конструкции более чем на 20 предприятиях России продемонстрировал значительное снижение износа рельсов упорной нити, повышение сопротивления сдвигу, причем удалось исключить сходы подвижного состава.

Целью представленной работы является оценка долговечности усовершенствованной конструкции контррельса на основе моделирования напряженно-деформированного состояния соединения его элементов.

Создано техническое решение контррельса, при котором он может быть изготовлен из старогодных рельсов типа Р50 и установлен на путевой рельс через изготавливаемое крепление (рисунок 2). Также могут применяться рельсы с дефектами поверхности катания, подлежащие изъятию из пути. В качестве рабочей грани контррельса используется наименее изношенное место рельса – его подошва. Крепление разработано с установкой ширины желоба 75 мм, что соответствует требованиям (64–85 мм) и обеспечивает наиболее эффективную эксплуатацию устройства. Конструкция позволяет

производить регулировку ширины желоба за счет установки типовых регулировочных прокладок. Крепление осуществляется типовыми шурупами и болтами, используемыми в путевом хозяйстве. Конфигурация контррельса такова, что позволяет беспрепятственно производить измерение геометрических параметров рельсовой колеи шаблоном ПШ-1520.

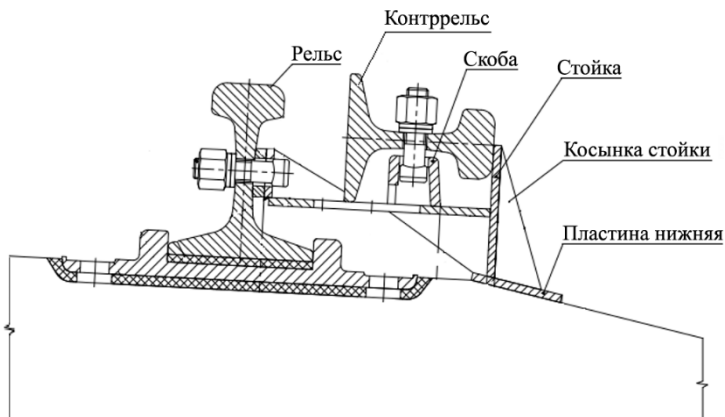


Рисунок 2 – Схема разработанного соединительного элемента конструкции

В среде ANSYS Workbench разработана конечно-элементная модель соединительного элемента контррельса (рисунок 3). При построении сетки конечных элементов использованы преимущественно тетраэдральные элементы, что обусловлено сложной геометрией конструкции. Характеристики материала: модуль упругости – $2 \cdot 10^{11}$ Па, коэффициент Пуассона – 0,3.

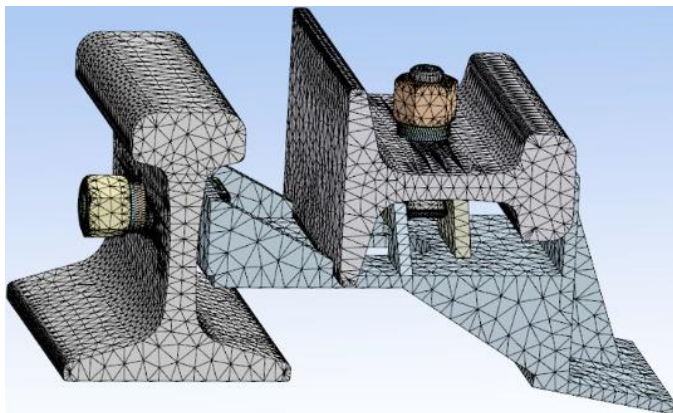


Рисунок 3 – Конечно-элементная модель упорного соединительного элемента конструкции контррельса

Основная нагрузка на контррельс возникает вследствие действия боковых сил инерции. Параметры нагружения подошвы горизонтально расположенного рельса приняты в соответствии с реальными практическими условиям: воспринимаемая статическая нагрузка составляет 10 т (100 кН), площадь ее распределения соответствует площади касания гребня колеса. При назначении граничных условий фиксировались от перемещения по всем направлениям опорная поверхность вертикально стоящего рельса, по которому производится движение поезда, а также опорная поверхность соединительного элемента.

На рисунке 4 приведены результаты расчета максимального числа циклов нагружения конструкции, которое материал выдерживает до разрушения. Вычисление этого показателя осуществлялось на основе $S-N$ кривой материала (кривой «напряжение – долговечность») [16, 17] для рассмотренных условий нагружения конструкции. Из представленной схемы следует, что наиболее подвержено риску разрушения место стыковки горизонтально расположенного рельса с конструкцией соединительного башмака, которое способно выдержать менее 40 циклов нагружения. Также невысокой долговечностью обладает косынка стойки. При эксплуатации конструкции на участках, для которых характерна достаточно высокая интенсивность движения железнодорожных составов, в указанных выше местах требуется усиление.

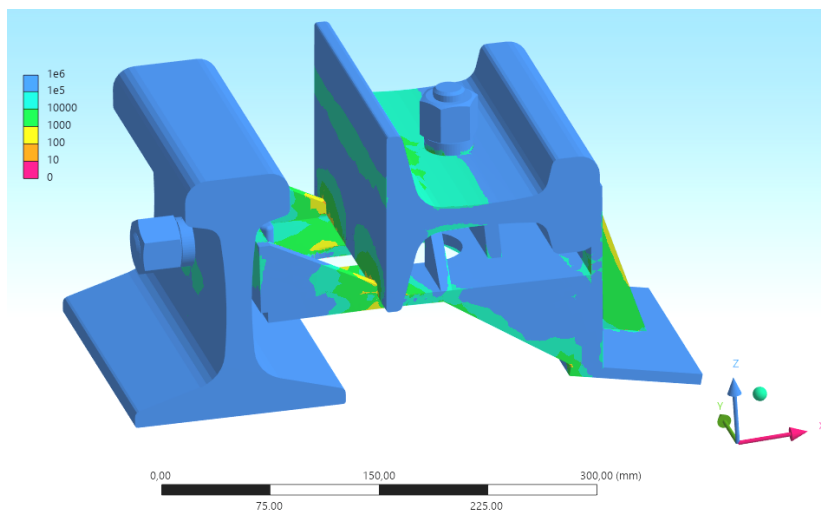


Рисунок 4 – Результаты расчета числа циклов нагружения до разрушения конструкции

Предложенная конструкция в настоящее время используется в кривых, уложенных на железнодорожных путях станций Гомель и Могилев-1 (рисунок 5), где нагрузки не достигают максимально возможных (10 т).



Рисунок 6 – Опытная установка контррельса в кривой радиусом 200 м на подъездных путях в г. Гомеле и станции Могилев -1

Выполненное исследование показывает, что рассматриваемая конструкция контррельса может быть использована в криволинейных участках железнодорожного пути малого радиуса (350 метров и менее) с небольшой интенсивностью поездной работы, при движении по которым узел крепления контррельса к ходовому рельсу будет испытывать нагрузки, значительно меньшие расчетных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 **Варенцов, В. В.** Контррельс для кривых малого радиуса / В. В. Варенцов, А. В. Петраш // Транспорт Российской Федерации. Журнал о науке, практике, экономике. – 2010. – № 3 (28). – С. 60.
- 2 Influence of heavy haul railway curve parameters on rail wear / J. Wang, X. Chen, X. Li, Y. Wu // Engineering Failure Analysis. – 2015. – Vol. 57. – P. 511–520.
- 3 **Zhou, L.** Dynamic analysis of a high-speed train operating on a curved track with failed fasteners / L. Zhou, Z. Shen // Journal of Zhejiang University. Science A. – 2013. – Vol. 14, is. 6. – P. 447–458.
- 4 **Xu, L.** Probabilistic assessment of railway vehicle curved track systems considering track random irregularities / L. Xu, W. Zhai // Vehicle System Dynamics. – 2018. – Vol. 56, is. 10. – P. 1552–1576.
- 5 Curved ballasted track – vehicle dynamic interaction : Effects of curve radius and track structural nonlinearity / L. Pan, L. Xu, X. Chen, Z. Zhu // Journal of Computational and Nonlinear Dynamics. – 2021. – Vol. 16, is. 7. – Article 071004. – 10 p.
- 6 **Kaewunruen, S.** Spectro-temporal responses of curved railway tracks with variable radii of arc curves / S. Kaewunruen, C. Ngamkhanong, X. Liu // International Journal of Structural Stability and Dynamics. – 2019. – Vol. 19, is. 4. – Article 1950044. – 22 p.
- 7 **Pombo, J. C.** Application of a wheel – rail contact model to railway dynamics in small radius curved tracks / J. C. Pombo, J. A. C. Ambrósio // Multibody System Dynamics. – 2008. – Vol. 19, is. 1–2. – P. 91–114.
- 8 **Wang, Z.** Analysis of influence factors of rail corrugation in small radius curve track / Z. Wang, Z. Lei // Mechanical Sciences. – 2021. – Vol. 12, is. 1. – P. 31–40.

9 **Cui, X.** Influence of wheelset structure and fastener stiffness on rail corrugation / X. Cui, G. Chen, H. Yang // Journal of Southwest Jiaotong University. – 2017. – Vol. 52, is. 1. – P. 112–117.

10 **Michálek, T.** Reduction of lateral forces between the railway vehicle and the track in small-radius curves by means of active elements / T. Michálek, J. Zelenka // Applied and Computational Mechanics. – 2011. – Vol. 5, is. 2. – P. 187–196.

11 **Панькин, Н. А.** Причины интенсивного износа гребней колеса и рельса и пути его устранения / Н. А. Панькин // Железнодорожный транспорт. – 1991. – № 11. – С. 57–59.

12 **Воробьев, А. А.** Контактное взаимодействие колеса и рельса / А. А. Воробьев // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2009. – № 3 (39). – С. 42–47.

13 **Хохлов, А. А.** Анализ проблемы взаимодействия колеса с рельсом / А. А. Хохлов, С. И. Тимков, Д. В. Зотов // Железнодорожный транспорт. – 2005. – № 3. – С. 65–67.

14 Правила технической эксплуатации железной дороги в Республике Беларусь: [утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 25.11.15 № 52 : с изм. 31.05.22 № 64 : вступ. в силу с изм. 30.10.22]. – Минск : Энергопресс, 2022. – 763 с.

15 Полезная модель RU 165319 U1, МПК E01B 5/18, E01B 9/68 (2006.01). Устройство для обеспечения безопасности движения и уменьшения бокового износа рельсов в кривых : № 2016113249/11 : заявлено 06.04.2016 : опубл. 10.10.2016 / Алехин А. Л., Алехин Л. И., Варенцов В. В., Петраш А. В. ; патентообладатель Научно-производственное предприятие «Путьсервис». – 7 с.

16 **Саидова, А. В.** Современные методы моделирования динамики подвижного состава / А. В. Саидова, А. М. Орлова. – М. : Учеб.-метод. центр по образованию на ж.-д. трансп., 2025. – 96 с.

17 **Берендеев, Н. Н.** Методы решения задач усталости в пакете Ansys Workbench : учеб.-метод. пособие / Н. Н. Берендеев. – Н. Новгород : ННГУ им. Н. И. Лобачевского, 2020. – 73 с.

M. G. GEGEDESH^{1,2}, T. S. YAKIMCHIK², R. V. SHILO³

¹*Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus*

²*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

³*Mogilev Division of the Belarusian Railway, Mogilev, Belarus*

IMPROVING RAILROAD ROLLING STOCK SAFETY IN SMALL-RADIUS CURVES

A design for a connecting stop element for a check rail made from scrap rails is proposed. It is mounted on the track rail via a custom-made fastener. A finite element model of the proposed connecting element is developed in ANSYS Workbench. Based on the structure stress-strain state analysis, there are formulated the conclusions regarding its strength and durability at operating in small-radius curves.

Keywords: small-radius curves, check rail, connecting element, computer modeling, stress-strain state.

Получено 31.10.2025