

УДК 625.03

**Н.В. Комаровский***(УО «Белорусский государственный университет транспорта»,  
г. Гомель, Беларусь)*

Научный руководитель – М.Г. Гегедеш

**ПОДХОДЫ К АНАЛИЗУ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО  
СОСТОЯНИЯ В ЗОНЕ РЕЛЬСОВОГО СТЫКА ПРИ  
ПРОХОЖДЕНИИ ЧЕРЕЗ НЕГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

*В статье представлен обзор различных подходов к анализу напряжений в зоне рельсового стыка и динамических характеристик контакта колеса с рельсом в момент удара. На основе проведенных исследований выявлены факторы, оказывающие влияние на напряжения в зоне рельсового стыка в динамике, среди которых скорость движения поездов, грузовые нагрузки и состояние инфраструктуры. Для анализа, прогнозирования нагрузок и сроков эксплуатации элементов верхнего строения пути под действием динамических нагрузок от проходящего по ним подвижного возможно применение различных методов, однако наиболее полный результат возможно получить на основе численного моделирования, экспериментальных исследований и систем мониторинга в реальном времени.*

Железнодорожные пути играют ключевую роль в современной транспортной инфраструктуре, и их безопасность и надежность имеют первостепенное значение. Рельсовый стык – одно из слабых мест в конструкции железнодорожного пути, представляющее собой соединение двух рельсов. Это потенциально критические точки, подверженные воздействию динамических нагрузок, возникающих при движении поездов. Стык предназначен для выравнивания концов рельсов по горизонтали и вертикали, а также для создания гладкой поверхности катания для контакта колеса с рельсом. Наличие рельсового стыка с зазором между рельсами, разницей высот и углом наклона нарушает непрерывность пути. При этом изгибная жесткость стыковых брусьев меньше, чем у рельса. Вследствие наличия этих дефектов в стыке рельса при прохождении колес по рельсовому стыку возникает аномально высокая динамическая ударная сила, в 2–3, а в некоторых случаях до 5 раз превышающую статическую нагрузку между рельсами, а также колесом и

рельсом [1]. Значительные ударные силы между колесом и рельсом в области рельсовых стыков приводят к таким серьезным повреждениям рельсов, как смятие, откол, износ и трещины.

Статистика железнодорожной отрасли показывает, что количество замен рельсов по причине разрушения рельсовых стыков составляет 50 % от общего количества замен рельсов. Кроме того, рельсовые стыки с дефектами вызывают вибрацию и шум, создавая дискомфорт для пассажиров и жителей, проживающих вблизи путей. Поэтому целью представленной работы является обзор подходов к анализу напряжений в зоне рельсового стыка и динамических характеристик контакта колеса с рельсом при ударе.

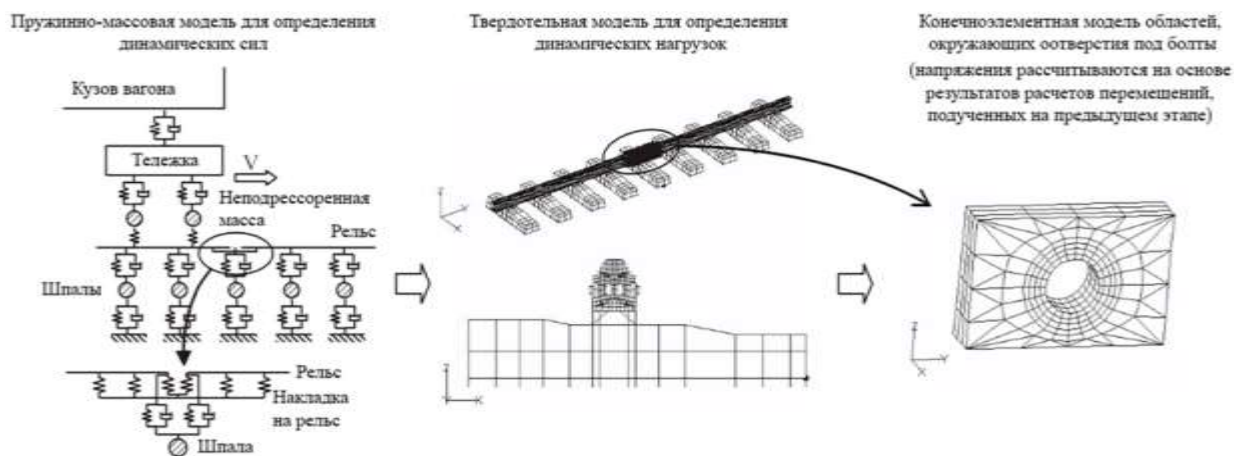
Так, например, в работах [2, 3] подробно описана технология холодного расширения разъемной втулки и механизм, с помощью которого достигается положительное влияние на остаточные напряжения в рельсах.

Авторами исследования [4] создана конечно-элементная модель, которая была использована для анализа влияния ослабления стыкового бруса, несоответствия высоты рельса и скорости поезда на движущую силу трещины, исходящей из отверстия для болта в стенке железнодорожного рельса. Анализ показал, что движущая сила трещины увеличивается по мере ослабления стыка.

В работе [5] представлен точный анализ для клеевых изолированных стыков, который согласуется с результатами испытаний реальных изолированных стыков. Результаты показали, что наличие изолированного рельсового стыка может привести к увеличению деформации в местах стыка.

Авторы [6] исследовали влияние изолированного рельсового стыка на изменение нормального контактного напряжения при контакте колеса с рельсом в условиях отсутствия трения, с помощью трехмерной модели. Численные результаты показали, что наличие изолированного рельсового стыка может существенно повлиять на распределение контактных напряжений между колесом и рельсом.

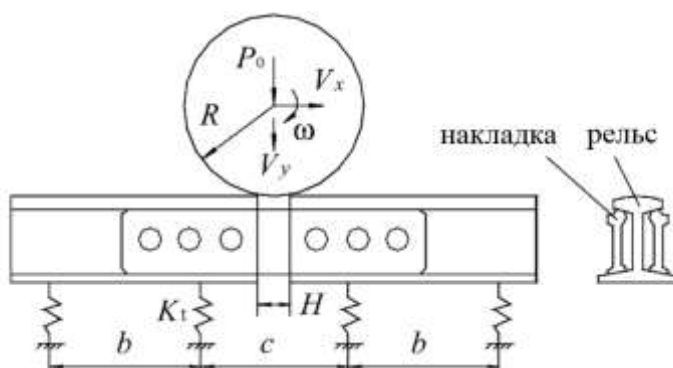
Авторами [7, 8] рассчитаны напряжения вокруг отверстий под болты при помощи метода конечных элементов (рисунок 1), а также статических нагрузочных испытаний, полевых испытаний, статического и динамического анализа напряжений. На основании результатов испытаний и анализа был разработан метод оценки усталостной долговечности рельсовых стыков.



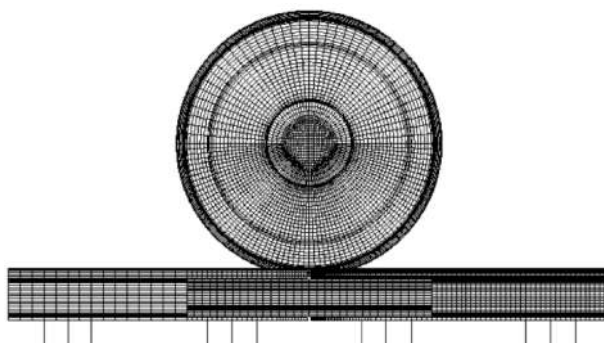
**Рисунок 1 – Последовательность расчетов при определении динамического нагружения рельсовых и накладок на рельсы [7]**

Динамическая сила контактного удара, напряжения и деформации в области рельсового стыка при прохождении колеса по рельсовому стыку с большим зазором, а также влияние нагрузки на ось, скорости движения поезда и параметров материала исследованы в [9–11].

а)



б)



**Рисунок 2 – Модель взаимодействия колеса и рельса [11]: динамическая (а), конечноэлементная (б)**

На основании анализа исследований, проводимых различными авторами, определены факторы, от которых зависят динамические напряжения в зоне рельсового стыка:

- скорость движения поездов;
- грузовая нагрузка;
- состояние рельсов и балласта;
- погодные условия.

Для расчета напряжений в зоне рельсового стыка при динамической нагрузке от подвижного состава применяются различные методы:

1. Численное моделирование. Позволяет анализировать динамическое поведение рельсов и элементов скрепления под воздействием нагрузок, создаваемых движением подвижных составов. Это метод обеспечивает подробные данные о напряжениях и деформациях в стыке.

2. Экспериментальные исследования. В рамках экспериментов проводятся измерения напряжений с использованием датчиков и специальных устройств. Полученные данные используются для анализа реальных нагрузок в зоне стыка.

3. Мониторинг в реальном времени. Современные системы мониторинга позволяют непрерывно отслеживать напряжения в зоне стыка при движении поездов, что обеспечивает операторов информацией о текущем состоянии инфраструктуры.

Таким образом, исследования подтверждают, что динамические напряжения в зоне рельсового стыка подвержены влиянию разнообразных факторов, включая скорость движения поездов, грузовую нагрузку, состояние рельсов и балласта, а также погодные условия. Динамические напряжения в зоне рельсового стыка оказывают существенное влияние на безопасность и надежность железнодорожных систем. Методы численного моделирования, экспериментальные исследования и системы мониторинга в реальном времени предоставляют ценные данные для анализа напряжений. Оптимизация инфраструктуры и регулирование скорости движения поездов могут снизить риск возникновения повышенных напряжений в зоне рельсового стыка. Дальнейшие исследования и инновации в области динамического анализа напряжений необходимы для улучшения безопасности и надежности железнодорожного транспорта.

*Список использованных источников:*

- 1 Tong, D. Railroad track / D. Tong // Beijing: journal of China Railway Publishing House. – China, 1986.

2 Cannon, D.F. Improving the fatigue performance of bolt holes in railway rails by cold expansion / D.F. Cannon, J. Sinclair, K.A. Sharp // Proceeding of the international conference on fatigue, correction cracking, fracture mechanics and failure analysis. – Salt Lake City; USA, 1985.

3 Reid, L. Beneficial residual stresses at bolt boles by cold expansion / L. Reid // Proceedings of the international conference on rail quality and maintenance for modern railway operation. – The Netherlands, 1992. – P. 337–347.

4 Mayville, R.A. Numerical analysis of a railroad bolt hole fracture problem / R.A. Mayville, R.G. Stringfellow // Theoretical and Applied Fracture Mechanics. – 1995. – № 25. – P. 1–12.

5 Kerr, A.D. Analysis and test of bonded insulated rail joints subjected to vertical wheel loads / A.D. Kerr, J.E. Cox // International Journal of Mechanical Sciences. – 1999. – № 41. – P. 1253–1272.

6 Chen, Y.C. Contact stress variations near the insulated rail joints / Y.C. Chen, J.H. Kuang // Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part F: Journal of Rail Rapid Transit. – 2002. – № 216. – P. 265–273.

7 Dynamic analysis of stresses and evaluation of service life of jointed rails / H. Kataoka [et al.] // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. – 2005. – № 46. – P. 250–255.

8 Kataoka, H. Evaluation of service life of jointed rails / H. Kataoka, N. Abe, O. Wakatsuki // Quarterly Report of Railway Technical Research Institute. – 2002. – № 43. – P. 101–106.

9 Wen, Z. Finite element analysis of contact-impact of wheel-rail at rail gap / Z. Wen, X. Jin, W. Zhang // Tribology. – 2003. – № 23. – P. 240–244.

10 Wen, Z. Elastic-plastic finite element analysis of three-dimensional contact-impact at rail joint / Z. Wen, X. Jin, W. Zhang // Chinese Journal of Mechanical Engineering. – 2003. – № 16. – P. 411–416.

11 Wen, Z. Contact-impact stress analysis of rail joint region using the dynamic finite element method / Z. Wen, X. Jin, W. Zhang // Wear. – 2005. – № 258. – P. 1301–1309.

*The paper presents an overview of various approaches to the analysis of stresses in the area of the rail joint and the dynamic characteristics of the wheel-rail contact at the moment of impact. Based on the conducted research, there are identified the factors that influence stress in the rail joint area in dynamics, including train velocity, freight loads and the operation state of infrastructure. To analyze, predict loads and service life of track superstructure*

*elements under the influence of dynamic loads from moving vehicles passing through them, it is possible to use various methods, but the most complete result can be obtained on the basis of numerical modeling, experimental studies and real-time monitoring systems time.*

**Сведения об авторе:**

Комаровский Никита Владимирович, Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», аспирант, специальность «05.22.07 – Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация», 2 год обучения.

**Сведения о научном руководителе:**

Гегедеш Марина Григорьевна, Учреждение образования «Белорусский государственный университет транспорта», доцент, кандидат технических наук, доцент.