

## ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ И УСТАЛОСТНОЙ ДОЛГОВЕЧНОСТИ СВАРНОЙ НЕСУЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ РАМЫ ПЛАТФОРМЫ

*Д. Я. АНТИПИН, Д. А. БОНДАРЕНКО, М. А. МАСЛОВ, С. А. КРАВЦОВ*  
*Брянский государственный технический университет, Российская Федерация*

На рынке грузовых перевозок страны наблюдается устойчивый рост перевозок стали в рулонах. Анализ опыта эксплуатации специализированного подвижного состава, обеспечивающего подобные перевозки, показал, что одним из наиболее распространённых видов дефектов, приводящих к исключению грузовых вагонов из эксплуатации, является усталостное разрушение сварных соединений несущих конструкций. В связи с этим в работе предложена методика оценки усталостной долговечности сварных несущих конструкций вагонов-платформ для перевозки стали в рулонах. Методика основана на использовании математического моделирования движения вагона по реальным неровностям пути и оценке динамической нагруженности несущей конструкции вагона-платформы методом конечных элементов [1, 2]. Методика апробирована на примере исследования усталостной долговечности сварной несущей конструкции рамы вагона-платформы, предназначенного для транспортировки рулонов холоднокатаной стали. Платформа предназначена для эксплуатации по всей сети железных дорог колеи 1520 мм России и стран СНГ со скоростями движения до 120 км/ч.

Рама вагона-платформы представляет собой сварную пространственную несущую конструкцию. Ее основными элементами являются хребтовая балка коробчатого сечения, две боковые балки, две лобовые балки, две шкворневые балки и три поперечные балки.

В местах сварных соединений балок рамы картины напряженно-деформированного состояния достаточно сложны и являются определяющими с точки зрения обеспечения прочности и долговечности конструкции. Для их исследования была разработана конечно-элементная модель рамы вагона, представляющая собой пластинчатую расчетную систему. Нагружение модели выполнялось вертикальными усилиями от веса груза, приложенными к линиям опирания рулонов стали на ложементы; вертикальным усилием от собственного веса рамы платформы, распределенным по всем элементам модели; продольной сжимающей нагрузкой по узлам, расположенным в зоне задних упоров автосцепки, и растягивающей – по узлам в зоне передних упоров. Верификация конечно-элементной модели рамы платформы осуществлялась сопоставлением нормальных напряжений в среднем сечении рамы платформы, полученных с использованием разработанной конечно-элементной модели, и элементарного расчета платформы как балки на двух опорах.

Удовлетворительное совпадение полученных результатов указало на достоверность результатов, получаемых с использованием конечноэлементной модели. Анализ картин распределения напряжений по несущей конструкции рамы платформы от нагрузок I и III режимов указывает на отсутствие в несущих элементах конструкции рамы напряжений, превышающих допускаемые. Это позволяет сделать вывод о достаточной прочности несущей конструкции рамы платформы от нагрузок I и III режимов.

Усталостная долговечность сварных несущих конструкций вагонов определяется в основном усталостной долговечностью сварных соединений (швов) из-за концентрации в них напряжений и наличия сварочных дефектов (рисунок 1).

Оценку усталостной долговечности сварных несущих конструкций, работающих в условиях переменного нагружения, целесообразно проводить в рамках модели многоциклового усталости [3–4] с использованием линейной гипотезы суммирования усталостных повреждений при неустановившихся режимах нагружения. В качестве источника разрушающего воздействия приняты изменяющиеся во времени напряжения в зонах концентрации напряжений несущей конструкции рамы. Величины динамических усилий, действующих на несущую конструкцию рамы, определялись на основе разработанной в программном комплексе «Универсальный механизм» компьютерной модели движения груженого вагона-платформы по неровностям рельсовой колеи с учетом ее макро- и микронеровностей. Полученные в результате моделирования спектры динамических усилий прикладывались к соответствующим узлам конечно-элементной расчетной

схемы. Величины амплитуд изменений напряжений в наиболее нагруженных сварных соединениях несущей конструкции рамы определялись методом непосредственного интегрирования уравнений узловых перемещений, реализованным в программном комплексе метода конечных элементов. На следующем этапе на основе полученных графиков изменения напряжений в зоне наиболее нагруженных сварных соединений и метода полных циклов формируется матрица динамической нагруженности.

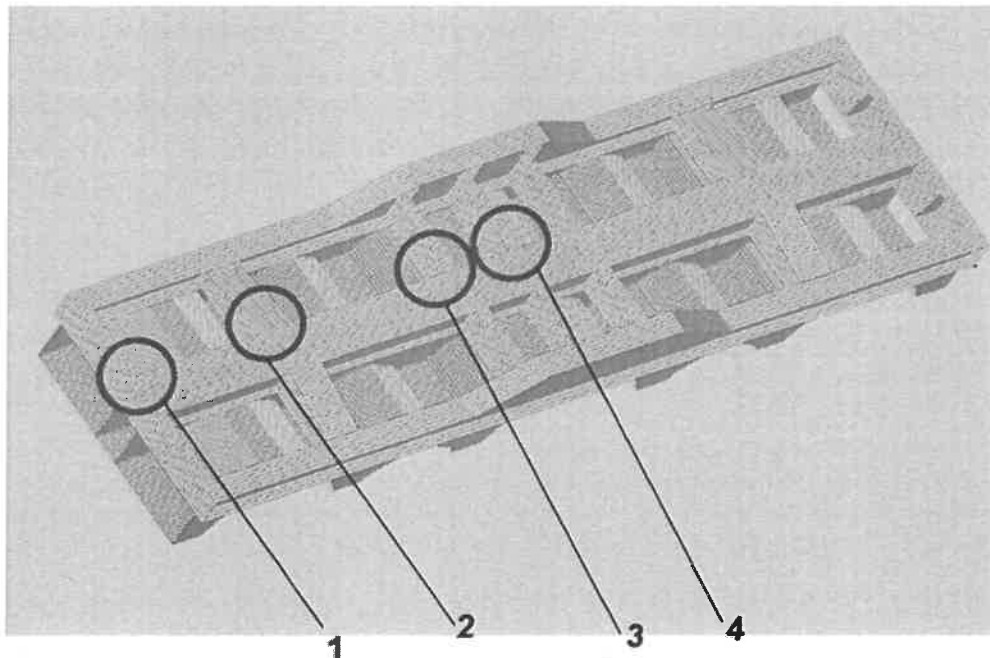


Рисунок 1 – Стыковой сварной шов соединения концевой балки рамы (1) верхнего листа шкворневой балки (2) в зоне приварки поперечных балок к хребтовой балке рамы (3, 4)

На следующем этапе производится уточненный расчет коэффициентов концентрации напряжений в зоне сварных соединений с учетом их геометрии [6]. На финальном этапе выполнен расчет ресурса наиболее нагруженных сварных соединений, приведенных на рисунке 1.

Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод: для рассматриваемых сварных соединений при минимальном значении коэффициента запаса 1,8 срок службы превысил 17 лет, что больше, чем срок до первого капитального ремонта – 15 лет для данного типа вагона. Это свидетельствует о достаточной усталостной прочности предлагаемой сварной конструкции вагона-платформы.

#### Список литературы

- 1 Антипин, Д. Я. Влияние особенностей эксплуатации контейнерных вагонов-платформ на усталостную долговечность их несущих конструкций / Д. Я. Антипин, М. В. Мануева, А. Д. Ионкина // Современные инновации в науке и технике : сб. науч. тр. 7-й Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Курск; 13–14 апреля 2017 года / отв. ред. А. А. Горохов. – Курск : Университетская книга, 2017. – С. 19–21.
- 2 Методика анализа усталостной долговечности несущей рамы специализированного вагона для перевозки шлака / Д. Я. Антипин [и др.] // Транспортное машиностроение. – 2024. – № 2 (26). – С. 62–70. – DOI : 10.30987/2782-5957-2024-2-62-70.
- 3 Когаев, В. П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В. П. Когаев ; под ред. А. П. Гусенкова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1993. – 364 с.
- 4 Муханов, К. К. Метод оценки несущей способности сварных стальных конструкций при малоцикловом нагружении. Расчет на прочность (теоретические и экспериментальные исследования прочности машиностроительных конструкций) / К. К. Муханов, В. В. Ларионов, Х. М. Хануков. – М. : Машиностроение, 1976. – Вып. 17. – 333 с.
- 5 Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М. : ГосНИИВ – ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
- 6 Антипин, Д. Я. Исследование влияния параметров сварных соединений подвижного состава на их усталостную долговечность / Д. Я. Антипин, В. В. Кобищанов, А. М. Высоцкий // Повышение эффективности транспортных машин. – Брянск : БГТУ. – С. 183–190.