

М. Г. МАЛЬГИН, В. И. ДВОРЕЦКИЙ (Институт электросварки имени Е. О. Патона НАН Украины, Киев), Г. В. МИХЕЕВ, Е. А. КРУГОВОВА (Брянский государственный технический университет, Россия)

АНАЛИЗ ПЕРЕМЕННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В СВАРНЫХ УЗЛАХ ПРОЛЕТНЫХ СТРОЕНИЙ СИСТЕМЫ «МОСТ-ПОЕЗД»

В работе представлены основные направления использования результатов исследований системы «мост-поезд» при оценке сопротивления усталости сварных узлов пролетных строений мостов.

Ключевые слова: мост, поезд, динамика, колебания, взаимодействие, сопротивление усталости, сварные соединения

Анализу динамического взаимодействия подвижного состава с мостами уделяется постоянное внимание. Важность такого анализа обусловлена возникновением в процессе их взаимодействия пространственных колебаний экипажей подвижного состава и элементов моста. Наиболее полно проводить исследования, связанные с динамическим анализом такого взаимодействия, позволяет система «мост-поезд» в которой учитываются конструктивные параметры взаимодействующих объектов, величина и скорость движения нагрузки, колебания подрессоренных частей экипажей. При разработке программ для анализа поведения системы весьма актуальна оценка особенностей взаимодействия ее элементов на основе метода конечных элементов. В зависимости от того, какие результаты интересуют исследователя, вводятся определенные допущения в численное представление системы. Например, для выявления пространственных колебаний отдельных элементов пролетного строения (связи, элементы проезжей части и пр.) более подробно представляется его расчетная модель. Анализ влияния пролетного строения или мостового полотна на динамику и нагруженность элементов подвижного состава требует более подробного описания расчетных параметров экипажной части, а расчетную модель моста можно представить упрощенно. При исследовании контактного взаимодействия колеса с рельсом или поведения опорных частей моста выдвигаются свои требования для описания исходных положений пролетного строения и подвижного состава. В связи с этим весьма важно чтобы программы для исследования динамического взаимодействия поезда с мостом можно было адаптировать для решения задач разного направления, а полученные данные использовать для решения других задач.

В данной работе представлены основные направления использования результатов исследований, которые реализуются в рамках разработанного модуля «мост-поезд» программного комплекса «Универсальный механизм» (ПК УМ) [1-3]. Они сформировались в связи с необходимостью совершенствования методологии прогнозирования усталостной долговечности сварных узлов пролетных строений железнодорожных мостов как на стадии эксплуатации, так и проектирования. Направления выбраны по результатам анализа фактического технического состояния мостов после 10...20 лет их эксплуатации. Приоритет отдается комплексному решению проблемы учета влияния динамики на работу элементов конструкции, их эксплуатационную нагруженность, характер изменения напряженно-деформированного состояния с установлением причин их обуславливающих.

Уже первые результаты динамического анализа системы «мост-поезд» показали, что эксплуатационная нагруженность элементов пролетных строений в ряде случаев может значительно отличаться от принятых представлений, которые рассматриваются при расчете на усталость согласно норм проектирования. Отличия проявляются в схемах нагружения, способах передачи нагрузки и реализации взаимодействия элементов. Согласно требований норм проектирования подвижная нагрузка представляется как статическая равномерно распределенная с симметричным нагружением главных балок. Однако при движении по мосту подвижной состав совершает сложные колебания, главные формы которых (вертикальные колебания, вертикальное и поперечное галомирование и боковая качка) по разному влияют на отдельные элементы конструкции. Пространственные колебания подрессоренных частей

экипажей влекут за собой несбалансированную передачу давления колес на конструкцию. Это в свою очередь может приводить к существенному изменению взаимодействия между отдельными элементами узла конструкции и соответственно их локального переменного нагружения. В результате уже на ранней стадии эксплуатации в сварных узлах пролетных строений возникают трещины усталости, которых согласно расчетам по нормам не должно быть. Поскольку динамика взаимодействующих элементов влияет на эксплуатационную долговечность пролетных строений, важно проанализировать и установить ее влияние на характер, величину и повторяемость переменных напряжений в узлах.

Например, по результатам пространственного расчета цельносварного пролетного строения со связями, приваренными через фасонки к поясам главных балок установлено, что неравномерность нагружения главных балок при боковой качке вызывает кососимметричное деформирование конструкции (рис. 1, а). Связи и фасонки включаются в пространственную работу и в них возникают преимущественно изгибные усилия с кручением. Наряду с боковой качкой экипажей связи включаются в работу и от поперечного горизонтального воздействия подвижного состава (рис. 1, б). При этом возникают заметные продольные усилия в связях. В сварных узлах крепления связей формируются потенциально опасные места, вызванные появлением местных дополнительных напряжений от стеснения деформаций элементов. Такие деформации оказывают существенное влияние на характер, величину и повторяемость напряжений в элементах узлов в процессе прохождения подвижного состава по конструкции. При оценке усталостной долговечности по результатам динамического анализа системы «мост-поезд» прохождение поезда по мосту можно рассматривать как квазистационарный процесс нагружения. На первом этапе расчета мост представляется упрощенной моделью (например стержневой), а экипажи – теми параметрами, которые необходимы для описания их колебательных процессов. По результатам расчета устанавливаются типовые (квазистационарные) схемы нагружения, которые впоследствии применяются для отдельного, более полного учета процесса локального нагружения элементов узлов конструкции.

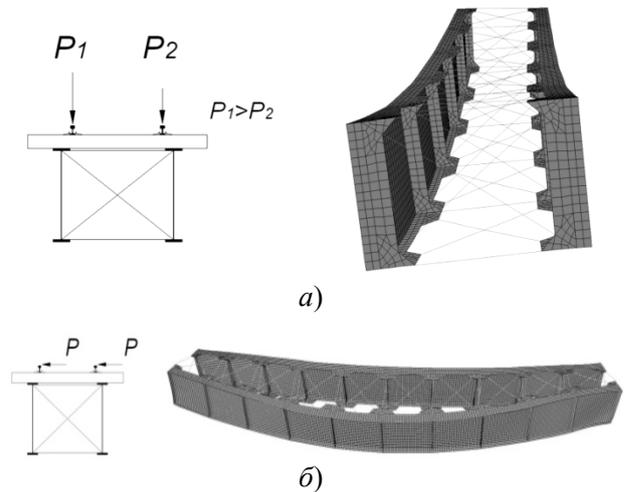


Рис. 1. Пример деформации пролетного строения в результате пространственных колебаний экипажей

В процессе взаимодействия подвижного состава с мостом в отдельных элементах пролетного строения возникают различные вибрации, амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) которых зависят от скорости движения поезда. По результатам динамического анализа взаимодействия подвижного состава с балочными сплошнотенчатыми пролетными строениями установлено, что колебания стенки главной балки вызываются прохождением каждого колеса вагона, а их АЧХ выражено, распределены по диапазонам скоростей движения поезда. Например, при движении однородного грузового поезда, состоящего из четырехосных вагонов, по типовому пролетному строению длиной 18 м (ТП 3.501-75) с мостовым полотном на деревянных поперечинах амплитуды поперечных колебаний стенки (рис. 2, а) по сравнению со статическим выгибом увеличиваются до 8 % в диапазоне движения от 20 до 90 км/ч и до 25 % – от 100 км/ч и выше (рис. 2, б). Колебания (поперечный выгиб стенки из плоскости) могут существенно снижать долговечность пролетных строений, так как они приводят к появлению местных дополнительных напряжений в узлах крепления поперечных ребер к стенке балки [4, 5]. Колебания элементов, зависящие от скорости движения поезда, – стохастический процесс. Поэтому в расчетах важно закладывать определенный динамический коэффициент для наиболее характерных скоростей движения поезда. Например, для рассмотренного пролетного строения кривую зависимости (см. рис. 2, б) можно сгладить и выбрать коэффициенты учета скорости движения поезда.

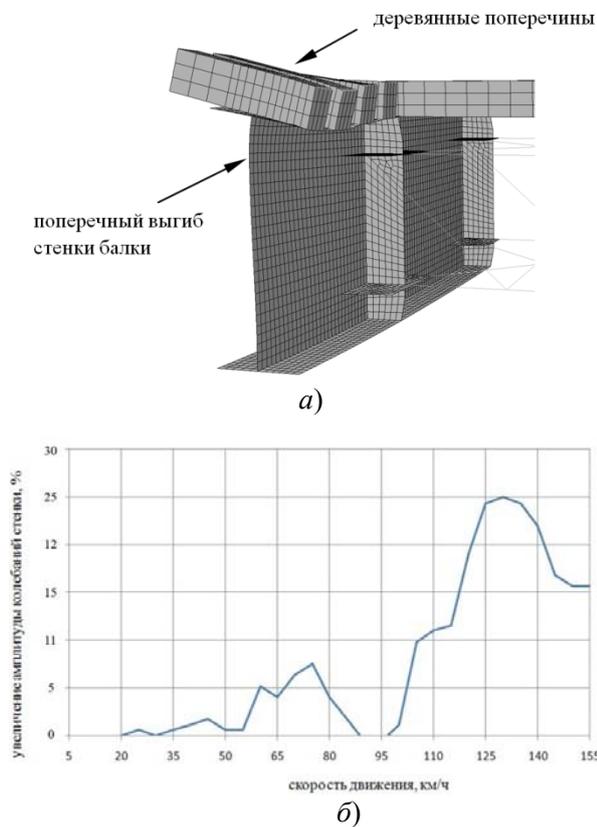


Рис. 2. Колебание стенки главной балки (а) и зависимость увеличения амплитуды колебаний стенки балки от скорости движения поезда (б)

В элементах пролетных строений, имеющих длину загрузки линии влияния менее 22 м (элементы проезжей части, малые пролетные строения), максимальные и минимальные напряжения (деформации) цикла вызываются прохождением вагонной тележки, а при длинах загрузки более 22 м – поезда целиком. По результатам проведенных исследований выявлено, что прохождение каждого вагона по балке с длиной загрузки линии влияния до 6 м, вызывает отнулевой цикл переменных напряжений в середине балки (рис. 3, а). С изменением длины загрузки линии влияния балки до 22 м качественно меняется закономерность изменения напряжений во времени при которой цикл нагружения имеет все признаки быть охарактеризованным как отнулевой двухчастотный (рис. 3, б). Низкочастотные составляющие цикла нагружения σ_1 и f_1 отвечают прохождению поезда целиком, а высокочастотные σ_2 и f_2 – тележек сцепленных вагонов. В расчетах на усталость согласно нормам проектирования принято рассматривать цикл нагружения как одночастотный, независимо от длины загрузки. Однако, как известно, сопротивление усталости в условиях двухчастотного нагружения может снижаться на порядок [6, 7]. В связи с

этим представляется весьма актуальным дальнейшее проведение экспериментально-теоретических исследований с тем, чтобы выяснить степень влияния поличастотного нагружения на долговечность элементов пролетных строений мостов.

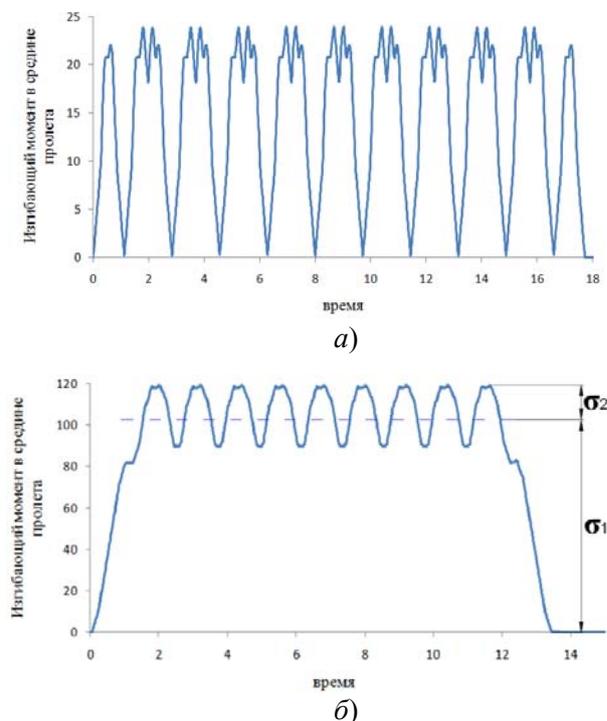


Рис. 3. Изменение усилий (т·м) в середине балки: а) – длина загрузки линии влияния 6 м; б) – длина загрузки линии влияния 16 м

Таким образом, важность практического применения результатов анализа поведения системы «мост-поезд» для оценки сопротивления усталости сварных узлов пролетных строений мостов заключается в комплексном решении проблемы учета влияния динамики (колебаний экипажей и элементов конструкции) на действительную работу взаимодействующих элементов и на изменение характера, величины и повторяемости их эксплуатационной нагруженности. Такой подход позволяет более обосновано прогнозировать эксплуатационную долговечность пролетных строений за счет уточнения переменных напряжений, ответственных за формирование зон предразрушения. В настоящее время проводятся экспериментально-теоретические исследования зависимости закономерностей формирования колебаний от конструктивно-силовых факторов объектов системы «мост-поезд» и установление необходимости и правил учета поличастотного нагружения при оценке сопротивления усталости сварных узлов пролетных строений мостов.

Работа проведена при финансовой поддержке РФФИ, грант 11-01-90422-Укр_ф_а.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Михеев, Г. В. Верификация методики компьютерного моделирования взаимодействия железнодорожных экипажей и мостов [Текст] / Г. В. Михеев и др. // Вестник ВНИИЖТ. – 2011. – № 5. – С. 29–33.
2. Круговова, Е. А. Компьютерное моделирование взаимодействия железнодорожных экипажей и мостов [Текст] / Е. А. Круговова и др. // Материали V Міжнародної науково-практичної конференції, Сер. Техніка, Технологія. – К.: ДЕТУТ, 2011. – С. 86–87.
3. Михеев, Г. В. Взаимодействие железнодорожных экипажей и мостов: некоторые подходы и приложения [Текст] / Г. В. Михеев, Е. А. Круговова, Р. В. Ковалев // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2010. – Вип. 33. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2010. – С. 178–180.
4. Кирьян, В. И. Пути обеспечения нормативного ресурса пролетных строений мостов [Текст] / В. И. Кирьян, М. Г. Мальвин // Вісник Дніпропетр. нац. ун-ту заліз. трансп. ім. акад. В. Лазаряна. – 2011 – Вип. 39. – Д.: Вид-во ДНУЗТ, 2011. – С. 55–59.
5. Лучко, Й. Й. Механіка руйнування мостових конструкцій та методи прогнозування їх залишкової довговічності [Текст] / Й. Й. Лучко, Г. Т. Сулим, В. І. Кир'ян, за ред. Й. Й. Лучка. – Львів: Каменяр, 2004. – Т. 6. – 883 с.
6. Прочность сварных конструкций при переменных нагрузках. АН УССР Ин-т электросварки им. Е. О. Патона [Текст] / под. ред. В. И. Труфякова. – К.: Наук. думка. 1990 – 256 с.
7. Труфяков, В. И. Циклическая долговечность при двухчастотном нагружении [Текст] / В. И. Труфяков, В. С. Ковальчук. – К.: ИЭС им. Е. О. Патона АН УССР, 1982. – 36 с.

Поступила в редколлегию 31.07.2012.
Принята к печати 20.08.2012.

М. Г. МАЛЬГІН, В. І. ДВОРЕЦКИЙ (Институт електрозварювання імені Є. О. Патона НАН України), Г. В. МІХЄЄВ, Е. А. КРУГОВОВА (Брянський державний технічний університет, Росія)

АНАЛІЗ ЗМІННИХ НАПРУЖЕНЬ У ЗВАРНИХ ВУЗЛАХ ПРОГОНОВИХ БУДОВ СИСТЕМИ «МІСТ-ПОЇЗД»

В роботі представлені основні напрямки використання результатів досліджень системи «міст-поїзд» при оцінці опору втомі зварних вузлів прогонових будов мостів.

Ключові слова: міст, поїзд, динаміка, коливання, взаємодія, опір втомі, зварні з'єднання

M. MALGIN, V. DVORETSKY (The Paton Electric Welding Institute, Kiev),
G. MIKHEEV, E. KRUGOVOVA (Bryansk State Technical University, Russia)

THE ANALYSIS OF FLUCTUATING STRESS IN WELDED JOINTS OF SUPERSTRUCTURES OF «BRIDGE-TRAIN» SYSTEM

The present paper concentrates on basic directions of use of research results of «bridge-train» system in fatigue analysis of welded bridge joints.

Keywords: bridge, train, dynamics, vibrations, interaction, fatigue resistance, welded joints