

## ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ И НАПРЯЖЁННОГО СОСТОЯНИЯ БОКОВОЙ РАМЫ ТРЁХЭЛЕМЕНТНОЙ ТЕЛЕЖКИ, ОБОРУДОВАННОЙ УПРУГИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ В СОЕДИНЕНИИ С БУКСОЙ

У роботі запропоновано конструкцію бокової рами з пружним в'язком у з'єднанні з колісною парою. Пружний в'язок здійснюється введенням амортизаторів, які складаються з двох поліуретанових елементів, розташованих симетрично по обидві сторони букси. Для розрахунків бокових рам використано кінцево-елементну модель. Розглянуто різні форми прорізів для центрального та буксового підвішування. Встановлено причини виникнення концентраторів напружень і запропоновано методи їх усунення.

В работе предложена конструкция боковой рамы с упругой связью в соединении с колёсной парой. Упругая связь осуществляется путём введения амортизаторов, состоящих из двух полиуретановых элементов, расположенных симметрично по обеим сторонам буксы. Для расчёта боковых рам была использована конечно-элементная модель. Рассмотрены различные формы проёма для центрального и буксового подвешивания. Установлены причины возникновения концентраторов напряжений и предложены методы их устранения.

A classification of side frames for three-piece bogies was proposed. For side frames with elastic primary suspension finite element models considering this interaction, as well as the elastic interaction with the secondary suspension, were developed and verified through testing. An evolution series of side frames to optimize the strength and mass of the construction was developed analyzing stress concentration zones and methods to eliminate them.

В конструкциях трёхэлементных тележек одним из наиболее нагруженных элементов является боковая рама, от прочности которой зависит безопасность движения вагона. Проблема проектирования боковой рамы связана не только с улучшением металлоконструкции, но также со снижением динамических нагрузок на неё. Одной из причин низкой надёжности боковых рам является отсутствие амортизации действующих на них усилий, а также интенсивные износы и образование трещин в зонах буксовых проёмов. НВЦ «Вагоны» предложена конструкция боковой рамы с упругой связью в соединении с колёсной парой (рис.1), которая позволяет решить эти проблемы.

Упругая связь осуществляется путём введения амортизаторов, состоящих из двух полиуретановых элементов, расположенных симметрично по обеим сторонам буксы (рис. 2). Эластомерные пластины разделены внутренними металлическими листами, установленными параллельно внешним армировочным листам, что определяет необходимую жёсткость упругого комплекта.



Рис. 1. Общий вид трёхэлементной тележки с упругим опиранием боковой рамы на буксу

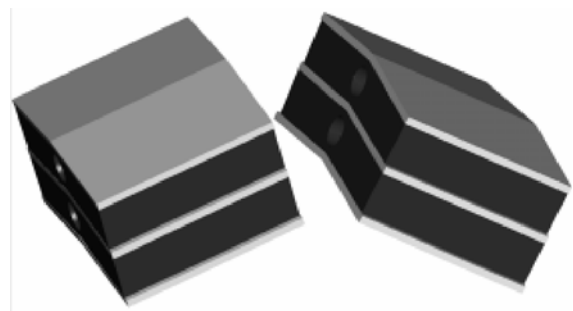


Рис. 2. Общий вид полиуретанового упругого элемента связи колёсной пары с боковой рамой

## Классификация боковых рам

При разработке боковой рамы на первом этапе был сделан обзор конструкций и классификация по форме проёма для центрального и буксового подвешивания. Формы проёмов для центрального и буксового подвешивания представлены на рис.3 и 4.

Тип I проёма центрального рессорного подвешивания – замкнутой прямоугольной формы, которая используется на подавляющем числе трёхэлементных тележек. Тип II – клиновидной замкнутой формы, преимущественно используется совместно с эластомерным рессорным подвешиванием. Тип III – незамкнутой прямоугольной формы. В конструкциях данного типа обычно присутствуют ножевые опоры для пружин рессорного подвешивания, поводковая связь боковой рамы и надрессорной балки. Тип IV – замкнутой круглой формы, используется в основном для обеспечения раздельного галопирования боковин в эксплуатации. Тип V – два отверстия круглой формы; используется только в конструкциях иностранных тележек. Тип VI – люлька – применяется в пассажирских тележках, а также в грузовых тележках некоторых типов.

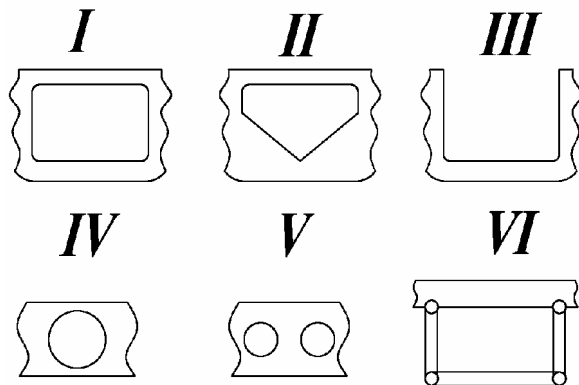


Рис. 3. Основные формы проёма центрального рессорного подвешивания, используемые в трёхэлементных тележках.

Для буксового подвешивания были выделены следующие типы. Тип 1 – прямоугольная форма, используется, например, в тележках модели 18-100. Тип 2 – прямоугольная форма с возможностью установки плоского неметаллического упругого элемента. Тип 3 – прямоугольная форма с возможностью установки пружин внутри боковой рамы. Тип 4 – с выпуклой сферической формой опорной части. Тип 5 – пятиугольная форма с возможностью установки эластомерных упругих комплектов. Тип 6 – с вогнутой сферической формой опорной части, с возможностью установки неметаллического упругого элемента или с возможностью шарнирного опирания на буксовый узел.

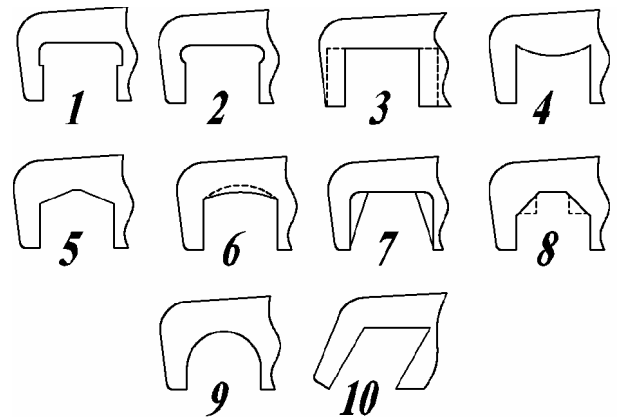


Рис. 4. Основные формы проёма буксового подвешивания, используемые в трёхэлементных тележках

Тип 7- остроконечная форма для установки пружин или же эластомерных элементов в полости боковой рамы. Тип 8 – клиновидная форма, подразумевает установку фрикционных гасителей колебаний. Тип 9 – круглая форма для непосредственного или через эластомерную прокладку опирания на буксу. Тип 10 – параллелограммная форма, предусматривает непосредственное либо через пружины опирание на буксовый узел.

Предложенная классификация позволяет синтезировать принципиально возможные конструкции боковой рамы трёхэлементной тележки.

### Методика расчёта боковой рамы трёхэлементной тележки с учётом упругих элементов

В процессе эксплуатации боковая рама подвергается воздействию различных нагрузок, которые должны быть учтены при расчёте на прочность. В соответствии с [1] нагрузки, действующие на боковую раму, можно разбить на 4 режима.

1. Экстремальная вертикальная нагрузка, складывающаяся из веса брутто и вертикальной динамической добавки от силы инерции вагона (первый режим - первое сочетание нагрузок).
2. Экстремальное сочетание вертикальной, поперечной и продольной нагрузок, возникающее при торможении тяжеловесного состава в кривой (первый режим - второе сочетание нагрузок).
3. Экстремальное сочетание продольной и вертикальной нагрузок при проходе вагонного замедлителя (первый режим – третье сочетание нагрузок).

4. Сочетание умеренных по величине продольных, поперечных и вертикальных нагрузок, характерное для движения вагона в поезде (третий режим).

При использовании конечно-элементных моделей для расчёта боковых рам важно правильно задать граничные условия и приложить нагрузки. Для боковой рамы, имеющей упругую связь с колёсной парой, а также рессорный комплект центрального подвешивания, предложена расчётная схема, приведенная на рис. 5. В табл. 1 показаны нагрузки, действующие на боковую раму, в различных режимах (для осевой нагрузки 25 т).

В расчётной схеме помимо металлоконструкции присутствуют упругие элементы в соединении колёсной пары с боковой рамой, имеющие соответствующие жёсткости, и упругие элементы в соединении надрессорной балки с боковой рамой, имеющие жесткости, соответствующие жёсткости клиновой системы на забегание. В расчётной схеме вертикальные и поперечные перемещения ограничены по оси колёсной пары, продольные перемещения ограничены на внешних плоскостях упругих элементов, имитирующих связь с надрессорной балкой.

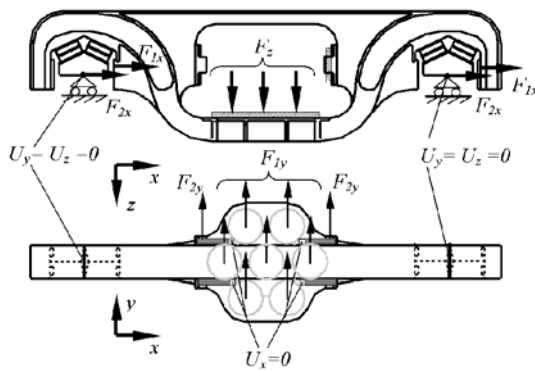


Рис. 5. Граничные условия и нагрузки, действующие на боковую раму, с учётом введения упругих связей

Таблица 1

**Величины усилий, действующих на боковую раму, для расчета на статическую прочность**

Режим	$F_{1x}$ , кН	$F_{2x}$ , кН	$F_{1y}$ , кН	$F_{2y}$ , кН	$F_z$ , кН
I-1	0	0	0	0	507
I-2	12	12,5	69	30	366
I-3	107,5	12,5	0	0	366
III	0	7	17	0	327

Вертикальные и поперечные нагрузки приложены к опорному листу центрального рессорного проёма. В первом режиме – первое сочетание нагрузок часть поперечных сил приложена к ограничивающим поперечное перемещение надрессорной балки планкам. Во всех расчётных режимах, кроме I-3, продольные нагрузки приложены к оси колёсной пары. В режиме I-3 часть продольной нагрузки приложена к ограничивающей буксовый проём планке.

Предложенная расчётная схема в наибольшей степени приближена к реальным условиям. Результаты расчёта показали, что при применении данной расчётной схемы определяющими режимами при проектировании боковины являются первый режим – первое сочетание нагрузок и первый режим - второе сочетание нагрузок, что связано с особенностями работы боковой рамы на скручивание и изгиб. Для оценки достоверности разработанной методики расчёта результаты численного эксперимента сравнивались с натурным. Напряжён-деформированное состояние боковой рамы при первом режиме – первое сочетание нагрузок и первом режиме – второе сочетание нагрузок представлено на рис. 6. Расхождение эквивалентных напряжений в боковой раме, полученных в результате конечно-элементного расчёта и в результате статических испытаний, не превысили 15%.

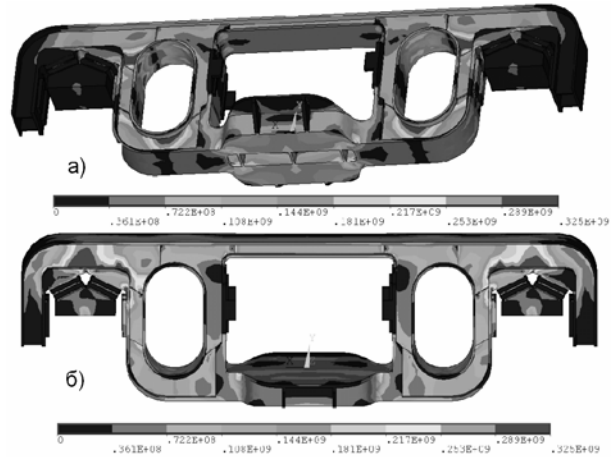


Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений (Па) в боковой раме:

- а) первый режим – первое сочетание нагрузок;
- б) первый режим – второе сочетание нагрузок

**Методика оценки долговечности сварной конструкции боковой рамы**

Для оценки долговечности боковой рамы предложен режим нагружения, позволяющий спрогнозировать величины динамических напряжений при движении. Его отличие от третьего режима состоит в том, что величина

вертикальной силы уменьшена на величину силы тяжести вагона брутто. Максимальные допускаемые значения напряжений по этому режиму были определены для различных зон боковой рамы по коэффициенту запаса сопротивлению усталости (табл. 2).

Таблица 2

**Максимальные допускаемые динамические напряжения**

Основной металл	Продольные сварные швы	Угловые сварные швы	Нахлесточные и стыковые сварные швы
118 МПа	104 МПа	59 МПа	48 МПа

Ведутся работы по подтверждению достоверности предложенной методики оценки сопротивления усталости на основании стендовых усталостных и ходовых прочностных испытаний.

**Результаты расчёта прочности боковых рам**

На основе расчётов, выполненных для боковых рам различной конфигурации, установлено, что наиболее проблемными местами с точки зрения прочности являются зона перехода буксового проёма в наклонный пояс и зона перехода вертикальной стойки в узел плиты опирания центрального рессорного подвешивания, где присутствуют концентраторы напряжений.

При устранении концентраторов получен эволюционный ряд боковых рам (рис. 7), который позволил отследить причины их возникновения, а также найти пути решения проблемы повышения прочности боковой рамы при постоянной массе.

Анализ напряжённо-деформированного состояния боковых рам показал, что:

1. эффективным способом устранения концентраторов в нижних углах центрального рессорного проёма является, одновременно, использование вертикальных листов большей толщины и максимальное увеличение радиуса;
2. для устранения концентраторов в верхних углах рессорного проёма достаточно увеличить их радиус;
3. конструкция опорной плиты центрального подвешивания без концентраторов предполагает установку подпорных листов под пружины в направлении плоских сечений балки;



Рис. 7. Эволюционный ряд боковых рам трёхэлементных тележек имеющих I тип формы проёма центрального рессорного подвешивания и I тип формы проёма буксового рессорного подвешивания (ход эволюции сверху вниз)

4. устранение концентраторов в углах буксового проёма, вызванных приложением вертикальных и продольных нагрузок, возможно путём установки упругих элементов непосредственно на нижний лист боковой рамы, без переходных элементов, которые дают скачок жёсткости;
5. устранение концентратора в верхнем внутреннем углу буксового проёма, вызванного приложением поперечных нагрузок к боковой раме, возможно путём введения дополнительной упругости (поперечного листа).

## Заключение

В статье описана методика проектирования боковых рам:

- предложена классификация на основе форм буксового проёма и проёма центрального рессорного подвешивания;
- разработана система нагрузок и граничных условий для расчёта статической и усталостной прочности, учитывающая упругое взаимодействие боковой рамы с колёсной парой и над-рессорной балкой;
- установлены причины возникновения концентраторов напряжений и предложены методы их устранения.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). – М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1983.
2. Васильев С.Г. Особенности конструктивного исполнения и напряженного состояния боковой рамы трехэлементной тележки, оборудованной упругими элементами в соединении с буксой // Этот сборник. – С. 43-47.
3. Васильев С.Г. Влияние способов задания граничных условий и нагрузок при расчете на прочность боковой рамы тележки грузовых вагонов // Шаг в будущее (Неделя науки – 2004): Межвуз. сб. научн. трудов. – СПб.: ПГУПС, 2004.
4. Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Васильев С.Г., Державец Ю.А., Аношин Г.В., Турков А.И. Полиуретановые элементы буксового подвешивания тележек грузовых вагонов // Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты. Сб. научн. статей. – СПб: ПГУПС-ЛИИЖТ, 2003. – С. 39-45.
5. Бороненко Ю.П., Орлова А.М., Рудакова Е.А., Васильев С.Г., Аношин Г.В. Экспериментально-теоретические исследования надежности полиуретановых упругих элементов в соединении «букса – рама» тележек грузовых вагонов // Проблемы прочности материалов и сооружений на транспорте. Материалы конф. СПб.: ПГУПС, 2004.