

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВА И УРОВНЯ СИЛ, ДЕЙСТВУЮЩИХ НА КОНСОЛЬНУЮ ЧАСТЬ БОКОВОЙ РАМЫ В ПРОЦЕССЕ ЭКСПЛУАТАЦИИ ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Данная статья посвящена исследованию дополнительных поперечных и продольных сил, действующих на консольную часть боковой рамы при ее динамическом взаимодействии с буксовым узлом колесной пары. Действия дополнительных сил, которые не учитываются при расчетах на прочность согласно действующим методикам, могут значительно снизить усталостную долговечность боковых рам и послужить одной из причин их изломов. Целью данной работы был анализ состава и уровня сил, действующих на консольную часть боковой рамы в процессе эксплуатации грузового вагона. Для этого была построена трехмерная модель сочленения челюстного проема боковой рамы с буксовым узлом и выполнен анализ возможных вариантов их взаимодействия. На основе данного анализа была доработана существующая математическая модель грузового вагона. Выполнено моделирование движения грузового вагона по прямым участкам пути и при вписывании в кривую радиусом 300 м с различными скоростями движения. По результатам расчетов построены зависимости значений дополнительных сил, действующих на консольную часть боковой рамы, от скорости движения вагона. Анализ результатов выполненных расчетов позволил установить состав и уровень сил, действующих на консольную часть боковой рамы вагона, которые не учитывались при расчетах по существующим методикам. Полученные результаты будут использованы на последующих этапах исследования с целью уточнения напряженно-деформированного состояния боковой рамы и разработки рекомендаций по совершенствованию ее конструкции.

Дана стаття присвячена дослідженню додаткових поперечних і повздовжніх сил, що діють на консольну частину бічної рами при її динамічній взаємодії з буксовим вузлом колісної пари. Вплив додаткових сил, які не враховуються при розрахунках на міцність згідно з чинними методиками, може значно знизити втомну довговічність бічних рам і бути однією з причин їх зламів. Метою даної роботи був аналіз складу та рівня сил, що діють на консольну частину бічної рами в процесі експлуатації вантажного вагона. Для цього було побудовано тривимірну модель зчленування щелепного отвору бічної рами з буксовим вузлом і виконаний аналіз можливих варіантів їх взаємодії. На основі даного аналізу була доопрацьована існуюча математична модель вантажного вагона. Виконано моделювання руху вантажного вагона по прямих ділянках колії та при вписуванні в криву радіусом 300 м з різними швидкостями руху. За результатами розрахунків побудовані залежності значень додаткових сил, що діють на консольну частину бічної рами, від швидкості руху вагона. Аналіз результатів виконаних розрахунків дозволив встановити склад і рівень сил, що діють на консольну частину бічної рами вагона, які не враховувалися при розрахунках за існуючими методиками. Отримані результати будуть використані на наступних етапах дослідження з метою уточнення напружено-деформованого стану бічної рами і розробки рекомендацій щодо вдосконалення її конструкції.

The paper deals with the study of additional lateral and longitudinal forces affecting the side frame cantilever part with its dynamic interaction with an axle box assembly of the wheel pair. The effects of additional forces that are not taken into account in the strength calculation by our standards may significantly reduce the fatigue life of side frames and result in their fractures. The work goal was to analyze the content and level of forces affecting the cantilever part of the side frame in operation of a freight car. To attain this, a three-dimensional model for coupling the jaw opening of the side frame with the axle box assembly has been built, and possible versions of their interaction has been analyzed. Based on the analysis presented, the existing mathematical model of a freight car has been updated. The motion of the freight car on the straight track and curved track of 300 m radius at different speeds has been simulated. According to the results, the dependences of the values of additional forces affecting the cantilever part of the side frame on the car motion speed have been derived. The analysis of the results of the calculations conducted allowed the determination of the content and level of forces affecting the cantilever part of the car side frame that are not taken into consideration using the existing procedures. The results obtained can be used in further studies with the aim of refining a stressed-strained state of the side frame and developing recommendations for improving its design.

Ключевые слова: *грузовой вагон, изломы боковин, дополнительные силы, действующие на консольную часть боковой рамы.*

В последние годы на сети железных дорог колеи 1520 мм наблюдается тенденция существенного увеличения числа изломов боковых рам тележек грузовых вагонов [1, 2], что может быть связано с изменением конструкции боковин (переход на коробчатое сечение консольной части). Коробчатое сечение

является более жестким по сравнению с двутавровым и не способно, упруго деформируясь, гасить дополнительное воздействие от забегания боковых рам относительно друг друга. Как известно, одним из недостатков трехэлементной тележки является возможность забегания боковых рам, при этом на консольную часть рамы передаются дополнительные изгибающие и крутящие моменты, что может значительно снизить усталостную долговечность боковых рам и послужить одной из причин их изломов. Также следует отметить, что действие дополнительных сил, возникающих при забегании боковых рам, не учитывается при расчетах на прочность согласно действующим методикам [3].

При расчетах напряженно-деформированного состояния элементов тележек грузовых вагонов к консольной части боковой рамы прикладываются поперечные (к опорной поверхности буксового проема, 1 на рис. 1) и продольные (к упорным приливам наружной челюсти, 2 на рис. 1) нагрузки.

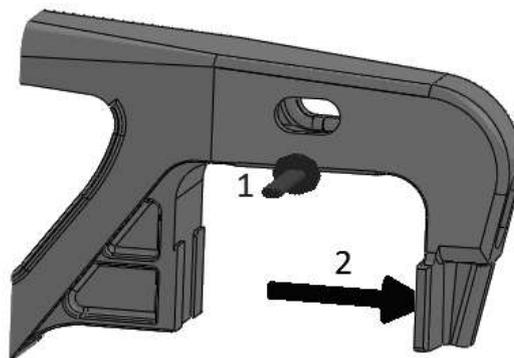


Рис. 1

В используемой схеме учитываются не все силы, которые могут возникнуть при контактном взаимодействии буксового узла колесной пары с боковой рамой тележки в процессе эксплуатации вагона. Для оценки возможности возникновения дополнительных сил, которые могут действовать на консольную часть боковой рамы грузового вагона, необходимо выполнить анализ вариантов взаимодействия буксового узла и боковой рамы.

Конструкция челюстного проема боковой рамы и буксового узла предполагает наличие продольного и поперечного зазоров между приливами корпуса буксы и челюстной направляющей, из-за которых может меняться характер их контакта. Для определения возможных поверхностей контактов и анализа их геометрических характеристик была построена трехмерная модель сочленения челюстного проема боковой рамы с буксовым узлом (рис. 2).

Показанные на рис. 2 силы, действующие на консольную часть боковой рамы, могут возникать:

- при поперечном смещении колесной пары относительно боковой рамы и контактном взаимодействии наружной челюстной направляющей с приливами корпуса буксы (см. рис. 2 а, б);
- при продольном смещении колесной пары относительно боковой рамы и контакте челюстной направляющей боковой рамы с вертикальным приливом корпуса буксы (см. рис. 2 в);
- за счет сил сухого трения между опорной поверхностью буксового проема и опорными приливами корпуса буксы (см. рис. 2 г).

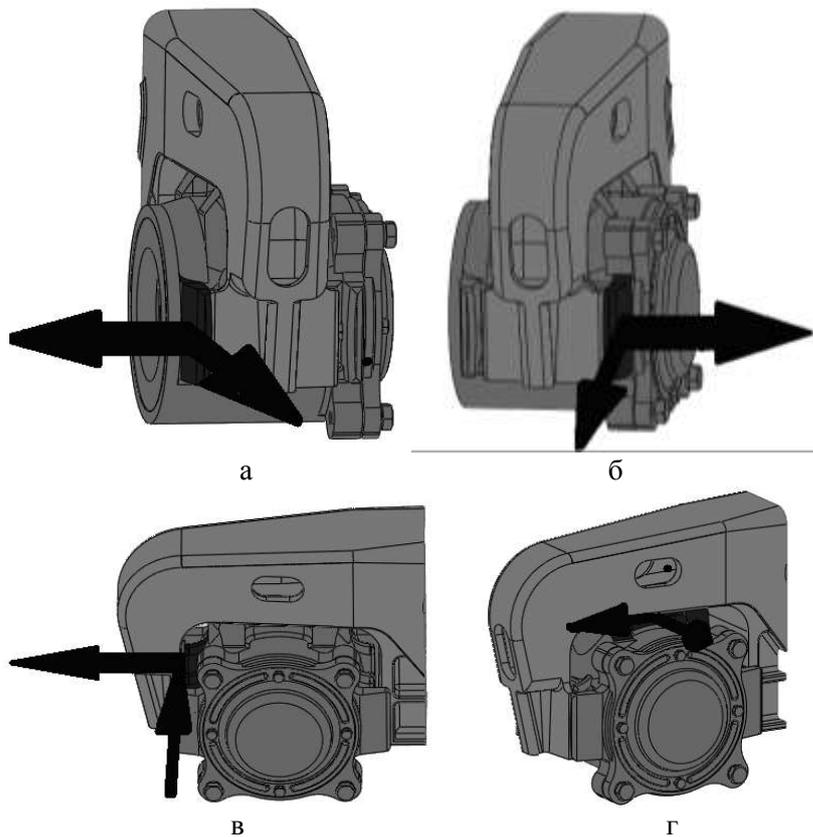


Рис. 2

Из указанных вариантов наибольший интерес для исследования представляют случаи контакта, показанные на рис. 2 а и рис. 2 б, поскольку при таком взаимодействии рассматриваемых тел возникает более сложное напряженно-деформированное состояние.

Для оценки уровня сил, возникающих при контактном взаимодействии буксового узла и консольной части боковой рамы, было использовано математическое моделирование движения грузового вагона по рельсовому пути. В существующих математических моделях колебаний грузового вагона при моделировании связей между боковой рамой и корпусом буксы обычно не учитывается возможность изменения характера их контактного взаимодействия (рис. 2), поскольку это изменение не повлияет существенно на динамику рельсового экипажа. Однако оно может существенно повлиять на напряженно-деформированное состояние самой боковой рамы. Для оценки уровня сил, действующих на консоль боковой рамы тележки, была выполнена доработка математической модели движения экипажа в части детализации связей боковой рамы с корпусом буксы.

Моделирование динамического взаимодействия буксового узла колесной пары с консольной частью боковой рамы тележки проводилось в среде программного комплекса «Универсальный механизм». Для этого за основу была взята ранее разработанная математическая модель грузового вагона, построенная с использованием подхода, в соответствии с которым каждая тележка представляется набором абсолютно твердых тел, связанных посредством шарниров и силовых элементов. Для моделирования связей боковой рамы с

корпусом буксы использовано 7 силовых элементов, моделирующих контактные силы типа точка–плоскость. При этом контактное взаимодействие реализуется в виде модели податливого контакта, при котором допускается внедрение контактирующих элементов одного тела в другое [4]. Каждый силовой элемент соответствует возможному контакту челюстного проема с корпусом буксы.

Для оценки уровня сил, действующих на консольную часть боковой рамы, рассматривались колебания груженого вагона при движении со скоростями от 40 до 120 км/ч по прямым и от 30 до 80 км/ч по криволинейным участкам пути с неизношенными рельсами Р65. По результатам расчетов выполнен анализ зависимостей сил контактного взаимодействия боковины с буксой от скорости движения грузового вагона. Установлено, что при движении вагона с рассматриваемыми скоростями как по прямым, так и криволинейным участкам пути не возникает контактное взаимодействие челюстной направляющей боковой рамы с вертикальным приливом корпуса буксы (см. рис. 2 в). Это объясняется тем, что возникающие в процессе движения силы меньше силы трения сцепления между опорными поверхностями челюстного проема и корпусом буксы (см. рис. 2 г) и не происходит продольное смещение колесной пары относительно боковой рамы. На рис. 3 показана схема действия сил, полученных по результатам расчетов (F_{x1i} , F_{x2i} , F_{y1i} , F_{y2i} – силы, действующие на челюстные направляющие боковых рам; F_{wx_i} , F_{wy_i} – силы, действующие в зоне опорных поверхностей буксовых проемов (i – номер боковой рамы тележки)).

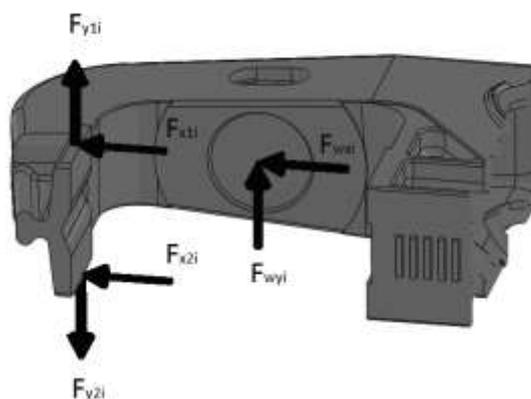


Рис. 3

Зависимости указанных сил от скоростей движения по прямому участку пути и при вписывании в кривую радиусом 300 м приведены на рис. 4 и рис. 5 соответственно. При этом сила трения, действующая в зоне опорных поверхностей буксовых проемов, разложена на поперечную и продольную составляющие (F_{wx} и F_{wy} соответственно), а зависимости их величин от скорости движения представлены на рис. 4 а (для движения по прямым) и рис. 5 а (для движения по кривым).

Для случая контакта челюстной направляющей боковой рамы с приливами корпуса буксы (см. рис. 2 а, б) зависимости контактных сил от скоростей движения вагона показаны на рис. 4 б и рис. 5 б.

При движении по прямым участкам пути (см. рис. 4 б) вследствие извилистого движения колесной пары имеет место попеременный контакт че-

люстных направляющих с двумя приливами корпуса буксы (силы F_{y11} – F_{y22}), которые возрастают по мере роста скорости движения. При движении по криволинейным участкам пути (см. рис. 5 б) челюстная направляющая контактирует только с одним приливом корпуса буксы, что обусловлено действием центробежной силы. Также возникают значительные продольные силы трения между приливами буксы и консольной частью боковой рамы (F_{x11} , F_{x22} на рис. 5 б).

Таким образом, анализ результатов выполненных расчетов позволил установить состав и уровень сил, действующих на консольную часть боковой рамы вагона, которые не учитывались при расчетах по существующим методикам. Полученные данные могут быть использованы для уточнения напряженно-деформированного состояния боковой рамы и разработки рекомендаций по увеличению ее прочности.

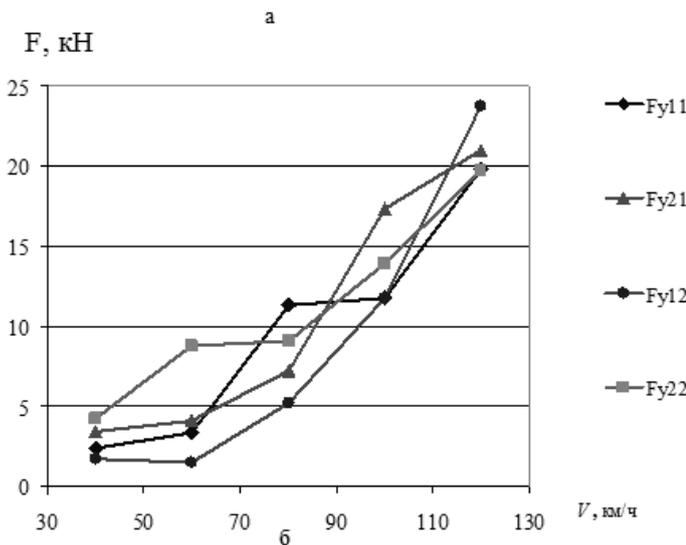
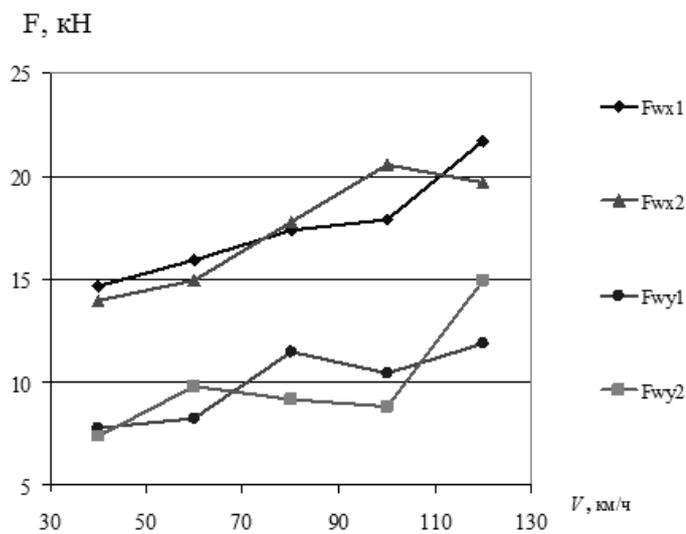


Рис. 4

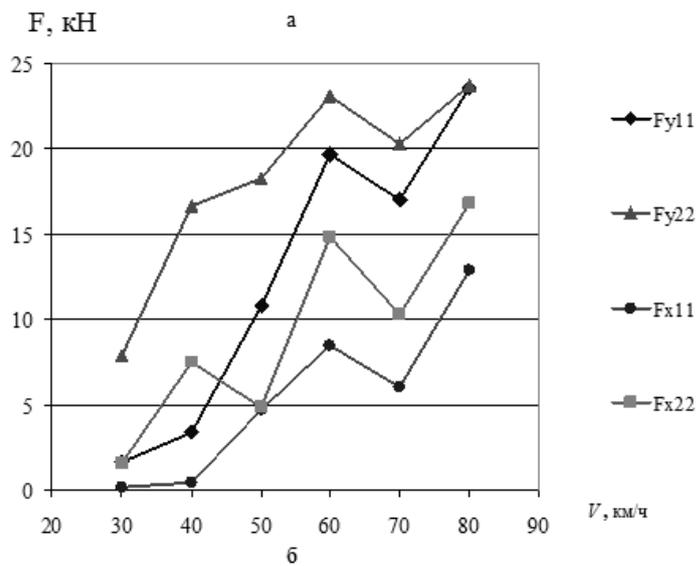
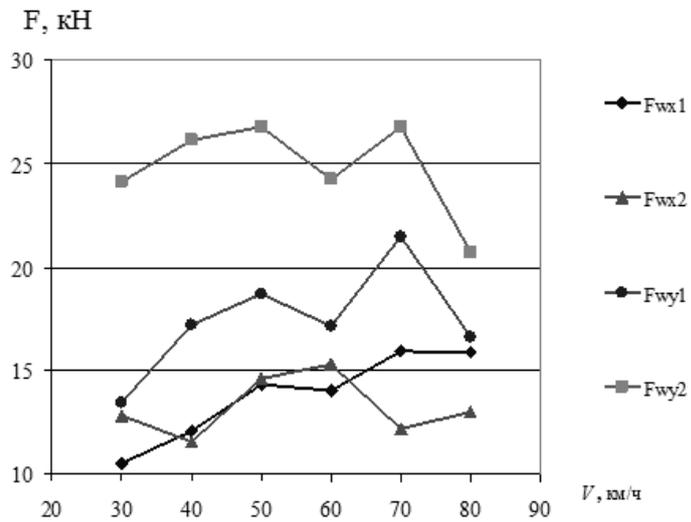


Рис. 5

1. Комиссаров А. Ф. Анализ отказов боковых рам тележек грузовых вагонов / А. Ф. Комиссаров // Вестник института проблем естественных монополий. Техника железных дорог. – 2012. – № 1. – С. 65 – 68.
2. Сергеенко О. Конструктивно. Изломов боковых рам пока не избежать, но возможно свести их к минимуму / О. Сергеенко // Гудок. – 2014. – Вып. №8 (25443).
3. Нормы для расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных). Москва : ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996. – 319 с.
4. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел / Погорелов Д. Ю., Павлюков А. Э., Юдакова Т. А., Котов С. В. // Динамика, прочность и надежность транспортных машин : Сб. тр. / Под ред. Б.Г. Кеглина. — Брянск : Изд. БГТУ, 2002. — С. 11 – 23.

Институт технической механики
 Национальной академии наук Украины и
 Государственного космического агентства Украины,
 Днепропетровск

Получено 23.05.2016,
 в окончательном варианте 07.06.2016