

$$\begin{aligned}
k = & A_1(\dot{\alpha} \sin \beta \cos \beta \cos \alpha - \dot{\beta} \sin \alpha) + B_1 \cos \beta \cos \alpha (\dot{\gamma}_1 - \dot{\alpha} \sin \beta) + \\
& + A_2(\dot{\alpha} \sin \beta \cos \beta \cos \alpha + \dot{\beta} \sin \alpha) + B_2 \cos \beta \cos \alpha (\dot{\gamma}_2 - \dot{\alpha} \sin \beta) + \\
& + m_2 h c_2 (-2 \dot{\alpha} \sin \beta \cos \beta \cos \alpha - \dot{\beta} \cos 2\beta \sin \alpha) + \\
& + m_2 h^2 [\dot{\alpha} \sin \beta \cos \beta \cos \alpha - \dot{\beta} \sin \beta] = \text{const.}
\end{aligned}$$

In this work a system of two Lagrange gyroscopes, connected by elastic universal joint is described; it represents a simple model of spinning tops superimposed one over on the other, we obtain integrals of energy and area. We obtained the integrals of area and energy to further study its stationary motions.

This work was partly supported by CCADET-UNAM and projects: IXTLI 101010 and University Network Space RUE-VEHG16052012-1, RUE-VEHG-16052012-2.

REFERENCES

1 **Velasco Herrera, G.** On the study of systems of rigid bodies / G. Velasco Herrera // Far East Journal of Applied Mathematics. – 2010. – Vol. 45. – Issue 1. – P. 43–52.

2 **Wittenburg, J.** Multibody systems: dynamics of systems of rigid bodies. 2 Ed. / J. Wittenburg. – Berlin: Springer, 2007. – 223 p.

3 **Савченко, А. Я.** Устойчивость движения систем связанных твердых тел / А. Я. Савченко, И. А. Болграбская, Г. А. Кононыхин. – Киев: Наукова думка, 1991. – 166 с.

Г. ВЕЛАСКО-ЭРРЕРА, Ц. А. Г. ПЕРЕЗ-МОРЕНО, О. В. ВАЗКЕЗ-ЭСТРАДА

ИНТЕГРАЛЫ ЭНЕРГИИ И ПЛОЩАДЕЙ ДЛЯ СИСТЕМЫ ВОЛЧКОВ

В работе рассмотрена модель наложенных друг на друга волчков, представленная системой двух гироскопов Лагранжа, которые соединены упругим шарниром и закреплены на других концах. Получены интегралы энергии и площадей для этой системы.

Получено 10.06.2012

**ISSN 2227-1104. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 6. Гомель, 2012**

УДК 629.44

И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ ЯРУСОВ ТРУБ НА ПЛАТФОРМЕ

Рассмотрен способ размещения и крепления труб на железнодорожной платформе. В принятой схеме трубы каждого яруса крепятся в продольном направлении непосредственно к раме платформы. Реквизиты крепления труб содержат натяжные

устройства и упругие элементы с линейными характеристиками. Разработана математическая модель для определения величины динамических сил в упругих элементах крепления труб каждого яруса при разных скоростях соударения платформы с группой неподвижных вагонов.

Многочисленные исследования показывают, что основной причиной, приводящей к разрушению и повреждению как перевозимых грузов, так и самих вагонов, является нарушение режимов эксплуатации железнодорожного подвижного состава при сортировочной работе. Это указывает на необходимость проведения работ по оснащению существующих вагонов оборудованием, позволяющим уменьшить динамические силы, действующие как на вагон, так и на перевозимый груз путём дополнительного подрессоривания груза относительно вагона в продольном направлении.

Размещение и крепление грузов на открытом подвижном составе регламентируется Техническими условиями [1]. Для перевозки груза, способ размещения и крепления которого не предусмотрен техническими условиями, грузоотправитель обязан разработать техническую документацию, а также выполнить расчеты в соответствии с требованиями, изложенными в [1]. В то же время, разработанные варианты размещения и крепления грузов на открытом подвижном составе должны подвергаться экспериментальным испытаниям на соударение вагонов. Причем эти испытания проводятся при скоростях соударения 4–9 км/ч. Однако такие используемые в существующей методике расчета крепления грузов на открытом подвижном составе понятия, как удельные продольные и поперечные горизонтальные инерционные силы, а также удельное значение вертикальной инерционной силы на 1 т веса груза не имеют физического смысла. Приведенные в технических условиях [1] формулы для определения продольной инерционной силы при соударении вагонов и упругом креплении груза не содержат ни скорость соударения, ни характеристики жесткости упругого крепления. В связи с этим, разработка новой методик расчетов упругих крепления грузов на вагоне является важной и актуальной прикладной проблемой.

Исходной предпосылкой для создания новых методик являются выполненные ранее расчеты. Соударения групп вагонов при маневровых работах отражено в работах многих авторов. Впервые систему дифференциальных уравнений для исследования продольных сил в поезде с одинаковыми массами вагонов и линейными упругими междувагонными связями одинаковой жесткости вывел выдающийся русский ученый Н. Е. Жуковский. Для малого числа вагонов А. И. Михалевский установил, что наибольшая сила взаимодействия при соударении групп вагонов с равными массами и жесткостями связей определяется массами соударяющихся вагонов, жесткостью связи между ними, скоростью набегания одной группы вагонов на другую и не зависит от числа вагонов в этих группах. Однако если в соударяющихся группах массы вагонов различны, то результат получается несколько иной.

Авторы работы [2] отмечают также изменение результата и в случае применения между вагонами упруго-фрикционных связей. Такими связями обладают современные вагоны, оборудованные пружинно-фрикционными поглощающими аппаратами.

Особенностями перевозки труб большого диаметра на железнодорожном подвижном составе в соответствии с действующими техническими условиями являются невозможность полного использования грузоподъемности вагонов и применение крепежных реквизитов одноразового пользования. Целый ряд работ посвящен вопросам размещения и крепления труб на подвижном составе железных дорог. Нами ранее [3, 4] разработано устройство для размещения и крепления труб на раме транспортного средства. Методом математического моделирования исследовано влияние предварительного натяжения упругих элементов поперечной обвязки на величину динамических сил в элементах продольного крепления труб к раме платформы при соударении вагонов. Установлено, что снижение динамических сил в продольном креплении труб может быть достигнуто путем создания предварительного натяжения упругих элементов поперечной обвязки. В статье [5] отмечается, что даже незначительное ослабление крепления труб к платформе сопровождается увеличением продольного смещения труб относительно платформы в процессе соударения вагонов.

Целью представленной работы является сравнение двух основных способов крепления труб большого диаметра на железнодорожной платформе: непосредственно к платформе и путем ярусного крепления.

При разработке устройства для размещения и крепления труб на железнодорожной платформе важным этапом является выбор расчетной схемы, позволяющей оценить силы, действующие на трубы, платформу и элементы крепления. Платформа, нагруженная трубами, представляет механическую систему со многими степенями свободы. Для исследований эту сложную систему заменим более простой расчетной схемой с ограниченным числом степеней свободы, но отражающей основные свойства исходной схемы и соответствующей поставленной цели.

В связи с этим при рассмотрении процесса соударения платформы, нагруженной k ярусами труб, с группой из n неподвижных вагонов (далее называемых «стенкой»), целесообразно ввести следующие основные предположения и допущения (рисунки 1):

- вагоны, платформа с тележками и трубы считаются абсолютно твердыми телами;
- движение рассматривается на прямом горизонтальном участке пути;
- трубы размещены на платформе симметрично относительно ее продольной и поперечной плоскостей симметрии;
- упругие элементы устройства крепления труб на платформе имеют линейные характеристики;

- откат платформы после соударения ограничивается автосцепными устройствами;
- зазоры в междувагонных связях отсутствуют;
- массы вагонов, платформы и труб сосредоточены в их центрах масс;
- центры масс всех тел перемещаются по параллельным прямым;
- вертикальными, а также угловыми перемещениями вагонов, платформы и труб пренебрегаем;
- начало отсчёта каждой из координат x_{gi} (x_{vj}), определяющих положение элементов системы, соответствует моменту соприкосновения платформы с вагонами стенки.

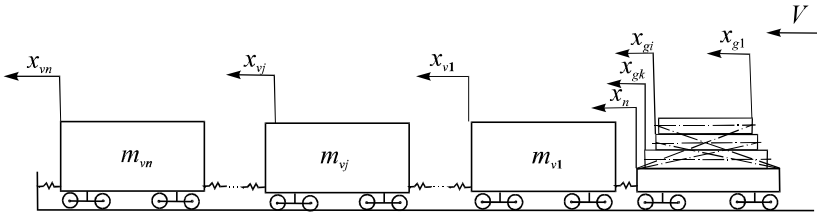


Рисунок 1 – Схема соударения платформы, нагруженной ярусами труб, с группой неподвижных вагонов

Применим способ Даламбера и запишем систему дифференциальных уравнений, отражающих движение k ярусов груза, платформы и n вагонов стенки (см. рисунок 1):

$$\left. \begin{aligned}
 m_{g1} \ddot{x}_{g1} + T_{g1} + F_{g1} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{g1} - \dot{x}_{g2}) &= 0; \\
 \dots \\
 m_{gi} \ddot{x}_{gi} + T_{gi} - F_{gi-1} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gi-1} - \dot{x}_{gi}) + F_{gi} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gi} - \dot{x}_{gi+1}) &= 0; \\
 \dots \\
 m_{gk} \ddot{x}_{gk} + T_{gk} - F_{gk-1} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gk-1} - \dot{x}_{gk}) + F_{gk} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gk} - \dot{x}_p) &= 0; \\
 m_p \ddot{x}_p - T_p - F_{gk} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{gk} - \dot{x}_p) + R_{v1} &= 0; \\
 m_{v1} \ddot{x}_{v1} - R_{v1} + R_{v2} &= 0; \\
 \dots \\
 m_{vj} \ddot{x}_{vj} - R_{vj} + R_{vj+1} &= 0; \\
 \dots \\
 m_{vn} \ddot{x}_{vn} - R_{vn} + R_{vn+1} &= 0,
 \end{aligned} \right\} (1)$$

где m_{g1} , m_{gi} , m_{gk} , m_p – масса соответственно первого, i -го, k -го яруса груза ($i = 2, 3, \dots, k$) и платформы; m_{v1} , m_{vj} , m_n – масса соответственно первого, j -го, n -го вагона «стенки» ($j = 2, 3, \dots, n$); \ddot{x}_{g1} , \ddot{x}_{gi} , \ddot{x}_{gk} , \ddot{x}_p , \ddot{x}_{v1} , \ddot{x}_{vj} , \ddot{x}_{vn} –

продольное ускорение соответственно первого, i -го, k -го яруса груза, платформы, первого, j -го, n -го вагона «стенки»; T_{g1}, T_{gi}, T_{gk} – продольная горизонтальная сила в упругих элементах крепления соответственно первого, i -го, k -го яруса груза; T_p – суммарная продольная горизонтальная сила в упругих элементах крепления ярусов груза к платформе; F_{g1}, F_{gi}, F_{gk} – силы сухого трения между ярусами груза; R_{v1}, R_{vj}, R_{vn} – силы в междувагонных связях.

Система уравнений (1) справедлива при наличии в устройстве поперечной обвязки и промежуточных опор между ярусами груза. В этом случае поперечную обвязку и промежуточные опоры следует рассматривать как соответствующие ярусы груза.

При выполнении расчетов, в качестве начальных условий соударениях, можно принять, что при $t = 0$

$$\begin{aligned}x_{g1}(0) &= \dots x_{gi}(0) = \dots x_{gk}(0) = x_p(0) = x_{v1}(0) = \dots x_{vj}(0) = \dots x_{vn}(0) = 0; \\ \dot{x}_{g1}(0) &= \dots \dot{x}_{gi}(0) = \dots \dot{x}_{gk}(0) = \dot{x}_p(0) = v_0; \\ \dot{x}_{v1}(0) &= \dots \dot{x}_{vj}(0) = \dots \dot{x}_{vn}(0) = 0,\end{aligned}$$

где v_0 – начальная скорость соударения, соответствующая скорости движения платформы с грузом в момент соприкосновения с первым вагоном стенки.

Представленная математическая модель позволяет провести расчеты при различных вариантах продольного крепления ярусов труб на платформе, которое может осуществляться двумя методами:

- креплением труб всех ярусов непосредственно к платформе;
- креплением труб нижнего яруса к платформе, а труб каждого последующего яруса к трубам предыдущего яруса (ярусное крепление).

Возможен также комбинированный способ продольного крепления ярусов труб, совмещающий оба названных метода.

Сравнительный анализ различных способов продольного крепления ярусов труб на платформе выполнен в среде MathCAD. Расчеты проведены для скорости соударения вагонов 5 км/ч и 9 км/ч при массе каждой трубы 6800 кг, массе платформы 21000 кг, массе вагона «стенки» 84000 кг, коэффициенте трения 0,35 и коэффициенте жесткости упругих элементов 2 МН/м. Результаты расчетов при креплении труб всех ярусов непосредственно к платформе (схема 1) и ярусном креплении труб (схема 2) приведены в таблице 1.

Выполненный анализ показывает, что для платформы, загруженной четырьмя трубами в два яруса, наиболее предпочтительным с точки зрения силового воздействия на элементы крепления труб к платформе, является устройство с ярусным продольным креплением труб. Силовое воздействие на платформу посредством элементов продольного крепления труб такого устройства в 1,7 раза меньше чем схемы с продольным креплением всех труб непосредственно к раме платформы.

Таблица 1 – Максимальные значения параметров при соударении вагонов

Наименование показателя	$v_0 = 5$ км/ч		$v_0 = 9$ км/ч	
	Схема 1	Схема 2	Схема 1	Схема 2
Продольное смещение труб верхнего яруса, м	0,059	0,115	0,131	0,268
Продольное смещение труб нижнего яруса, м	0,059	0,070	0,131	0,158
Силы в упругих элементах продольного крепления труб верхнего яруса, МН	0,118	0,089	0,131	0,219
Силы в упругих элементах продольного крепления труб нижнего яруса, МН	0,118	0,140	0,262	0,317
Силы в упругих элементах крепления промежуточных опор, кН	2,570	3,992	12,640	18,810
Силы в упругих элементах крепления поперечной обвязки, кН	1,197	4,466	5,850	24,260
Сжатие поглощающих аппаратов, м	0,048	0,048	0,084	0,083
Силы в автосцепке платформы, МН	0,823	0,819	1,427	1,420

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах. – М.: Юридическая фирма «Юртранс», 2003. – 544 с.

2 Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов; под ред. С. В. Вершинского. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

3 Устройство для крепления труб на раме транспортного средства: пат. 10789 С1 Респ. Беларусь, МПК (2006): В 60Р 7/00 И. А. Ворожун, А. В. Заворотный; заявитель УО «Белорусский государственный университет транспорта» – № а 20051196; заявл. 12.05.05; опубл. 30.06.08 // Афіцыйны бюл. / Вынаходства карысныя мадэлі прамысловыя узоры. – 2008. – № 3. – С. 87.

4 Ворожун, И. А. Оценка динамических сил в элементах креплениях труб на железнодорожной платформе / И. А. Ворожун // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2008. – № 1. – С. 60–64.

5 Заворотный, А. В. Влияние ослабления крепления на величину продольного смещения труб / А. В. Заворотный, И. А. Ворожун // Вестник Белорусского государственного университета транспорта. – 2008. – № 1. – С. 81–84.

I. A. VOROZHUN, A. V. ZAVOROTNY

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE PIPE TIERS TO THE PLATFORM FASTENING METHODS

The way of accommodation and fastening of pipes on a railway platform is considered. In the accepted circuit a pipe of each circle is fastened in a longitudinal direction to a frame of a platform. Essential elements of fastening of pipes contain tension devices and elastic elements with straight-line characteristics. The mathematical model for defining the size of dynamic forces in elastic elements of fastening of pipes of each circle is developed at different speeds of impact of a platform with the group of motionless cars.

Получено 06.06.2012