

УДК 629.44

И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ, А. Ю. САМОДУМ
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ДИНАМИКА СИСТЕМЫ «ПЛАТФОРМА – ЯРУСЫ ТРУБ» ПРИ СОУДАРЕНИИ ВАГОНОВ

Рассмотрено устройство крепления труб в два яруса на железнодорожной платформе. Методом математического моделирования исследовано влияние предварительного натяжения упругих элементов крепления на величину продольного смещения ярусов труб, а также динамических сил в элементах крепления труб к раме платформы при ее соударении с группой неподвижных вагонов. Дан сравнительный анализ динамических показателей.

Размещение и крепление грузов на открытом подвижном составе регламентируется Техническими условиями [1]. Для перевозки груза, способ размещения и крепления которого в них не предусмотрен, грузоотправитель обязан разработать чертежи размещения и крепления груза, а также выполнить расчеты в соответствии с требованиями, приведенными в [1]. Однако существующая методика расчетов, основанная на понятии удельной инерционной силы, не учитывает влияние ряда факторов. Например, в приведенных формулах для определения продольной инерционной силы в случае соударения вагонов и упругом креплении груза не отражены ни жесткость, ни значение предварительного натяжения элементов упругого крепления.

Целью представленной работы является определение динамических сил, действующих на упругие элементы крепления труб и раму платформы при соударении вагонов.

Методика выбора расчетной схемы для рассматриваемой задачи изложена в работах [2, 3]. В принятой модели (рисунок 1) четыре трубы размещены на железнодорожной платформе в два яруса, а реквизиты крепления содержат упругие элементы и оснащены натяжными устройствами. Нижний ярус труб уложен на опоры 6, закрепленные на раме платформы 7. Между нижним и верхним ярусами труб установлены промежуточные опоры 4, которые посредством тяжей 5 прикреплены к раме платформы 7. Весь комплект труб посредством поперечной обвязки 3 прикреплен к раме платформы 7. От продольного смещения (в направлении движения платформы) трубы обоих ярусов удерживаются элементами крепления 2, 1 с натяжными устройствами. В исходном положении оси тяжей поперечной обвязки и крепления промежуточных опор вертикальны, а оси элементов продольного крепления труб верхнего и нижнего ярусов составляют с горизонтом соответственно углы α_2 , α_4 . При соударе-

ниях вагонов трубы обоих ярусов смещаются относительно рамы платформы в направлении удара. Возвращение труб и платформы в исходное положение после соударения осуществляется за счет упругих свойств элементов продольного крепления труб и междувагонных связей.

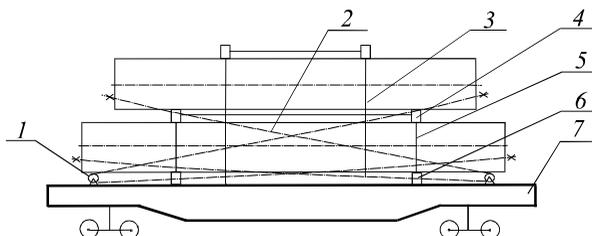


Рисунок 1 – Схема размещения и креплением труб на платформе

В рассматриваемой математической модели процесса соударения загруженной двумя ярусами труб платформы (рисунок 2) с группой из трех неподвижных вагонов все тела считаются абсолютно твердыми, а элементы крепления труб, поперечной обвязки и промежуточных опор обладают упругими свойствами и имеют линейные характеристики. Зазоры в междувагонных связях отсутствуют. Все силы трения приложены в продольной вертикальной плоскости. Элементы поперечной обвязки и промежуточные опоры объединены в отдельные блоки с соответствующими массами. Движение механической системы рассматривается в продольной вертикальной плоскости на прямом горизонтальном участке пути.

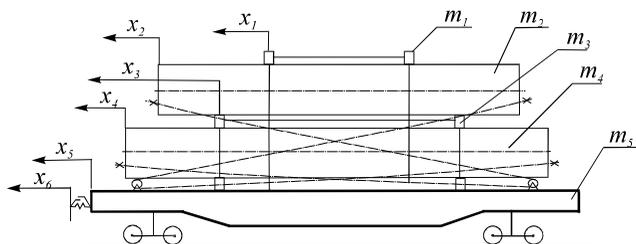


Рисунок 2 – Расчетная схема платформы с трубами

Обозначим массы и продольные линейные перемещения: поперечной обвязки m_1, x_1 ; двух труб верхнего яруса m_2, x_2 ; промежуточных опор m_3, x_3 ; двух труб нижнего яруса m_4, x_4 ; платформы m_5, x_5 ; трех вагонов стенки $m_6 \dots m_8, x_6 \dots x_8$. Начало отсчета каждой из координат x_i , определяющих положение элементов системы, соответствует моменту соприкосновения платформы с вагоном стенки. Таким образом, при принятых допущениях рассматриваемая система будет иметь восемь независимых координат.

Применим способ Германа – Даламбера и запишем систему дифференциальных уравнений, отражающих движение ярусов труб, поперечной обвязки, промежуточных опор, платформы и трех вагонов:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + T_1 \sin \alpha_1 - F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + T_{2л} \cos \alpha_{2л} - T_{2п} \cos \alpha_{2п} + F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) &= 0; \\ m_3 \ddot{x}_3 + T_3 \sin \alpha_3 - F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) - F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) &= 0; \\ m_4 \ddot{x}_4 + T_{4л} \cos \alpha_{4л} - T_{4п} \cos \alpha_{4п} + F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_3) + F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_5) &= 0; \\ m_5 \ddot{x}_5 - T_1 \sin \alpha_1 - T_{2л} \cos \alpha_{2л} + T_{2п} \cos \alpha_{2п} - T_3 \sin \alpha_3 - T_{4л} \cos \alpha_{4л} + & \\ + T_{4п} \cos \alpha_{4п} - F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_5) + R_1 &= 0; \\ m_6 \ddot{x}_6 - R_1 + R_2 &= 0; \\ m_7 \ddot{x}_7 - R_2 + R_3 &= 0; \\ m_8 \ddot{x}_8 - R_3 + R_4 &= 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

где $T_1, T_{2л}, T_{2п}, T_3, T_{4л}, T_{4п}$ – соответственно силы упругости элементов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего яруса, крепления промежуточных опор и продольного крепления труб нижнего яруса; F_1, \dots, F_4 – соответственно силы сухого трения между элементами поперечной обвязки и трубами верхнего яруса, трубами верхнего яруса и промежуточными опорами, трубами нижнего яруса и промежуточными опорами, а также опорами на раме платформы; R_1, \dots, R_4 – силы в междувагонных связях; $\alpha_1, \alpha_{2л}, \alpha_{2п}, \alpha_3, \alpha_{4л}, \alpha_{4п}$ – соответственно углы отклонения от вертикали элементов поперечной обвязки, наклона к горизонту элементов продольного крепления труб верхнего яруса, отклонения от вертикали тяжёлых крепления промежуточных опор и наклона к горизонту элементов продольного крепления труб нижнего яруса.

Входящие в уравнения системы (1) силы упругости элементов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего яруса, крепления промежуточных опор и продольного крепления труб нижнего яруса определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} T_1 &= c_1 (\sqrt{(l_1 + \lambda_1)^2 + (x_1 - x_5)^2} - l_1); \\ T_{2л,2п} &= 0, \text{ если } \sqrt{(\sqrt{(l_2 + \lambda_2)^2 - h_1^2} \pm (x_2 - x_5))^2 + h_1^2} - l_2 \leq 0, \\ \text{иначе } T_{2л,2п} &= c_2 \left(\sqrt{(\sqrt{(l_2 + \lambda_2)^2 - h_1^2} \pm (x_2 - x_5))^2 + h_1^2} - l_2 \right); \\ T_3 &= c_3 (\sqrt{(l_3 + \lambda_3)^2 + (x_3 - x_5)^2} - l_3); \end{aligned}$$

$$T_{4л,4п} = 0, \text{ если } \sqrt{(\sqrt{(l_4 + \lambda_4)^2 - h_2^2} \pm (x_4 - x_5))^2 + h_2^2} - l_4 \leq 0,$$

иначе $T_{4л,4п} = c_4 \left(\sqrt{(\sqrt{(l_4 + \lambda_4)^2 - h_2^2} \pm (x_4 - x_5))^2 + h_2^2} - l_4 \right),$

где c_1, \dots, c_4 – коэффициенты жесткости упругих элементов; l_1, \dots, l_4 – длины элементов в свободном (недеформированном) состоянии; $\lambda_1, \dots, \lambda_4$ – значения деформаций, обусловленных предварительным натяжением (индексы 1 соответствуют поперечной обвязке, 2 – продольному креплению труб верхнего яруса, 3 – креплению промежуточных опор и 4 – продольному креплению труб нижнего яруса); h_1, h_2 – соответственно расстояния по вертикали от пола платформы до крюков на концах элементов продольного крепления труб верхнего и нижнего ярусов.

Символ «л» и знак «+» соответствуют силам, приложенным к левым торцам труб, а символ «п» и знак «-» – силам, приложенным к правым торцам труб на расчетной схеме (см. рисунок 2).

Силы сухого трения между элементами поперечной обвязки и трубами верхнего яруса, трубами верхнего яруса и промежуточными опорами, трубами нижнего яруса и промежуточными опорами, а также опорами на раме платформы определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} F_1 &= f_1(m_1 g + T_1 \cos \alpha_1); \\ F_2 &= f_2((m_1 + m_2)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_{2л} \sin \alpha_{2л} + T_{2п} \sin \alpha_{2п}); \\ F_3 &= f_3((m_1 + m_2 + m_3)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_{2л} \sin \alpha_{2л} + T_{2п} \sin \alpha_{2п} + T_3 \cos \alpha_3); \\ F_4 &= f_4((m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_{2л} \sin \alpha_{2л} + T_{2п} \sin \alpha_{2п} + \\ &+ T_3 \cos \alpha_3 + T_{4л} \sin \alpha_{4л} + T_{4п} \sin \alpha_{4п}), \end{aligned}$$

где f_1, \dots, f_4 – соответственно коэффициенты трения между элементами поперечной обвязки и трубами верхнего яруса, трубами верхнего яруса и промежуточными опорами, трубами нижнего яруса и промежуточными опорами, а также опорами на раме платформы; g – ускорение свободного падения.

Силы в междувагонных связях с пружинно-фрикционными поглощающими аппаратами при перемещениях вагонов, не превышающих ход поглощающих аппаратов, определяются выражениями [4]:

$$\begin{aligned} R_1 &= c(x_5 - x_6)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_5 - x_6) \cdot (\dot{x}_5 - \dot{x}_6))]; \\ R_2 &= c(x_6 - x_7)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_6 - x_7) \cdot (\dot{x}_6 - \dot{x}_7))]; \\ R_3 &= c(x_7 - x_8)[1 + \varphi \operatorname{sgn}((x_7 - x_8) \cdot (\dot{x}_7 - \dot{x}_8))]; \\ R_4 &= cx_8(1 + \varphi \operatorname{sgn}(x_8 \cdot \dot{x}_8)), \end{aligned}$$

где c – коэффициент жесткости упругих элементов междувагонных связей; φ – коэффициент трения в элементах междувагонных связей.

Тригонометрические функции углов отклонения от вертикали элементов поперечной обвязки, наклона к горизонту элементов продольного крепления труб верхнего яруса, отклонения от вертикали тяжей крепления промежуточных опор и наклона к горизонту элементов продольного крепления труб нижнего яруса, определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned} \sin \alpha_1 &= \frac{x_1 - x_5}{\sqrt{(l_1 + \lambda_1)^2 + (x_1 - x_5)^2}}; & \cos \alpha_1 &= \frac{l_1 + \lambda_1}{\sqrt{(l_1 + \lambda_1)^2 + (x_1 - x_5)^2}}; \\ \sin \alpha_{2л,2п} &= \frac{h_1}{\sqrt{\left(\sqrt{(l_2 + \lambda_2)^2 - h_1^2} \pm (x_2 - x_5)\right)^2 + h_1^2}}; \\ \cos \alpha_{2л,2п} &= \frac{\sqrt{(l_2 + \lambda_2)^2 - h_1^2} \pm (x_2 - x_5)}{\sqrt{\left(\sqrt{(l_2 + \lambda_2)^2 - h_1^2} \pm (x_2 - x_5)\right)^2 + h_1^2}}; \\ \sin \alpha_3 &= \frac{x_3 - x_5}{\sqrt{(l_3 + \lambda_3)^2 + (x_3 - x_5)^2}}; & \cos \alpha_3 &= \frac{l_3 + \lambda_3}{\sqrt{(l_3 + \lambda_3)^2 + (x_3 - x_5)^2}}; \\ \sin \alpha_{4л,4п} &= \frac{h_2}{\sqrt{\left(\sqrt{(l_4 + \lambda_4)^2 - h_2^2} \pm (x_4 - x_5)\right)^2 + h_2^2}}; \\ \cos \alpha_{4л,4п} &= \frac{\sqrt{(l_4 + \lambda_4)^2 - h_2^2} \pm (x_4 - x_5)}{\sqrt{\left(\sqrt{(l_4 + \lambda_4)^2 - h_2^2} \pm (x_4 - x_5)\right)^2 + h_2^2}}. \end{aligned}$$

Численное интегрирование уравнений системы (1) проводилось для диапазона скоростей соударения вагонов 5–9 км/ч. Исследовалось влияние предварительного натяжения упругих элементов поперечной обвязки и крепления промежуточных опор на величину динамических сил при соударении вагонов. Расчеты проводились в среде MathCAD 2001 Professional.

Результаты расчетов для скорости соударения вагонов 5 км/ч представлены в таблице 1 при следующих исходных данных: $g = 9,81 \text{ м/с}^2$; $m_1 = 10 \text{ кг}$; $m_2 = m_4 = 13600 \text{ кг}$; $m_3 = 100 \text{ кг}$; $m_5 = 21000 \text{ кг}$; $m_6 = m_7 = m_8 = 84000 \text{ кг}$; $l_1 = 3 \text{ м}$; $l_2 = 12,7 \text{ м}$; $l_3 = 1,4 \text{ м}$; $l_4 = 12,6 \text{ м}$; $h_1 = 1,6 \text{ м}$; $h_2 = 0$; $c = 11 \text{ МН/м}$; $f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f_5 = 0,35$; $\varphi = 0,55$; $\lambda_2 = \lambda_4 = 0$; $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = 2 \text{ МН/м}$.

Значения λ_1 и λ_3 предварительного натяжения упругих элементов принимались одинаковыми и варьировались в пределах 0–0,04 м.

Верхние значения величин, приведенные в таблице, соответствуют $\lambda_1 = \lambda_3 = 0$, нижние значения – $\lambda_1 = \lambda_3 = 0,04$ м. Расчеты показывают, что увеличение предварительного натяжения упругих элементов сопровождается уменьшением смещения ярусов труб и динамических сил в элементах продольного крепления на 30–40 %.

Таблица 1 – Расчетные динамические показатели

Наименование показателей	Значение
Наибольшее продольное смещение труб верхнего яруса относительно рамы платформы, м	0,059
	0,043
Наибольшее продольное смещение труб нижнего яруса относительно рамы платформы, м	0,059
	0,042
Наибольшее значение сил в упругих элементах продольного крепления труб верхнего яруса, кН	118
	85,3
Наибольшее значение сил в упругих элементах продольного крепления труб нижнего яруса, кН	117,9
	83,2
Наибольшее значение сил в упругих элементах крепления промежуточных опор, кН	2,6
	81,3
Наибольшее значение сил в упругих элементах крепления поперечной обвязки, кН	1,2
	80,6
Наибольшее сжатие упругих элементов поглощающих аппаратов, м	0,048
	0,05
Наибольшее значение силы в автосцепке платформы, кН	822

Полученные результаты свидетельствуют о том, что применение метода математического моделирования для определения динамических сил, действующие на элементы крепления труб к раме платформы, позволяет уточнить параметры креплений с учетом влияния жесткости и предварительного натяжения упругих элементов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Приложение 14 к СМГС «Правила размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах». – Москва: Планета, 2005. – 191 с.
- 2 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.
- 3 Ворожун, И. А. Оценка динамических сил в элементах креплениях труб на железнодорожной платформе / И. А. Ворожун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 1. – С. 60–64.
- 4 Вершинский, С. В. Динамика вагонов / С. В. Вершинский, В. Н. Данилов, В. Д. Хусидов; под ред. С. В. Вершинского. – М.: Транспорт, 1991. – 360 с.

I. A. VOROZHUN, A. V. ZAVOROTNY, A. Y. SAMODUM

**DYNAMICS OF «PLATFORM – CIRCLES OF PIPES» SYSTEM
AT IMPACT OF CARS**

The device of pipe fastening in two circles on a railway platform is considered. By the method of mathematical modelling the influence of a preliminary tension of elastic elements of fastening on the value of longitudinal displacement of pipe circles and dynamic forces in the elements of fastening of pipes to the platform frame at its impact with a group of motionless cars is investigated. The comparative analysis of dynamic indicators is given.

Получено 21.02.2011

**ISBN 978-985-468-924-1. Mechanics. Scientific researches
and methodical development. Vol. 5. Gomel, 2011**

UDC 621.27

M. A. GEBRIL

Garyounis University, Benghazi, Libya

**THE INFLUENCE OF COLD AND HOT ROLL DRAWING ON THE
CHANGES IN THE MAIN MECHANICAL PROPERTIES,
MICROSTRUCTURE AND CORROSION RATE OF LOW CARBON
STEEL SHEETS**

The steel is the most widely used material for building structures and machines because it is cheap and extensive. The influences of cold and hot roll drawing processes on the main mechanical properties, microstructure and corrosion rate are different. During both types of drawing the material is subjected to very high pressing under both low and high recrystallization temperature. In the present work the effects of cold and hot roll drawing on the tensile strength, hardness, microstructure and corrosion rate for steel sheets are discussed. In the experimental work we used specimen of different thickness taken from low carbon steel sheets formed by cold and hot roll drawing in Libyan Iron and steel Company – Musrata City. The experimental results indicate the specimen under testing subjected to change in main mechanical properties during thickness reduction in rolling operation. The cold and hot roll drawing causes changes in microstructure due to plastic deformation and temperature effects. Also the influence of cold roll drawing on tensile strength, hardness and corrosion rate were found to be increased while the ductility will be decreased. In hot roll drawing the tensile strength and hardness will be decreased due to high temperature while the ductility and corrosion rate will be increased.

Introduction. Steel is the world's most important, multi-functional and most adaptable material. About 5 % of iron element is present in the earth's crust [1]. As we know without steel the world would not exist: from oil tankers to thumb tacks,