

рованной стали (например 45), что объясняется наличием определенного количества углерода в карбидообразующих элементах;

– вид защитного газа оказывает значительное влияние на глубину закаливаемого слоя и его микротвердость;

– значительное влияние на величину микротвердости и глубину поверхностного слоя для стали 14X17H2 оказывает защитный газ азот. Плазменная обработка изделий в защитной среде азота приводит к образованию трех характерных слоев. Значительное увеличение микротвердости поверхностного слоя обусловлено структурными и фазовыми превращениями. За счет диффузирования азота в исходный материал в поверхностном слое образовались нитриды железа, а также произошли мартенситные превращения с образованием азотистого мартенсита;

– относительно высокая микротвердость поверхностного слоя обусловлена структурными и фазовыми превращениями и в частности наличием в фазовом составе нитрида железа Fe_3N ;

– микротвердость поверхностного слоя достигает величины порядка 600HV0.1 при его глубине до 0,6 мм;

– испытания образцов, упрочненных путем ППЗ и обычной закалкой, на износостойкость показали, что износостойкость образцов, упрочненных ППЗ почти в 2,2 раза выше, чем износостойкость образцов, подверженных обычной закалке.

Получено 21.06.2007

**ISBN 978-985-468-405-5. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 2. Гомель, 2008**

УДК 629.46.001.8

И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ МАТЕМАТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ СОУДАРЕНИЯ ЗАГРУЖЕННОЙ ТРУБАМИ ПЛАТФОРМЫ С ВАГОНАМИ СТЕНКИ

Методом математического моделирования исследовано влияние предварительного натяжения канатов крепления на значение продольного смещения труб, а также динамических сил в элементах крепления труб и автосцепке платформы при разных скоростях соударения вагонов. Выполнено сравнение полученных результатов и результатов натурных испытаний на соударение с вагонами стенки платформы, загруженной четырьмя трубами в два яруса.

Наиболее полное использование грузоподъемности железнодорожных платформ неразрывно связано с совершенствованием способов размещения и крепления перевозимых грузов. Проведенные исследования показали, что улучшение использования грузоподъемности железнодорожных платформ при перевозке труб диаметром 1420 мм достигается путем размещения этих труб не менее чем в два яруса. Разработка новых схем размещения и крепления указанных труб на железнодорожных платформах неразрывно связана с проведением теоретических и экспериментальных исследований. Так в предложенном устройстве [1] предварительное натяжение канатов крепления труб может осуществляться посредством натяжных барабанов и талрепов при выполнении погрузочных работ. В работе [2] исследовалось влияние предварительного натяжения упругих элементов поперечной обвязки на продольное перемещение труб. Кроме того, как показали проведенные исследования, при переходных режимах движения весь штабель труб может сместиться вдоль платформы и создать одностороннее натяжение канатов продольного крепления труб, как в направлении последующего соударения, так и в противоположном направлении.

Целью исследований является установление влияния предварительного продольного смещения труб относительно платформы на значение динамических сил в процессе соударения вагонов.

Для проведения исследований платформу с закрепленными на ней трубами представим в виде системы, показанной на рисунке 1. В принятой схеме четыре трубы диаметром 1420 мм размещены на железнодорожной платформе в два яруса, а реквизиты крепления содержат стальные канаты с натяжными устройствами. Нижний ярус труб уложен на опоры 2, закрепленные на раме платформы 1. Между нижним и верхним ярусами труб установлены промежуточные опоры 3. Весь комплект труб посредством канатов 4 поперечной обвязки прикреплен к раме платформы 1.

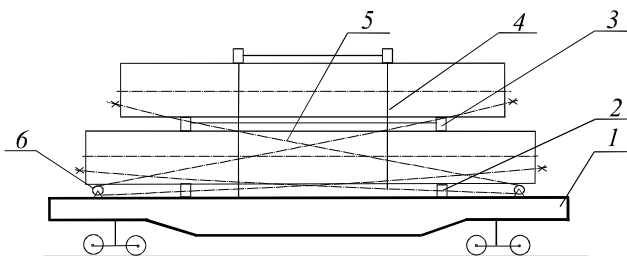


Рисунок 1 – Схема крепления труб на платформе:

- 1 – платформа; 2 – опоры для труб; 3 – промежуточные опоры для труб; 4 – канаты поперечной обвязки; 5 – канаты продольного крепления труб; 6 – блоки натяжных устройств

От продольного смещения (в направлении движения платформы) трубы обоих ярусов удерживаются канатами 5, охватывающими блоки 6 натяжных устройств, закрепленных на торцах рамы платформы 1. Оси канатов 5 продольного крепления труб верхнего яруса составляют с полом платформы в исходном положении углы α_2 . Углами наклона канатов продольного крепления труб нижнего яруса можно пренебречь ввиду их малости. Возвращение платформы и труб в исходное положение осуществляется за счет упругих свойств элементов междувагонных связей и канатов продольного крепления труб. Опоры 2 и 3 снабжены обрешинными ложементами для предохранения от повреждений полиэтиленового покрытия труб и повышения коэффициента сухого трения.

Оценку динамических качеств такого устройства выполним, используя схему, представленную на рисунке 2.

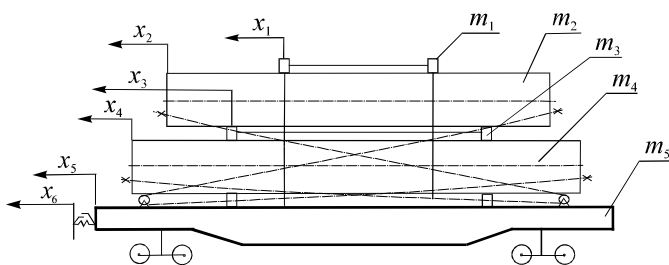


Рисунок 2 – Расчетная схема

В рассматриваемой математической модели процесса соударения платформы, загруженной двумя ярусами труб, с группой из трех неподвижных вагонов все тела считаются абсолютно твердыми, а элементы продольного крепления труб и поперечной обвязки обладают упругими свойствами и имеют линейные характеристики. 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. 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:

$$\left. \begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + T_1 \sin \alpha_1 - F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0; \\
 m_2 \ddot{x}_2 + T_2 \cos \alpha_2 + F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) &= 0; \\
 m_3 \ddot{x}_3 - F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) &= 0; \\
 m_4 \ddot{x}_4 + T_3 - F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) + F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_5) &= 0; \\
 m_5 \ddot{x}_5 - T_1 \sin \alpha_1 - T_2 \cos \alpha_2 - T_3 - F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_5) + R_1 &= 0; \\
 m_6 \ddot{x}_6 - R_1 + R_2 &= 0; \\
 m_7 \ddot{x}_7 - R_2 + R_3 &= 0; \\
 m_8 \ddot{x}_8 - R_3 + R_4 &= 0,
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где T_1, \dots, T_3 – соответственно силы упругости канатов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего и нижнего ярусов; F_1, \dots, F_4 – 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; α_1, α_2 – соответственно углы отклонения элементов поперечной обвязки от вертикали, наклона канатов продольного крепления труб верхнего яруса к горизонту; R_1, \dots, R_4 – силы в междувагонных связях.

Входящие в уравнения системы (1) силы упругости канатов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего и нижнего ярусов определяются следующими выражениями:

$$\begin{aligned}
 T_1 &= c_1(\sqrt{h_0^2 + (x_1 - x_5)^2} - h_0); \\
 T_2 &= c_2(\sqrt{h_1^2 + (\sqrt{l_0^2 - h_1^2} + x_2 - x_5 - l_1)^2} - l_0), \text{ если } (x_2 - x_5 - l_1) > 0; \\
 T_2 &= 0, \text{ если } (x_2 - x_5 - l_1) \leq 0; \\
 T_3 &= c_3(x_4 - x_5 - l_2), \text{ если } (x_4 - x_5 - l_2) > 0; \\
 T_3 &= 0, \text{ если } (x_4 - x_5 - l_2) \leq 0,
 \end{aligned}$$

где c_1, \dots, c_3 – коэффициенты жесткости канатов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего и нижнего ярусов; h_0, l_0 – длины канатов поперечной обвязки и продольного крепления труб верхнего яруса в свободном (недеформированном) состоянии; h_1 – расстояние от пола платформы до крюков на концах канатов продольного крепления труб верхнего яруса по вертикали; l_1, l_2 – значения предварительного продольного смещения труб верхнего и нижнего ярусов соответственно.

Силы сухого трения между элементами системы определяются выражениями:

$$\begin{aligned}
 F_1 &= f_1(m_1 g + T_1 \cos \alpha_1); \\
 F_2 &= f_2((m_1 + m_2)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2);
 \end{aligned}$$

$$F_3 = f_3((m_1 + m_2 + m_3)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2);$$

$$F_4 = f_4((m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2),$$

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 платформы; g – ускорение свободного падения.

Тригонометрические функции углов отклонения элементов поперечной обвязки от вертикали и наклона канатов продольного крепления труб верхнего яруса к горизонту определяются выражениями:

$$\sin \alpha_1 = \frac{x_1 - x_5}{\sqrt{h_0^2 + (x_1 - x_5)^2}}; \quad \cos \alpha_1 = \frac{h_0}{\sqrt{h_0^2 + (x_1 - x_5)^2}};$$

$$\sin \alpha_2 = \frac{h_1}{\sqrt{h_1^2 + (\sqrt{l_0^2 - h_1^2} + x_2 - x_5 - l_1)^2}};$$

$$\cos \alpha_2 = \frac{(\sqrt{l_0^2 - h_1^2} + x_2 - x_5 - l_1)}{\sqrt{h_1^2 + (\sqrt{l_0^2 - h_1^2} + x_2 - x_5 - l_1)^2}}.$$

Силы в междувагонных связях с пружинно-фрикционными поглощающими аппаратами при перемещениях вагонов, не превышающих ход поглощающих аппаратов, представлены в виде:

$$R_1 = c(x_5 - x_6)[1 + \mu \operatorname{sgn}((x_5 - x_6)(\dot{x}_5 - \dot{x}_6))];$$

$$R_2 = c(x_6 - x_7)[1 + \mu \operatorname{sgn}((x_6 - x_7)(\dot{x}_6 - \dot{x}_7))];$$

$$R_3 = c(x_7 - x_8)[1 + \mu \operatorname{sgn}((x_7 - x_8)(\dot{x}_7 - \dot{x}_8))];$$

$$R_4 = cx_8(1 + \mu \operatorname{sgn}(x_8 \dot{x}_8)),$$

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

Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений (1) проводилось для диапазона скоростей соударения вагонов 1,5 – 3 м/с при следующих исходных данных: $m_1 = 10$ кг; $m_2 = m_4 = 13600$ кг; $m_3 = 100$ кг; $m_5 = 21000$ кг; $m_6 = m_7 = m_8 = 84000$ кг; $g = 9,8$ м/с²; $h_0 = 3$ м; $h_1 = 1,4$ м; $l_0 = 13$ м; $c = 11$ МН/м; $c_1 = c_2 = c_3 = 1$ МН/м; $f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = 0,35$; $\mu = 0,55$.

На данном этапе проводилось исследование влияния предварительного натяжения канатов крепления на значение продольного смещения труб, а также наибольших сил в канатах и автосцепке платформы при разных скоростях

соударения вагонов. Натяжение канатов крепления осуществлялось путем предварительного продольного смещения пакета труб относительно платформы как в направлении удара, так и в противоположном направлении. Значения l_1 , l_2 предварительного продольного смещения труб верхнего и нижнего ярусов относительно платформы принимались одинаковыми и варьировались в таких пределах, чтобы силы в канатах продольного крепления, обусловленные предварительным смещением труб, не превышали наибольшего значения сил трения между пакетом труб и опорами на раме платформы. Расчеты проводились в среде Mathcad 2001 Professional. Результаты проведенных в соответствии с требованиями [3, глава 1] натуральных испытаний на соударение платформы, загруженной четырьмя трубами диаметром 1420 мм по схеме [1] (см. рисунок 1), приведены в таблице 1.

Таблица 1 – Остаточное смещение труб после соударения (экспериментальное)

Номер соударения	Скорость набегающего вагона, км/ч	Продольное перемещение труб от первоначального положения, мм			
		Верхнего яруса		Нижнего яруса	
		1	2	3	4
1	4,0	10	70	60	10
2	4,5	10	70	60	10
3	4,5	10	70	80	60
4	5,8	0	0	40	30
5	6,2	0	0	30	40
6	6,5	0	0	35	30
7	6,6	0	0	35	35
8	7,0	0	0	35	35
9	7,2	0	0	35	30
10	8,0	0	10	70	60
11	9,0	10	70	80	60

Определение скорости соударения проводилось посредством ручного хронометра и переводной таблицы. Наличие ослабления или предварительного натяжения канатов продольного крепления труб к платформе на момент первого соударения не устанавливалось. Значения продольных перемещений труб после каждого соударения замерялись рулеткой от меловых рисок на трубах нижнего яруса до опоры, установленной на раме платформы, а верхнего яруса – до незакрепленной промежуточной опоры.

В таблице 2 представлены результаты расчетов по принятой математической модели. Исследования выполнены как для случая отсутствия ослабления канатов продольного крепления труб (свободный ход равен нулю), так и для случаев ослабления канатов продольного крепления труб (свободный ход пакета труб принят равным 30 и 40 мм) на момент первого соударения платформы с вагоном стенки.

Таблица 2 – Остаточное смещение пакета труб после соударения (расчетное)

Номер соударения	Скорость набегавшего вагона, км/ч	Продольное перемещение пакета труб от первоначального положения, мм		
		Свободный ход, мм		
		0	30	40
1	4,0	25	54	63
2	4,5	30	71	84
3	4,5	24	54	65
4	5,8	17	47	57
5	6,2	11	42	52
6	6,5	5	36	47
7	6,6	5	35	46
8	7,0	-1	28	39
9	7,2	-5	25	36
10	8,0	-15	15	24
11	9,0	-28	5	27

Сопоставимость результатов, представленных в таблицах 1 и 2, позволяет сделать вывод о достоверности принятой математической модели. В ходе исследований по принятой математической модели установлено, что предварительное смещение пакета труб вдоль платформы на величину l в направлении удара сопровождается уменьшением как величины наибольшего перемещения труб, так и сил в канатах продольного и поперечного крепления труб в процессе соударения вагонов. В случае предварительного смещения пакета труб вдоль платформы в направлении, противоположном направлению удара, наблюдается противоположный эффект, то есть возрастание как величины наибольшего перемещения труб, так и сил в канатах продольного и поперечного крепления труб в процессе соударения вагонов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Устройство для крепления труб на транспортном средстве: а. с. 1296454 СССР, МКИ В 60 Р 7/12 / В.М. Горский, А.В. Заворотный, В.А. Иванов, В.А. Трусов, Ю.Д. Хорош, В.Ф. Антонов; Белорус. ин-т инженеров ж.-д. трансп. – № 3959723; заявл. 17.09.85; опубл. 15.03.87 // Бюл. № 10. – 3 с.: ил.

2 Шилович, А. В. Динамические воздействия на крепления труб к железнодорожной платформе / А. В. Шилович, А. В. Сементовский, И. А. Ворожун // Материалы, технологии, инструменты. – 2002. – Т. 7, № 1. – С. 25–28.

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

Получено 15.12.2007