

$$\tau_{xz1} + \tau_{xz2} = 0, \tau_{yz1} + \tau_{yz2} = 0 \text{ в } S, \sigma_{x1} + \sigma_{x2} = 0 \text{ в } S_2, w_1 + w_2 = w_0(x, y) \text{ в } S_1$$

Здесь индекс 2 относится к компонентам напряжения и осадке, вызванным температурным полем, а 1 – к компонентам упругого состояния.

Решение задачи (6) методом потенциала дано в работе [1]. В упомянутой работе определены функции Φ_k , через которые выражаются компоненты напряжений и перемещений в анизотропном полупространстве.

Таким образом, напряженно-деформированное состояние в анизотропном полупространстве находится из решения задачи термоупругости, а затем методом потенциала из решения задачи теории упругости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Прусов И.А., Василевич Ю.В. Новое представление общих формул теории упругости ортотропного тела, подверженного действию нормальной нагрузки // Вестник Белгосуниверситета. – Сер.1 – 1991. – № 2. – С.42–46. 2. Василевич Ю.В. Об одном методе решения задач термоупругости для трехмерных ортотропных тел // Изв. АН БССР. – Сер. Физ.-тех.н. – 1990.– № 1. – С. 114. 3. Василевич Ю.В., Беляева Г.И. Влияние анизотропии материала на деформацию упругих тел. // Материалы международной 53 научн.-тех. конф. БГПА. – Ч.1 – 1999. – С. 126.

УДК 629.11.011.38

И. А. Ворожун

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРУГИХ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОЙ ПЛАТФОРМЕ ПРИ СОУДАРЕНИЯХ ВАГОНОВ

*Белорусский государственный университет транспорта
Гомель, Беларусь*

Для перевозки стальных труб диаметром 1420 мм длиной до 11,8 м используются как полувагоны так платформы. Существующие технические условия погрузки и крепления грузов предусматривают размещение и крепление четырех стальных труб диаметром 1420 мм в четырехосном полувагоне и трех таких труб на четырехосной платформе [1]. Однако габарит погрузки позволяет разместить на платформе пять труб диаметром 1420 мм. Поэтому вполне актуальны вопросы создания устройств для размещения и крепления пяти труб диаметром 1420 мм на железнодорожной платформе. Решение этих вопросов позволит увеличить коэффициент использования грузоподъемности платформы и снизить затраты на транспортировку труб. Целью

настоящей работы является исследование влияния предварительного натяжения упругих элементов крепления труб на железнодорожной платформе на величину продольных перемещений труб в процессе соударения вагонов.

В рассматриваемой математической модели процесса соударения платформы, нагруженной тремя ярусами труб, с группой из трех неподвижных полногрузных вагонов все тела считаются абсолютно твердыми, а элементы продольных и поперечных обвязок, а также междувагонных связей обладают упругими свойствами и имеют линейные характеристики (рис. 1). Изменением углов наклона элементов продольного крепления труб в процессе соударения вагонов пренебрегаем. Движение механической системы рассматривается в продольной вертикальной плоскости на прямом горизонтальном участке пути.

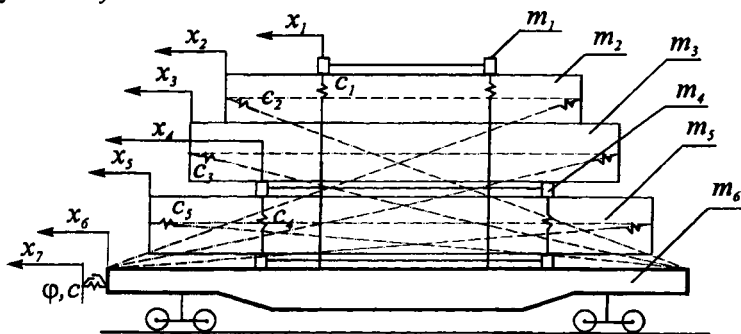


Рис. 1. Расчетная схема платформы с трубами

Расчетная схема имеет девять независимых координат x_1, \dots, x_9 . С учетом принятых допущений и использованием принципа Даламбера [2] составлены дифференциальные уравнения движения масс механической системы:

$$\left. \begin{aligned}
 m_1 \ddot{x}_1 + T_1 \sin \alpha_1 - F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0; \\
 m_2 \ddot{x}_2 + T_2 \cos \alpha_2 + F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) + F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) &= 0; \\
 m_3 \ddot{x}_3 + T_3 \cos \alpha_3 - F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) &= 0; \\
 m_4 \ddot{x}_4 + T_4 \sin \alpha_4 - F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) - F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) &= 0; \\
 m_5 \ddot{x}_5 + T_5 \cos \alpha_5 + F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_5 - \dot{x}_4) + F_5 \operatorname{sgn}(\dot{x}_5 - \dot{x}_6) &= 0; \\
 m_6 \ddot{x}_6 - T_1 \sin \alpha_1 - T_2 \cos \alpha_2 - T_3 \cos \alpha_3 - T_4 \sin \alpha_4 - T_5 \cos \alpha_5 - \\
 - F_5 \operatorname{sgn}(\dot{x}_5 - \dot{x}_6) + R_1 &= 0; \\
 m_7 \ddot{x}_7 - R_1 + R_2 &= 0; \\
 m_8 \ddot{x}_8 - R_2 + R_3 &= 0; \\
 m_9 \ddot{x}_9 - R_3 + R_4 &= 0.
 \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Входящие в уравнения системы (1) силы упругости элементов крепления труб, значения функций углов и силы сухого трения определяются следующими выражениями:

$$T_1 = c_1(\sqrt{(l_{01} + \lambda_1)^2 + (x_1 - x_6)^2} - l_{01});$$

$$T_2 = c_2(\sqrt{(l_{02} + \lambda_2)^2 - l_1^2 + (l_1(x_2 - x_6))^2} - l_{02});$$

$$T_3 = c_3(\sqrt{(l_{03} + \lambda_3)^2 - l_2^2 + (l_2 + (x_3 - x_6))^2} - l_{03});$$

$$T_4 = c_4(\sqrt{(l_{04} + \lambda_4)^2 + (x_4 - x_6)^2} - l_{04});$$

$$T_5 = c_5(\sqrt{(l_{05} + \lambda_5)^2 - l_3^2 + (l_3 + (x_5 - x_6))^2} - l_{05});$$

$$\sin \alpha_1 = \frac{x_1 - x_6}{\sqrt{(l_{01} + \lambda_1)^2 + (x_1 - x_6)^2}}; \quad \cos \alpha_1 = \frac{l_{01} + \lambda_1}{\sqrt{(l_{01} + \lambda_1)^2 + (x_1 - x_6)^2}};$$

$$\sin \alpha_4 = \frac{x_4 - x_6}{\sqrt{(l_{04} + \lambda_4)^2 + (x_4 - x_6)^2}}; \quad \cos \alpha_4 = \frac{l_{04} + \lambda_4}{\sqrt{(l_{04} + \lambda_4)^2 + (x_4 - x_6)^2}}$$

$$F_1 = f_1(m_1 g + T_1 \cos \alpha_1);$$

$$F_2 = f_2((m_1 + m_2)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2);$$

$$F_3 = f_3((m_1 + m_2 + m_3)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2 + T_3 \sin \alpha_3);$$

$$F_4 = f_4((m_1 + m_2 + m_3 + m_4)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2 + T_3 \sin \alpha_3 + T_4 \cos \alpha_4);$$

$$F_5 = f_5((m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5)g + T_1 \cos \alpha_1 + T_2 \sin \alpha_2 + T_3 \sin \alpha_3 + T_4 \cos \alpha_4 + T_5 \sin \alpha_5).$$

Силы в междувагонных связях с пружинно-фрикционными поглощающими аппаратами при перемещениях вагонов не превышающих ход поглощающих аппаратов представлены в виде [3]:

$$R_1 = c(x_6 - x_7)[1 + \varphi \operatorname{sgn}(\dot{x}_6 - \dot{x}_7)];$$

$$R_2 = c(x_7 - x_8)[1 + \varphi \operatorname{sgn}(\dot{x}_7 - \dot{x}_8)];$$

$$R_3 = c(x_8 - x_9)[1 + \varphi \operatorname{sgn}(\dot{x}_8 - \dot{x}_9)];$$

$$R_4 = cx_9(1 + \varphi \operatorname{sgn} \dot{x}_9).$$

В представленных выражениях приняты следующие обозначения:

m_1, \dots, m_9 – соответственно массы поперечной обвязки, верхней трубы, двух труб среднего яруса, промежуточных опор, двух труб нижнего яруса, платформы и трех вагонов;

T_1, T_2, T_3, T_4, T_5 – соответственно силы упругости элементов поперечной обвязки, продольного крепления верхней трубы, продольного крепления труб среднего яруса, крепления промежуточных опор и продольного крепления труб нижнего яруса;

$\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3, \alpha_4, \alpha_5$ – соответственно углы отклонения элементов поперечной обвязки от вертикали, наклона элементов продольного крепления верхней трубы и труб среднего яруса к горизонту, отклонения элементов крепления промежуточных опор от вертикали и наклона элементов продольного крепления труб нижнего яруса к горизонту;

F_1, \dots, F_5 – соответственно силы сухого трения между элементами поперечной обвязки и верхней трубой, верхней трубой и трубами среднего яруса, трубами среднего яруса и промежуточными опорами, трубами нижнего яруса и промежуточными опорами, а также опорами платформы;

R_1, \dots, R_4 – силы в междувагонных связях;

c, c_1, \dots, c_5 – жесткости упругих элементов междувагонных связей и крепления труб;

l_{01}, \dots, l_{05} – длины элементов крепления в свободном (недеформированном) состоянии;

φ, f_1, \dots, f_5 – коэффициенты трения в элементах междувагонных связей и крепления труб;

g – ускорение свободного падения;

$\text{sgn}(\dot{x}_i - \dot{x}_{i+1})$ – знак “+” или “-” ($i=1, \dots, 8$).

Численное интегрирование уравнений системы (1) проводилось для диапазона скоростей соударения вагонов 0,5...3 м/с при следующих исходных данных: $m_1 = 10$ кг; $m_2 = 6800$ кг; $m_3 = m_5 = 13600$ кг; $m_4 = 100$ кг; $m_6 = 21000$ кг; $m_7 = m_8 = m_9 = 84000$ кг; $l_{01} = 4,2$ м; $l_{02} = 12,9$ м; $l_{03} = 12,7$ м; $l_{04} = 1,4$ м; $l_{05} = 12,6$ м; $l_1 = l_2 = l_3 = 12,6$ м $c = 9 \cdot 10^6$ Н/м; $c_2 = c_3 = c_5 = 0,5 \cdot 10^6$ Н/м; $c_1 = c_4 = 1 \cdot 10^6$ Н/м; $f_1 = f_2 = f_3 = f_4 = f_5 = 0,4$; $\varphi = 0,25$ $\lambda_2 = \lambda_3 = \lambda_5 = 0$; $\alpha_2 = 12,4^\circ$; $\alpha_3 = 7,2^\circ$; $\alpha_5 = 0$.

Значения λ_1 и λ_4 варьировались в пределах от 0 до 0,2 м.

Результаты расчетов для скорости соударения вагонов 2 м/с представлены в виде графиков перемещений труб и платформы.

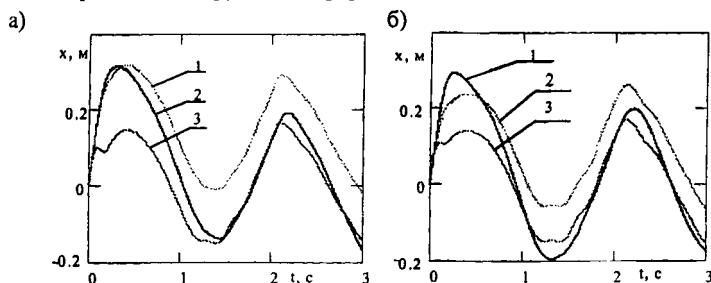


Рис. 2. Продольные перемещения нижнего (1), среднего (2) ярусов труб и платформы (3): а) при $\lambda_1 = \lambda_4 = 0$; б) при $\lambda_1 = \lambda_4 = 0,1$ м

На представленных графиках (рис. 2) продольные перемещения труб относительно платформы не превышают 0,2 м, что вполне согласуется с результатами натурных испытаний на соударение платформы, загруженной четырьмя трубами диаметром 1420 мм, с группой из трех вагонов.

Сравнительный анализ полученных результатов позволяет сделать заключение, что предварительное натяжение упругих элементов поперечной обвязки труб, созданное в процессе выполнения погрузочных работ, уменьшает продольное перемещение труб относительно платформы при соударениях вагонов.

Таким образом, разработанная математическая модель позволяет учитывать предварительное натяжение упругих элементов крепления труб на железнодорожной платформе при выборе рациональных параметров элементов крепления как продольной, так и поперечной обвязок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Технические условия погрузки и крепления грузов. – М.: Транспорт 1990. – 408 с.
2. Соколов М.М., Хусидов В.Д., Минкин Ю.Г. Динамическая нагруженность вагона. – М.: Транспорт 1981. – 207 с.
3. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Челноков И.И. Динамика вагонов. – М.: Транспорт 1978. – 352 с.

УДК 621.831

П.Н. Громыко, Д.М. Макаревич, А. И. Титенков

АНАЛИЗ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ СКОРОСТЕЙ СКОЛЬЖЕНИЯ В КОНТАКТИРУЮЩИХ ЗВЕНЬЯХ КОНИЧЕСКО-ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ПЛАНЕТАРНОЙ ПРЕЦЕССИОННОЙ ПЕРЕДАЧИ ТИПА КНУ

*Белорусская государственная политехническая академия
Минск, Беларусь*

Механические привода получили большое распространение в различных отраслях народного хозяйства. Составной частью данных приводов является редуцирующий механизм, построенный на базе различных механических передач. В качестве одной из таких передач может послужить коническо-цилиндрическая планетарная прецессионная передача (КЦПП). К достоинствам данной передачи можно отнести низкую себестоимость изготовления, небольшие массогабаритные показатели, а также, возможность достижения высоких значений передаточных отношений.

Одной из основных задач для выяснения работоспособности КЦПП является определение скорости износа контактирующих поверхностей неподвижного и прецессионного диска. Решение данной задачи позволит оптимизировать геометрические параметры зубчатых венцов с точки зрения минимального износа их поверхностей. Ниже будут