

ary integral equations have been formulated and their numerical implementations have been made as well as a number of test problems to validate the algorithm have been solved.

Получено 24.09.2009

**ISBN 978-985-468-707-0. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 4. Гомель, 2010**

УДК 629.11.011.38

И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ, Е. С. КОРОТКЕВИЧ
Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИСТЕМЫ «АВТОМОБИЛЬ – ЯРУСЫ ТРУБ» ПРИ ТОРМОЖЕНИИ

В работе на основе принципа Даламбера составлена система дифференциальных уравнений второго порядка, описывающих движение автомобиля с четырьмя попарно закрепленными на нем трубами. В результате ее решения выполнена оценка тормозного пути автомобиля с учетом упругости креплений.

Металлические, железобетонные и асбестоцементные трубы перевозят от заводов-изготовителей до пунктов назначения железнодорожным, автомобильным, водным и другими видами транспорта. В населенных пунктах доставка труб к месту их установки осуществляется автомобильным транспортом. Для перевозки труб используют автомобили МАЗ-5048, МАЗ-5205А, КамАЗ-5410, ОдАЗ-9370, автопоезда ПЛТ 1810 и ПЛТ 1310, автопоезд-самопогрузчик УПЛС 1308. Для транспортирования железобетонных труб со стальным сердечником диаметром 250, 300 и 400 мм, длиной 5 м, а также асбестоцементных труб диаметром 300–450 мм, длиной 3–5 м, суммарной массой до 7500 кг ПТБ «Водстройиндустрия» разработан трубовоз АТ 0805. В трубовозе применены легкоъемные сменные подкладки, обеспечивающие быструю переналадку под трубы другого типоразмера, и гибкие прокладки, исключают взаимное соприкосновение труб. Внедряется он на предприятиях стройиндустрии Главнечерноземводстроя.

Наличие в населенных пунктах светофоров, нерегулируемых пешеходных переходов требует от водителей автомобилей повышенного внимания особенно при перевозке длинномерных и крупногабаритных грузов, какими являются трубы. Водитель автомобиля должен знать, что длина тормозного пути, даже с полностью заторможенными колесами зависит как от скорости движения, так и состояния дороги.

Цель исследований – установление длины тормозного пути автомобиля при полностью заторможенных колесах от скорости движения и коэффициента трения скольжения шин колес по дороге.

Для проведения исследований автомобиль с закрепленными на нем трубами представим в виде системы, показанной на рисунке 1. В принятой схеме четыре трубы размещены на раме автомобиля в два яруса, а реквизиты крепления оснащены натяжными устройствами.

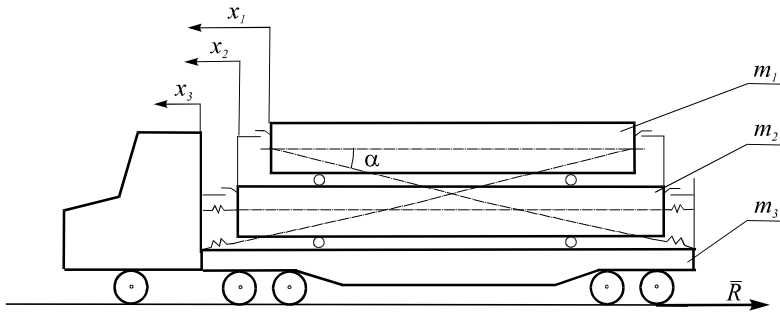


Рисунок 1 – Расчетная схема

Обозначим массы и продольные линейные перемещения: двух труб верхнего яруса m_1 , x_1 ; двух труб нижнего яруса m_2 , x_2 ; автомобиля m_3 , x_3 . Таким образом, при принятых допущениях рассматриваемая система будет иметь три независимые координаты. Применим способ Германа – Даламбера и запишем систему дифференциальных уравнений, отражающих движение двух ярусов труб и автомобиля:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + T_{1л} \cos \alpha_{л} - T_{1п} \cos \alpha_{п} + F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + T_{2л} - T_{2п} - F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) &= 0; \\ m_3 \ddot{x}_3 - T_{1л} \cos \alpha_{л} + T_{1п} \cos \alpha_{п} - T_{2л} + T_{2п} - F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_3) + R &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где $T_{1л}$, $T_{1п}$, $T_{2л}$, $T_{2п}$ – соответственно силы упругости элементов продольного крепления труб верхнего и нижнего ярусов; F_1 , F_2 – соответственно силы сухого трения между трубами верхнего и нижнего ярусов, трубами нижнего яруса и опорами на раме автомобиля; R – сила трения скольжения между шинами колес автомобиля и дорогой.

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

$$\begin{aligned} T_{1л,1п} &= c_1 (\sqrt{[\sqrt{l^2 - h^2} \pm (x_1 - x_3)]^2 + h^2} - l), \text{ если } \sqrt{[\sqrt{l^2 - h^2} \pm (x_1 - x_3)]^2 + h^2} > l; \\ T_{1л,1п} &= 0, \text{ если } \sqrt{[\sqrt{l^2 - h^2} \pm (x_1 - x_3)]^2 + h^2} \leq l; \\ T_{2л,2п} &= c_2 (\pm(x_2 - x_3)), \text{ если } x_2 > x_3; \\ T_{2л,2п} &= 0, \text{ если } x_2 \leq x_3. \end{aligned}$$

где c_1, c_2 – соответственно коэффициенты жесткости элементов продольного крепления труб верхнего и нижнего ярусов; l – длина элементов продольного крепления труб верхнего яруса в свободном (недеформированном) состоянии; h – расстояние от пола автомобиля до крюков на концах элементов продольного крепления труб верхнего яруса по вертикали.

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 1).

Силы сухого трения между трубами верхнего и нижнего ярусов, а также трубами нижнего яруса и опорами на раме автомобиля определяются следующими выражениями:

$$F_1 = f_1(m_1 g + T_{1л} \sin \alpha_{л} + T_{1п} \sin \alpha_{п});$$

$$F_2 = f_2((m_1 + m_2)g + T_{1л} \sin \alpha_{л} + T_{1п} \sin \alpha_{п}),$$

где f_1, f_2 – соответственно коэффициенты трения между трубами верхнего и нижнего ярусов, трубами нижнего яруса и опорами на раме автомобиля; g – ускорение свободного падения.

Сила трения скольжения между шинами колес автомобиля и дорогой определяется выражением:

$$R = \mu (m_1 + m_2 + m_3) g,$$

где μ – коэффициент трения скольжения шин колес автомобиля по дороге.

Тригонометрические функции углов наклона элементов продольного крепления труб верхнего яруса к полу автомобиля определяются следующими выражениями:

$$\sin \alpha_{л,п} = \frac{h}{\sqrt{[\sqrt{l^2 - h^2} \pm (x_1 - x_3)]^2 + h^2}}; \quad \cos \alpha_{л,п} = \frac{\sqrt{l^2 - h^2} \pm (x_1 - x_3)}{\sqrt{[\sqrt{l^2 - h^2} \pm (x_1 - x_3)]^2 + h^2}}.$$

Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений (1) проводилось для скоростей 2–15 м/с на момент начала торможения автомобиля при следующих исходных данных: $m_1 = m_2 = 5700$ кг; $m_3 = 11700$ кг; $l = 3$ м; $h = 0,6$ м; $c_1 = c_2 = 0,1$ МН/м; $\mu = 0,8$; $g = 9,81$ м/с². Расчеты проводились в среде MathCAD 2001 Professional.

Значения коэффициентов трения f_1, f_2 варьировались в пределах 0,2–0,6. Предварительным натяжением элементов продольного крепления труб пренебрегали.

Результаты расчетов при $f_1 = f_2 = 0,2$ представлены в виде графиков на рисунке 2.

Таким образом, в ходе исследований установлено, что длина тормозного пути автомобиля при упругом креплении груза меньше, чем при жестком способе крепления.

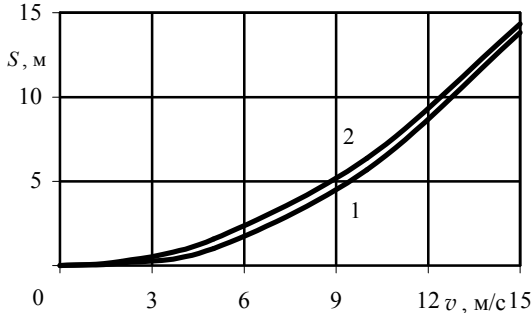


Рисунок 2 – Зависимость длины тормозного пути автомобиля от скорости движения:
1 – при жестком креплении груза; 2 – при упругом креплении груза

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 **Динамика высокоскоростного транспорта** / пер. с англ. А. В. Попова; под ред. Т. А. Тибилова. – М.: Транспорт, 1988. – 215 с.

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

I. A. VOROZHUN, A. V. ZAVOROTNY, E. S. KOROTKEVICH

STUDY OF “MOTOR CAR-PIPE TIERS” SYSTEM DYNAMICS AT BRAKING

In the paper on the basis of d’Alembert’s principle the system of differential equations of second order has been formulated. It describes the motion of a motor car with four-tiered pipes fixed on it. Its solution evaluates the motor car braking distance subject to the mounting elasticity.

Получено 10.12.2009

**ISBN 978-985-468-707-0. Механика. Научные исследования
и учебно-методические разработки. Вып. 4. Гомель, 2010**

УДК 656.212.6.073.22.002.5

И. А. ВОРОЖУН, А. В. ЗАВОРОТНЫЙ

Белорусский государственный университет транспорта, Гомель

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СОУДАРЕНИЯ ЗАГРУЖЕННОЙ ТРУБАМИ В ТРИ ЯРУСА ПЛАТФОРМЫ С ВАГОНАМИ СТЕНКИ

В работе методом математического моделирования исследовано влияние жесткости 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. Дана оценка полученных результатов.