

## ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ СИЛ В УСТРОЙСТВЕ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ НА АВТОМОБИЛЬНОМ ТРАНСПОРТЕ

Разработана схема устройства для крепления труб на платформе автомобиля. Для проведения исследований рассмотрен способ размещения и упругого крепления на платформе автомобиля четырех труб в два яруса. Методом математического моделирования определены величины динамических сил в упругих элементах продольного крепления труб к платформе при торможении автомобиля.

Для транспортирования жидких и газообразных веществ широко используются трубопроводные сети. Трубы для трубопроводов изготавливают из металла, железобетона, асбестоцементных, полимерных и других материалов. Помимо прочностных характеристик материала трубы отличаются конфигурацией, размерами, наличием покрытия, влияющего на коэффициент трения и т. п. Доставку труб к месту назначения осуществляют в Республике Беларусь в основном железнодорожным и автомобильным транспортом. Размещение и крепление труб на каждом виде транспорта регламентируется соответствующими нормативными документами. На железнодорожном транспорте размещение, а также крепление грузов на открытом подвижном составе должно выполняться в соответствии с требованиями, изложенными в Технических условиях [1]. При перевозке труб автомобильным транспортом руководствуются Правилами [2]. Согласно этим документам крепление рассчитывают на продольную инерционную нагрузку, пропорциональную весу перевозимого груза ( $F = kG$ ). На железнодорожном транспорте коэффициент  $k$  зависит от общего веса груза, перевозимого в вагоне, и для упругого крепления находится в пределах 0,97–1,2. Для автомобильного транспорта этот коэффициент составляет 0,8 в направлении вперед и 0,5 по направлениям назад и вбок. Обеспечение безопасности перевозок на автомобильном транспорте связано с проблемой надежного крепления грузов. Предприятия и организации используют различные модели автотранспортных средств. В статье [3] рассмотрены разные способы крепления грузов на автомобильном транспорте и показано, что для каждого груза необходим свой вид крепления, причем наиболее универсальным является способ крепления груза стяжными ремнями. Автор работы [4] отмечает, что автотранспортные средства российского производства не имеют необходимых точек крепления и предлагает увеличивать силы трения за счет предварительного натяжения средств крепления груза. Анализ схем крепления грузов на автотранспортных средствах показал, что здесь имеются существенные отличия по сравнению с креплением грузов в вагонах. Оказалось, что даже при одинаковых размерах кузова автомобиля в плане, точки для крепления грузов располагаются в разных местах. Поэтому разработать единую схему размещения и крепления грузов, пригодную для применения на различных автомобилях практически невозможно.

Целью исследований является определение динамических сил, действующих на упругие элементы про-

дольного крепления труб к платформе при торможении автомобиля с учетом предварительного натяжения поперечной обвязки.

Проведенные исследования [5, 6] показали, что увеличение коэффициента трения между поверхностями труб и опор позволяет уменьшить динамические силы в элементах продольного крепления труб. Поскольку сила сухого трения пропорциональна силе нормального давления, то ее увеличение можно достичь увеличением нормального давления за счет крепления поперечной обвязки и промежуточных опор для труб к раме автотранспортного средства, например, посредством ремней с натяжными устройствами. Причем эти силы будут переменными, то есть возрастать по мере перемещения труб с поперечной обвязкой и промежуточными опорами вдоль рамы автотранспортного средства. Кроме того, применение шарнирно-сочлененных опор для труб [7], увеличивающих число контактирующих поверхностей, в сочетании с оснащением опор ковриками противоскольжения, обладающими более высокими фрикционными свойствами, позволит существенно увеличить силы трения.

В представленной статье рассмотрена схема устройства с продольным креплением труб двух ярусов непосредственно к раме автотранспортного средства. Промежуточные опоры между ярусами труб и поперечная обвязка прикреплены к раме автотранспортного средства.

В ходе проводимых исследований оценивалось влияние: трения; жесткости упругих элементов крепления; предварительного натяжения упругих элементов крепления.

Для проведения исследований автотранспортное средство с закрепленными на нем трубами представлено в виде системы, показанной на рисунке 1. В принятой схеме четыре трубы размещены на автотранспортном средстве в два яруса, а реквизиты крепления содержат упругие элементы с натяжными устройствами. Нижний ярус труб 2 уложен на опоры 5, закрепленные на раме автомобиля 1. Между ярусами труб (нижним 2 и верхним 3) установлены промежуточные опоры 7, которые посредством тяжей 6 прикреплены к раме автомобиля 1. Весь комплект труб посредством поперечной обвязки 8 прикреплен к раме автомобиля 1. От продольного смещения (в направлении движения автомобиля) трубы удерживаются элементами крепления 4, с натяжными устройствами, закрепленными на торцах рамы автомобиля 1. В исходном положении оси элемен-

тов крепления поперечной обвязки и промежуточных опор вертикальны. Оси элементов продольного крепле-

ния труб нижнего яруса горизонтальны, а верхнего яруса наклонены к полу автомобиля под углом  $\alpha$ .

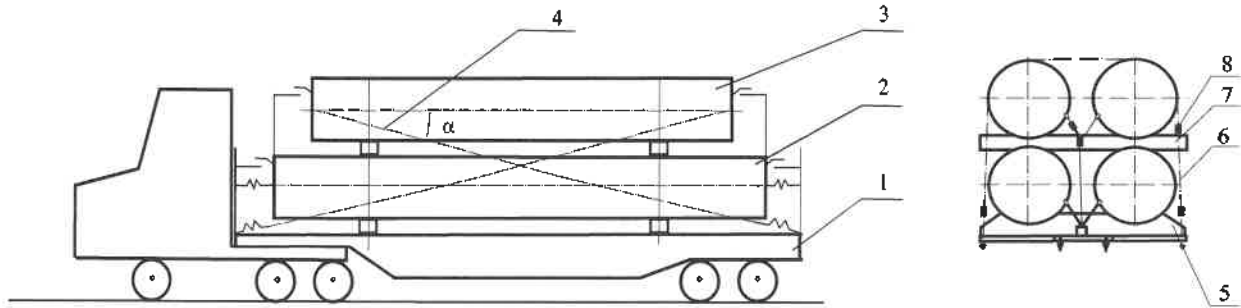


Рисунок 1 – Размещение и крепление четырех труб на раме автомобиля:  
1 – рама автомобиля; 2 – нижний ярус труб; 3 – верхний ярус труб; 4 – элементы продольного крепления труб; 5 – ложемент для труб нижнего яруса; 6 – элементы поперечной обвязки; 7 – ложемент для труб верхнего яруса; 8 – поперечная обвязка

Опоры 5 и 7 оснащены ковриками противоскольжения для предохранения от повреждений полиэтиленового покрытия труб и повышения коэффициента сухого трения.

Оценка динамических качеств такого устройства выполнена по схеме, представленной на рисунке 2. В рассматриваемой математической модели процесса

торможения автомобиля, загруженного двумя ярусами труб, элементы продольного крепления труб, крепления промежуточных опор и поперечной обвязки обладают упругими свойствами и имеют линейные характеристики. Элементы поперечной обвязки и промежуточные опоры объединены в отдельные блоки с соответствующими массами.

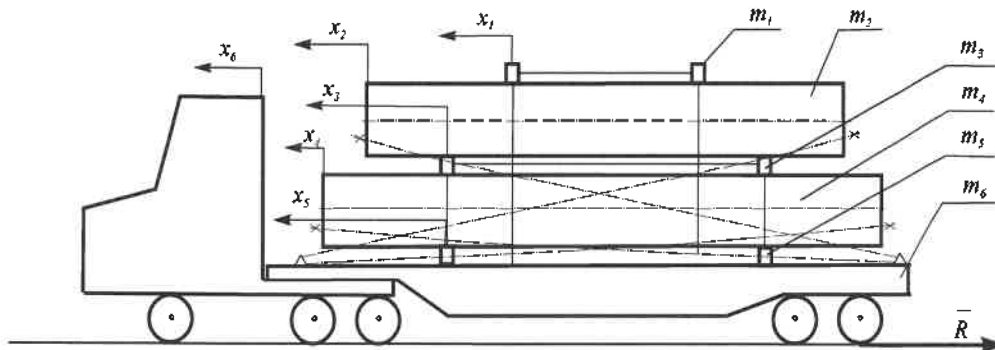


Рисунок 2 – Расчетная схема автомобиля с трубами

На схеме обозначены 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  $m_4$ ,  $x_4$ ; нижних опор для труб  $m_5$ ,  $x_5$ ; автомобиля  $m_6$ ,  $x_6$ . Начало отсчета каждой из координат  $x_i$ , определяющих положение элементов системы, соответствует моменту начала торможения. Таким образом, при принятых допущениях рассматриваемая система будет иметь шесть независимых координат. Система дифференциальных уравнений, отражающих движение указанных тел, представлена в следующем виде [8, 9]:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + T_1 \sin \beta + F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 + T_2 \cos \alpha - F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_4) &= 0; \\ m_3 \ddot{x}_3 + T_3 \sin \gamma - F_2 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_4) + F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) &= 0; \\ m_4 \ddot{x}_4 + T_4 - F_3 \operatorname{sgn}(\dot{x}_3 - \dot{x}_4) + F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_6) &= 0; \\ m_5 \ddot{x}_5 + T_5 - F_4 \operatorname{sgn}(\dot{x}_4 - \dot{x}_6) + F_5 \operatorname{sgn}(\dot{x}_5 - \dot{x}_6) &= 0; \\ m_6 \ddot{x}_6 - T_1 \sin \beta - T_2 \cos \alpha - T_3 \sin \gamma - T_4 - & \\ - T_5 - F_5 \operatorname{sgn}(\dot{x}_5 - \dot{x}_6) + R &= 0, \end{aligned} \right\} (1)$$

где  $T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$  – соответственно силы упругости элементов крепления поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего яруса, крепления промежуточных опор, продольного крепления труб нижнего яруса и крепления нижних опор для труб;  $F_1, F_2, F_3, F_4, F_5$  – 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 нижними опорами, нижними опорами и рамой автомобиля;  $\alpha, \beta, \gamma$  – соответственно углы наклона элементов продольного крепления труб верхнего яруса к горизонту, отклонения поперечной обвязки от вертикали, отклонения тяжей крепления промежуточных опор от вертикали.

Особенностями данной системы являются учет изменения углов наклона средств крепления по отношению к полу автоплатформы вследствие их деформаций, а также особая форма учета сил кулонова трения, максимальное значение которых достигается только при положительной разности между скоростями контактирующих элементов системы.

Входящие в уравнения системы (1) силы упругости элементов крепления определяются следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} T_1 &= c_1(\sqrt{l_1^2 + (x_1 - x_6)^2} - l_1 + \lambda_1); \\ T_2 &= c_2(\sqrt{(\sqrt{l_2^2 - h^2} + (x_2 - x_6))^2 + h^2} - l_2 + \lambda_2); \\ T_3 &= c_3(\sqrt{l_3^2 + (x_3 - x_6)^2} - l_3 + \lambda_3); \\ T_4 &= c_4(x_4 - x_6 + \lambda_4); \quad T_5 = c_5(x_5 - x_6 + \lambda_5), \end{aligned} \right\}$$

где  $c_1, \dots, c_5$  – соответственно жесткости упругих элементов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего яруса, крепления промежуточных опор, продольного крепления труб нижнего яруса и крепления нижних опор;  $l_1, l_2, l_3$  – соответственно длины элементов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего яруса и крепления промежуточных опор;  $\lambda_1, \dots, \lambda_5$  – соответственно величина предварительного натяжения упругих элементов поперечной обвязки, продольного крепления труб верхнего яруса, крепления промежуточных опор, продольного крепления труб нижнего яруса и крепления нижних опор;  $h$  – расстояние от пола автомобиля до крюков на концах элементов продольного крепления труб верхнего яруса.

Силы сухого трения между элементами поперечной обвязки и трубами верхнего яруса, трубами верхнего яруса и промежуточными опорами, трубами нижнего яруса и промежуточными опорами, трубами нижнего яруса и нижними опорами, а также нижними опорами и рамой автомобиля определяются следующими выражениями:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= f_1(m_1 g + T_1 \cos \beta); \\ F_2 &= f_2((m_1 + m_2) g + T_1 \cos \beta + T_2 \sin \alpha); \\ F_3 &= f_3((m_1 + m_2 + m_3) g + T_1 \cos \beta + T_2 \sin \alpha + T_3 \cos \gamma); \\ F_4 &= f_4((m_1 + m_2 + m_3 + m_4) g + T_1 \cos \beta + T_2 \sin \alpha + T_3 \cos \gamma); \\ F_5 &= f_5((m_1 + m_2 + m_3 + m_4 + m_5) g + T_1 \cos \beta + T_2 \sin \alpha + T_3 \cos \gamma), \end{aligned} \right\}$$

где  $f_1, \dots, f_5$  – соответственно коэффициенты трения между элементами поперечной обвязки и трубами верхнего яруса, трубами верхнего яруса и промежуточными опорами, трубами нижнего яруса и опорами (промежуточными и нижними), а также нижними опорами и рамой автомобиля;  $g$  – ускорение свободного падения.

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

$$\begin{aligned} \sin \beta &= \frac{x_1 - x_6}{\sqrt{l_1^2 + (x_1 - x_6)^2}}; \quad \cos \beta = \frac{l_1}{\sqrt{l_1^2 + (x_1 - x_6)^2}}; \\ \sin \alpha &= \frac{h}{\sqrt{(\sqrt{l_2^2 - h^2} + (x_2 - x_6))^2 + h^2}}; \\ \cos \alpha &= \frac{\sqrt{l_2^2 - h^2} + (x_2 - x_6)}{\sqrt{(\sqrt{l_2^2 - h^2} + (x_2 - x_6))^2 + h^2}}; \end{aligned}$$

$$\sin \gamma = \frac{x_3 - x_6}{\sqrt{l_3^2 + (x_3 - x_6)^2}}; \quad \cos \gamma = \frac{l_3}{\sqrt{l_3^2 + (x_3 - x_6)^2}}.$$

Численное интегрирование уравнений системы (1) проводилось в среде MathCAD [10] для скорости автомобиля на момент начала торможения 10 м/с.

Динамические силы в упругих элементах продольного крепления труб нижнего яруса приведены на рисунке 3 при следующих исходных данных:  $m_1 = 10$  кг;  $m_2 = m_4 = 5700$  кг;  $m_3 = m_5 = 200$  кг;  $m_6 = 12400$  кг;  $l_1 = 2,2$  м;  $l_2 = 10$  м;  $l_3 = 1,1$  м;  $h = 1,1$  м;  $c_1 = c_2 = c_3 = c_4 = c_5 = 2$  МН/м;  $\mu = 0,8$ .

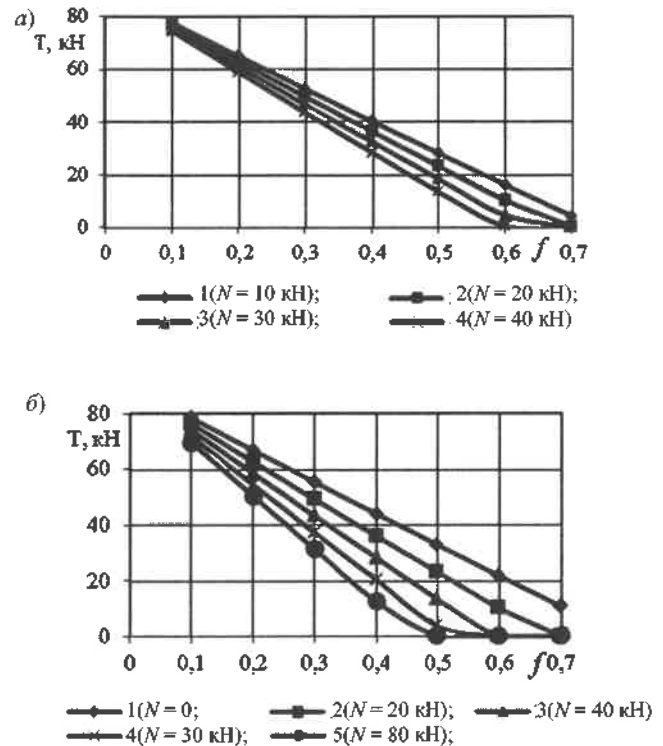


Рисунок 3 – Графики изменения сил в упругих элементах продольного крепления труб при предварительном натяжении:  
а – поперечной обвязки; б – поперечной обвязки и крепления промежуточных опор

Коэффициенты трения по всем поверхностям контакта тел приняты равными и варьировались в пределах 0,1–0,7. Предварительное натяжение упругих элементов поперечной обвязки ( $\lambda_1$ ) и крепления промежуточных опор ( $\lambda_3$ ) варьировалось в пределах 0–0,02 м, а продольного крепления обоих ярусов труб не учитывалось ( $\lambda_2 = \lambda_4 = 0$ ).

Как показывают расчеты, смещения ярусов труб и силы в упругих элементах их крепления ввиду малого угла наклона  $\alpha$  практически одинаковы. Дополнительное прижатие ярусов труб к раме автомобиля путем предварительного натяжения упругих элементов только поперечной обвязки ( $N_1 = c_1 \lambda_1$ ) сопровождается уменьшением сил в элементах продольного крепления труб (см. рисунок 3, а). Интенсивность уменьшения сил в элементах продольного крепления труб (см. рисунок 3, б) наблюдается при дополнительном прижатии ярусов труб к раме автомобиля путем предварительного натяжения упругих элементов поперечной обвязки ( $N_1 = c_1 \lambda_1$ ) и крепления промежуточных опор ( $N_3 = c_3 \lambda_3$ ).

В ходе проведения исследований установлено, что жесткость упругих элементов крепления нижних опор для труб к раме автомобиля не оказывает влияния на величину смещения ярусов труб и сил в элементах их продольного крепления.

Полученные в результате проведенных исследований данные свидетельствуют о том, что применение ковриков противоскольжения с высоким коэффициентом трения в сочетании с предварительным натяжением поперечной обвязки и элементов крепления промежуточных опор позволит уменьшить величину динамических сил в устройствах продольного крепления труб при торможении автомобиля.

#### Список литературы

1 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах № ЦМ-943 : утв. 27.05.2003 МПС России. – М. : Юртранс, 2003. – 544 с.

2 Правила безопасного размещения и крепления грузов в кузове автомобильного транспортного средства : утв. М-вом трансп. и коммуникаций Респ. Беларусь 10.10.2005. – Минск : Энергопресс, 2015. – 55 с.

3 Болотов, Н. М. Выбор средств крепления грузов для повышения безопасности при перевозке автомобильным транспортом / Н. М. Болотов, Д. А. Красникова // Научная мысль, 2016. – № 3. – С. 138–142.

Получено 12.03.2019

**I. A. Vorozhun.** Determination of dynamic forces in the device for fixing pipes in road transport.

The scheme of the device for mounting pipes on the platform of the car. For research, the method of placement and elastic mounting on a plat-form car of four pipes in two tiers is considered. The method of mathematical modeling determines the magnitude of the dynamic forces in the elastic elements of the longitudinal attachment of pipes to the platform when the vehicle is braked.

4 Евсеева, А. А. Применение метода фрикционной фиксации крепления грузов при перевозке автомобильным транспортом для повышения безопасности перевозочного процесса / А. А. Евсеева // Вестник СГТУ. – № 2 (71). – 2013. – С. 307–309.

5 Chaganova, O. S. Fastenings Parameters Determination for Highly Deformative Cargo, Taking into Account Its Durability During Transportation in Cars and Trains / O. S. Chaganova, I. A. Varazhun // International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research. – 2018. – Vol. 7, No. 3. – P. 218–222.

6 Ворожун, И. А. Определение сил в элементах крепления труб на платформах автотранспортных средств / И. А. Ворожун // Актуальные вопросы и перспективы развития транспортного и строительного комплексов : материалы IV Междунар. науч.-практ. конф. : в 2 ч. Ч. 1. – Гомель : БелГУТ, 2018. – С. 131–132.

7 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 Белорус. гос. ун-т трансп. – № а 20051196 ; заявл. 12.05.05 ; оубл. 30.06.08 // Афіцыйны бюл. / Вынаходства, карысныя мадэлі, прамысловыя ўзоры. – 2008. – № 3. – С. 87.

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

9 Varazhun, I. Modeling of the interaction between cargo tiers and flatcar during the collision of cars / I. Varazhun, A. Zavarotny // Technolog. – 2013. – Roc. 5. – № 4. – P. 195–198.

10 Брент, М. MathCAD в инженерных расчетах / М. Брент. – М. : Крона-Век, 2010. – 368 с.