

УДК 656.136

*И. А. ВОРОЖУН**Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь***АНАЛИЗ СХЕМ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ НА КУЗОВЕ
АВТОТРАНСПОРТНОГО СРЕДСТВА**

Выполнено сравнение креплений труб на автотранспортном средстве для двух случаев: трубы всех ярусов крепятся непосредственно к кузову автомобиля, трубы нижнего яруса крепятся непосредственно к кузову автомобиля, а трубы каждого последующего яруса – к трубам предыдущего. Исследовано влияние коэффициента трения между трубами и рамой автомобиля на величину динамических сил в упругих элементах продольного крепления труб при торможении. Приведены рекомендации по использованию рассматриваемых вариантов креплений.

Ключевые слова: автомобиль, трубы, крепление грузов, силы, торможение.

Для перевозки металлических, железобетонных и асбестоцементных труб от заводов-изготовителей до пунктов назначения пользуются как железнодорожным, так и автомобильным транспортом, причем предприятия и организации применяют различные модели автопоездов. Некоторые существующие способы размещения и крепления труб большого диаметра на раме автотранспорта представлены на рисунке 1.



Рисунок 1 – Размещение и крепление труб на автопоезде

Трубы обладают относительно небольшой массой при значительных габаритах. Поэтому с целью лучшего использования грузоподъемности автомобиля при транспортировке их размещают в несколько ярусов по высоте, что требует разработки специальных схем крепления.

Проблема надежного крепления грузов неразрывно связана с безопасностью перевозок на автомобильном транспорте [1]. В статье [2] 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. В работах

[3, 4] автором предлагается увеличивать силы трения за счет предварительного натяжения средств крепления груза.

В трубовах применяются легкоъемные сменные подкладки, обеспечивающие быструю переналадку под трубы другого типоразмера, и гибкие прокладки, исключают взаимное соприкосновение труб. Однако такое крепление не всегда может исключить смещение верхних ярусов труб при резком торможении. Это, в свою очередь, может стать причиной повреждения торцевой поверхности, форма которой изначально делается такой, чтобы обеспечить герметичное соединение труб при их укладке.

Наш опыт разработки схем крепления металлопроката на автотранспортных средствах показал, что здесь имеются существенные отличия по сравнению с креплением грузов в вагонах. Оказалось, что даже при одинаковых размерах кузовов автомобилей разных моделей в плане, крепежные кольца находятся в разных местах. Поэтому разработать единую схему размещения и крепления грузов, пригодную для применения на различных автомобилях, зачастую весьма сложно.

Отметим, что при определении способов и выборе устройства крепления груза смещение груза относительно кузова автомобильного транспортного средства в момент разгона (торможения) и движения на поворотах дороги не учитывается, т. е. автомобиль и груз рассматривается как единое целое. Однако любые средства крепления под действием приложенных нагрузок деформируются. Как показывает опыт, в некоторых случаях такие деформации могут приводить к постепенному изменению положения груза на автотранспортном средстве. Возникающие смещения, в конечном счете, могут стать причиной повреждения крепления и нарушения сохранности груза. Целью представленной работы стало сравнение разных схем крепления труб на автотранспортном средстве.

Действующие в Республике Беларусь Правила [5] устанавливают, что силы, действующие на груз, должны компенсировать силу, которая составляет не менее 0,8 веса груза в направлении вперед и 0,5 веса груза по направлениям назад, влево и вправо. При способе крепления груза, исключая его смещение относительно кузова автомобильного транспортного средства силами трения в момент разгона (торможения) и движения на поворотах дороги должно выполняться условие в соответствии с Правилами [5]:

$$f(G + N) \geq 0,8G, \quad (1)$$

где f – коэффициент трения между соприкасающимися поверхностями груза и кузова автомобильного транспортного средства; G – вес перевозимого груза; N – сила дополнительного прижатия груза к раме кузова автомобильного транспортного средства.

Из выражения (1) следует, что:

$$N \geq (0,8 - f)G / f = kG.$$

Здесь k – коэффициент пропорциональности,

$$k = (0,8 - f) / f .$$

Зависимость коэффициента пропорциональности k от коэффициента трения представлена на рисунке 2. Она показывает, что сила дополнительного прижатия груза к кузову при значениях коэффициента трения 0,4–0,1 превышает вес перевозимого груза в 1–7 раз. Поэтому с целью предотвращения повреждения груза, обусловленного большими силами прижатия, между соприкасающимися поверхностями груза и кузова устанавливают коврики противоскольжения с высоким коэффициентом трения.

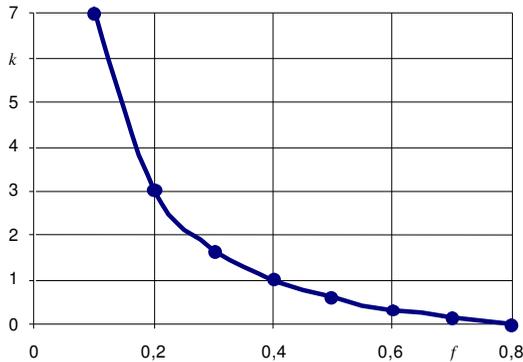


Рисунок 2 – Зависимость коэффициента k от коэффициента трения f

Однако в случае транспортировки труб в несколько ярусов не всегда коврики можно разместить между трубами. Поэтому требуется разработка таких схем крепления, при которых удастся обеспечивать неподвижность груза без чрезмерных сил прижатия. Учитывая большую длину средств крепления, необходимо принимать во внимание их деформации [6].

Рассмотрен вариант упругого крепления, допускающего смещение груза относительно кузова автомобиля в продольном направлении. Предполагается, что габарит погрузки позволяет размещать на автомобиле трубы в два и более яруса. Продольное крепление труб может осуществляться следующими способами [7]:

- трубы всех ярусов крепятся непосредственно к кузову автомобиля;
- трубы нижнего яруса крепятся непосредственно к кузову автомобиля, а трубы каждого последующего яруса – к трубам предыдущего;
- комбинированный способ, совмещающий оба предыдущих.

При разработке математической модели рассматривалась механическая система, включающая шасси автомобиля и установленные на нем в несколько ярусов трубы (рисунок 3). Предполагалось, что реквизиты крепления со-

держат упругие элементы с линейными характеристиками и оснащены натяжными устройствами.

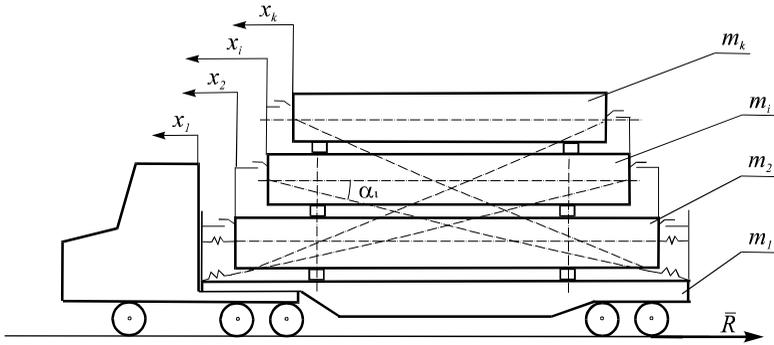


Рисунок 3 – Расчетная схема торможения автомобиля, загруженного ярусами труб

На основании принципа Даламбера составлена система дифференциальных уравнений, отражающих движение автомобиля и ярусов груза [8, 9]:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + R - T_c - F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1) &= 0; \\ \dots \\ m_i \ddot{x}_i + T_i \cos \alpha_i + F_i \operatorname{sgn}(\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}) - F_{i+1} \operatorname{sgn}(\dot{x}_{i+1} - \dot{x}_i) &= 0; \\ \dots \\ m_k \ddot{x}_k + T_k \cos \alpha_k + F_k \operatorname{sgn}(\dot{x}_k - \dot{x}_{k-1}) &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

где m_1, m_i, m_k – масса соответственно автомобиля, i -го, k -го яруса груза; ($i = 2, 3, \dots, k$); x_1, x_i, x_k – продольное ускорение соответственно автомобиля, i -го, k -го яруса груза; $\dot{x}_1, \dot{x}_i, \dot{x}_k$ – продольные скорости соответственно автомобиля, i -го, k -го яруса груза; R – сила торможения, $R = \mu (m_1 + \dots + m_i + \dots + m_k)g$; μ – коэффициент трения скольжения шин колес автомобиля по дороге; g – ускорение свободного падения; T_c – суммарная продольная горизонтальная сила в упругих элементах крепления ярусов груза к раме автомобиля; F_1, F_i, F_k – соответственно силы сухого трения первого яруса груза по раме автомобиля, между ярусами груза,

$$F_i = f_i ((m_i + \dots + m_k)g + N + c_i(x_i - x_1)\sin \alpha_i);$$

f_i – коэффициент трения i -го яруса груза по коврикам противоскольжения; N – сила дополнительного прижатия ярусов груза к раме автомобиля посредством поперечной обвязки; c_i – жесткость упругих элементов продольного крепления i -го яруса груза к раме автомобиля; α_i – угол наклона элементов продольного крепления i -го яруса груза к раме автомобиля; T_1, T_i, T_k – продольная сила в упругих элементах крепления соответственно первого, i -го, k -го яруса груза,

$$T_i = c_i \Delta x_i;$$

Δx_i – деформация упругих элементов продольного крепления i -го яруса,

$$T_i = c_i \left(\sqrt{h_i^2 + \left(\sqrt{l_i^2 - h_i^2} + x_i - x_1 \right)^2} - l_i \right);$$

h_i – высота расположения элементов продольного крепления i -го яруса груза над уровнем пола автомобиля; l_i – длина элементов продольного крепления i -го яруса груза при недеформированном состоянии упругих элементов.

Значения углов α_i зависят от конструкции и расположения устройств крепления груза, а их тригонометрические функции могут быть определены в соответствии с выражениями, представленными в работе [9].

Особенностью рассматриваемой механико-математической модели крепления груза является особая форма учета сил кулонова трения, максимальное значение которых достигается только при положительной разности между скоростями контактирующих элементов системы, расположенных в верхнем и нижнем ярусах.

Система уравнений (2) справедлива также при наличии в схеме крепления поперечной обвязки и промежуточных опор между ярусами груза. В этом случае поперечную обвязку и промежуточные опоры следует рассматривать как соответствующие ярусы груза.

При выполнении расчетов в качестве начальных условий можно принять, что при $t = 0$ смещение отсутствует, а скорости труб и автомобиля одинаковы:

$$x_{i(0)} = 0; v_{i(0)} = 0 \quad (i = 1, \dots, k);$$

где v_0 – начальная скорость, соответствующая скорости движения автомобиля на момент начала торможения, м/с.

С целью конкретизации модели рассмотрен случай четырех труб, размещенных на раме автомобиля в два яруса. Для сопоставления рассмотрены две схемы: схема продольного крепления труб обоих ярусов непосредственно к раме автомобиля и схема продольного крепления труб нижнего яруса к раме автомобиля, а труб верхнего яруса к трубам нижнего яруса (ярусное крепление труб). В этом случае система будет иметь три независимых координаты.

Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений проводилось в среде MathCAD при следующих исходных данных: масса автомобиля $m_1 = 12400$ кг, массы ярусов труб $m_2 = m_3 = 5700$ кг; коэффициент трения сцепления шин колес автомобиля с дорогой $\mu = 0,8$.

При проведении расчетов значения коэффициентов жесткости упругих элементов для продольного крепления труб обоих ярусов принимались одинаковыми ($c_1 = c_2$) и варьировались в пределах 0,08–2,0 МН/м. Силы предварительного натяжения упругих элементов поперечной обвязки варьирова-

лись в пределах 0–40 кН, а предварительное натяжение элементов продольного крепления труб считалось пренебрежимо малым. Коэффициенты трения между трубами верхнего и нижнего ярусов, трубами нижнего яруса и опорами на раме автомобиля варьировались в пределах 0,1–0,8.

В рассматриваемой схеме угол наклона элементов продольного крепления труб нижнего яруса считался пренебрежимо малым. Расчеты показали, что при креплении труб обоих ярусов к раме автомобиля следует принимать во внимание изменение углов наклона элементов крепления по отношению к полу автомобиля вследствие их деформаций.

Результаты расчетов при $N = 0$, $c_1 = c_2 = 2,0$ МН/м и $f_1 = f_2 = f$ приведены на рисунке 4. Ввиду малости угла наклона элементов продольного крепления труб верхнего яруса силы в элементах продольного крепления обоих ярусов оказались практически одинаковыми.

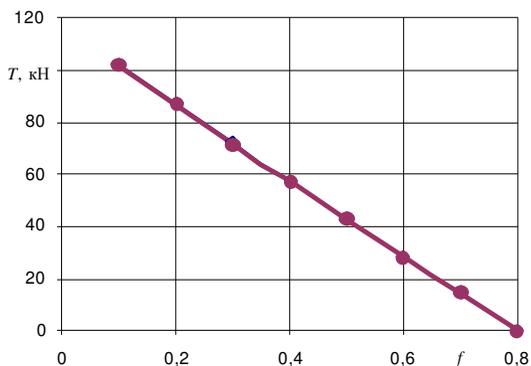


Рисунок 4 – Графики изменения сил в упругих элементах продольного крепления труб обоих ярусов к раме автомобиля

При расчетах для схемы с ярусным креплением труб пренебрежимо малыми считались углы наклона элементов продольного крепления для обоих ярусов.

Выполненные расчеты для скорости, на момент начала торможения автомобиля составляющей 10 м/с, показали, что при увеличении жесткости упругих элементов продольного крепления смещение ярусов труб относительно рамы автомобиля уменьшается, а длина тормозного пути возрастает. Так, при коэффициентах трения $f_1 = f_2 = 0,6$ и коэффициентах жесткости упругих элементов продольного крепления труб к платформе автомобиля 0,08–0,5 МН/м смещение труб нижнего яруса составляет 0,49–0,08 м, а верхнего яруса – 0,86–0,14 м. Длина тормозного пути автомобиля с трубами составляет 6,0–6,3 м. При отсутствии продольного смещения труб относительно платформы автомобиля, т.е. при рассмотрении автомобиля с трубами как единого тела, тормозной путь автомобиля составляет около 6,4 м и не зави-

сит от массы перевозимого груза. Отметим, что полученные значения смещений труб весьма велики, поэтому жесткость креплений, которые могут быть использованы на практике, должна быть значительно большей.

Результаты расчетов при $N = 0$, $c_1 = c_2 = 2,0$ МН/м приведены в виде графиков: на рисунке 5, а для случая $f = f_1 = f_2$, а на рисунке 5, б – для $f_1 = 0,6$, $f_2 = 0,1-0,6$. Представленные результаты показывают, что при способе продольного крепления труб обоих ярусов к раме автомобиля силы, действующие на раму автомобиля в продольном направлении, примерно на 12 % больше, чем при ярусном способе крепления труб. Применение ковриков противоскольжения с высоким коэффициентом трения ($f = 0,6$) в местах опирания труб нижнего яруса на раму автомобиля способствует снижению продольных сил, действующих на трубы и элементы их крепления. При $f_1 = 0,6$ и $f_2 = 0,2$ силы в элементах продольного крепления труб примерно в два раза меньше, чем при $f_1 = f_2 = 0,2$.

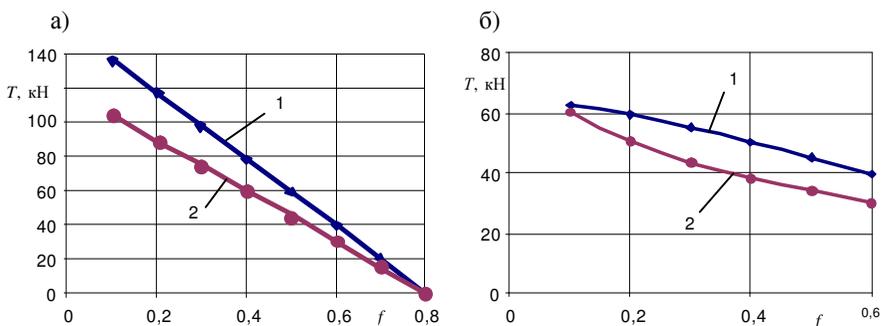


Рисунок 5 – Силы в упругих элементах продольного крепления труб нижнего (линия 1) и верхнего (линия 2) ярусов: а) $f = f_1 = f_2$, б) $f_1 = 0,6$, $f = f_2 = 0,1-0,6$

Предварительное натяжение упругих элементов поперечной обвязки создает силу дополнительного прижатия ярусов труб к раме автомобиля. На рисунке 6 представлены графики зависимости сил в элементах продольного крепления труб нижнего яруса (T_1) от силы дополнительного прижатия (N) при $f_1 = f_2 = 0,6$.

Представленные результаты свидетельствуют о том, что дополнительное прижатие поперечной обвязкой ярусов труб к раме автомобиля позволяет снизить силы в элементах продольного крепления.

С целью выбора рациональной схемы крепления труб на раме автотранспортного средства результаты расчетов динамических показателей разработанных устройств сведены в таблицу 1. Существующие в Республике Беларусь Правила [5] устанавливают, что силы, действующие на груз, должны компенсировать силу, равную не менее 0,8 веса груза в направлении вперед, что составляет порядка 89,4 кН. В ходе расчетов установлено, что наиболь-

шее значение сил в упругих элементах продольного крепления труб нижнего яруса к раме автомобиля составляет 39,6 кН, а наибольшее значение сил в упругих элементах продольного крепления труб верхнего яруса к трубам нижнего яруса – 30,1 кН.

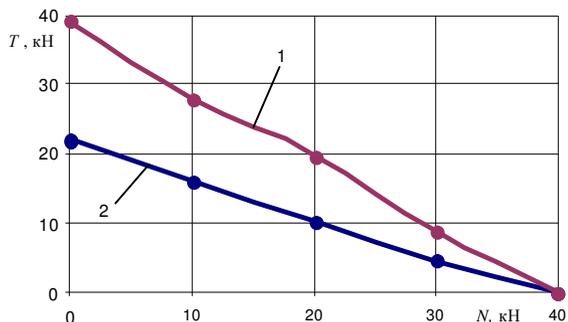


Рисунок 6 – Зависимости силы T_1 от силы дополнительного прижатия N при ярусном способе продольного крепления труб (линия 1) и креплении труб обоих ярусов к раме автомобиля (линия 2)

Таблица 1 – Наибольшее значение параметров при торможении автомобилем

Наименование показателей	Ярусное крепление труб		Крепление всех труб к раме автомобиля	
	$N = 0$	$N = 20$ кН	$N = 0$	$N = 20$ кН
Смещение труб верхнего яруса, мм	0,035	0,012	0,011	0,005
Смещение труб нижнего яруса, мм	0,020	0,010	0,011	0,005
Силы в упругих элементах крепления верхнего яруса труб, кН	30,1	4,7	21,3	10,4
Силы в упругих элементах крепления нижнего яруса труб, кН	39,6	20,2	21,9	10,3

На основании полученных результатов можно сделать заключение, что при транспортировке на относительно небольшие расстояния наиболее предпочтительна схема с ярусным способом продольного крепления труб. Поскольку при таком способе продольного крепления труб к платформе транспортного средства динамические силы, действующие на элементы крепления, трубы и транспортное средство меньше, то элементы крепления могут быть меньших размеров, следовательно, материалоемкость устройства крепления будет меньше. При необходимости перевозки на большие расстояния или по дорогам с недостаточно высоким качеством покрытия, целесообразно трубы крепить к раме автомобиля.

Разработанная математическая модель и установленные расчетные зависимости могут быть использованы для расчета крепления иных грузов, размещенных в несколько ярусов на транспортном средстве.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Cargo fastening on automobile transport considering its deformation / A. O. Shimanovsky [et al.] // Transport Means : Proceedings of the 22nd International Conference. – 2018. – Pt. 1. – P. 192–196.

2 **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.

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

4 **Евсеева, А. А.** Повышение эффективности и безопасности методов крепления грузов при перевозке автомобильным транспортом / А. А. Евсеева, Д. А. Красникова, М. А. Якунин // Научно-методический электронный журнал Концепт. – Т. 3. – С. 2811–2815.

5 Правила безопасного размещения и крепления грузов в кузове автомобильного транспортного средства : [утверждено Министерством транспорта и коммуникаций Республики Беларусь 10.10.2005]. – Минск : Энергопресс, 2015. – 55 с.

6 **Заворотный, А. В.** Динамика системы «Автомобиль – ярусы труб» при переходных режимах движения / А. В. Заворотный, И. А. Ворожун, Е. С. Короткевич // Проблемы безопасности на транспорте : материалы V Междунар. науч.-практ. конф. – Гомель: БелГУТ, 2010. – С. 116–117.

7 **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.

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

9 **Ворожун, И. А.** Оценка динамических сил в элементах крепления труб на железнодорожной платформе / И. А. Ворожун // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2008. – № 1. – С. 60–64.

I. A. VARAZHUN

Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus

ANALYSIS OF THE SCHEMES OF PIPES FASTENINGS ON THE AUTOMOBILE BODY

Comparison of pipe fastenings on a road vehicle was performed for two cases: pipes of all tiers are attached directly to the car body, pipes of the lower tier are attached directly to the car body, and pipes of each subsequent tier are attached to the pipes of the previous layer. The influence of the friction coefficient between the pipes and the frame of the car on the dynamic forces in the elastic elements of the pipes longitudinal fastening was analyzed for the case of the car braking mode. There were given the recommendations on the use of the considered variants of fastening.

Получено 15.10.2018