

УДК 656.136

*И. А. ВОРОЖУН, И. В. ВОРОБЬЕВ**Белорусский государственный университет транспорта, Гомель, Беларусь***СРАВНЕНИЕ СПОСОБОВ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ БОЛЬШОГО ДИАМЕТРА НА ТРАНСПОРТНОМ СРЕДСТВЕ**

Рассмотрены два способа размещения и крепления пакета труб на автотранспортном средстве. Методом математического моделирования исследовано влияние коэффициента жесткости в упругих элементах продольного крепления пакета труб при торможении автомобиля на величину динамических сил. Дан сравнительный анализ динамических показателей жесткого и упругого крепления пакета труб на раме автотранспортного средства.

**Ключевые слова:** пакет труб, крепление, силы, автомобиль, торможение.

Доставка труб от грузоотправителя до грузополучателя может осуществляться воздушным, водным и наземными видами транспорта. Авиационные перевозки – самый быстрый, но и самый дорогой вид доставки грузов. В государствах, имеющих выход к морю, широко распространен морской вид перевозок, что связано с низкой стоимостью доставки груза. Транспортировка железнодорожным транспортом востребована там, где необходима стабильная поставка грузов, а автомобильные перевозки – в случаях, когда требуется доставка «от двери до двери». В настоящее время развиваются также контейнерные перевозки грузов, позволяющие значительно сократить объем промежуточных погрузочно-разгрузочных работ.

Для транспортирования различных жидких и газообразных веществ широко используются трубопроводы, трубы для которых изготавливают из металла, железобетона, асбестоцементных, полимерных и других материалов. Они отличаются конфигурацией, размерами, наличием покрытия и т. п. Доставку труб к месту назначения осуществляют в Республике Беларусь в основном железнодорожным и автомобильным транспортом (рисунок 1).

Размещение и крепление труб на каждом виде транспорта регламентируется соответствующими нормативными документами. На железнодорожном транспорте оно 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  $F$ , пропорциональную весу перевозимого груза  $G$  ( $F = kG$ ). 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 движения и 0,5 – против и поперек него.



Рисунок 1 – Перевозка труб на железнодорожном и автомобильном транспорте

Анализ схем крепления грузов на автотранспортных средствах показал, что здесь имеются существенные отличия по сравнению с креплением грузов в вагонах. В статье [3] рассмотрены разные варианты крепления грузов на автомобиле и показано, что для каждого груза необходим свой вид крепления, причем наиболее универсальным является способ крепления груза стяжными ремнями. Однако точки для крепления грузов даже при одинаковых размерах кузова автомобиля в плане располагаются в разных местах. 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. Таким образом, разработать единую схему размещения и крепления грузов, пригодную для применения на различных автомобилях практически невозможно.

Целью работы является обеспечение сохранности труб при соблюдении безопасности перевозки автотранспортом.

При погрузке трубы на заводе-изготовителе формируются в пакеты. Основание пакета оснащено устройствами для крепления на соответствующем виде транспорта, например, стопорами (фитингами) по аналогии с креплением контейнеров. Крепление труб в пакете может быть выполнено аналогично способу, рассмотренному в работе [5]. Металлические трубы для магистральных трубопроводов поставляются с подготовленными под сварку торцовыми кромками. Для предотвращения их повреждения в устройствах продольного крепления труб пакета могут быть использованы самоустанавливающиеся захваты с вкладышами [6].

При определении способов и выборе устройства крепления смещение груза относительно кузова чаще всего не учитывается, т. е. автомобиль и груз рассматриваются как единое целое. Проанализируем два варианта: жесткого крепления пакета труб на автотранспортном средстве и упругого, связанного с деформацией креплений. В первом случае пакет труб закреплен на платформе автотранспортного средства стопорами с поворотными головками. Тогда при торможении автотранспортное средство совместно с пакетом труб будет совершать движение с ускорением (замедлением)  $a = -\mu g$ . Здесь  $\mu$  – коэффициент трения скольжения колес автомобиля по полотну дороги,  $g$  – ускорение свободного падения. Используется методика моделирования по-

ведения механической системы «автомобиль – трубы», представленная ранее в работах [7, 8].

Рассмотрим вариант упругого крепления, допускающего незначительное смещение пакета труб относительно рамы автомобиля в продольном направлении. Расчетная схема механической системы «автомобиль – пакет труб» при упругом способе продольного крепления пакета труб с применением ковриков противоскольжения представлена на рисунке 2.

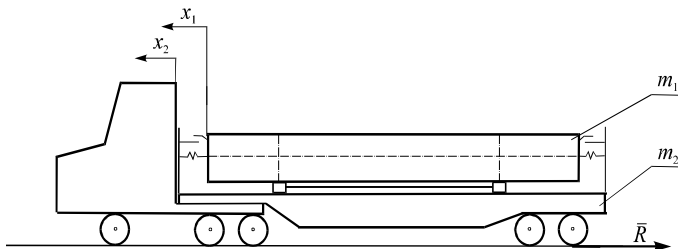


Рисунок 2 – Расчетная схема системы «автомобиль – пакет труб»

Полагаем, что элементы продольного крепления пакета труб располагаются параллельно раме автомобиля. Принимая, что максимальное значение сил кулонова трения достигается при положительной разности между скоростями контактирующих элементов системы, движение рассматриваемой механической системы с двумя степенями свободы описывается системой дифференциальных уравнений [9]:

$$\left. \begin{aligned} m_1 \ddot{x}_1 + T_1 + F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) &= 0; \\ m_2 \ddot{x}_2 - T_1 - F_1 \operatorname{sgn}(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) + R &= 0, \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

где  $m_1, m_2$  – соответственно масса пакета труб и автомобиля;  $\ddot{x}_1, \ddot{x}_2$  – соответственно ускорение пакета труб и автомобиля;  $T_1, F_1$  – соответственно сила в упругих элементах продольного крепления пакета труб и сила трения;  $\dot{x}_1, \dot{x}_2$  – соответственно скорость пакета труб и автомобиля;  $R$  – сила торможения автомобиля.

Сила в упругих элементах продольного крепления пакета труб определяются выражением:

$$T_1 = c_1(x_1 - x_2),$$

где  $c_1$  – коэффициент жесткости крепления;  $x_1, x_2$  – продольные смещения соответственно пакета труб и автомобиля.

Сила сухого трения определяется выражением:

$$F_1 = f_1(m_1g + N),$$

где  $f_1$  – коэффициент трения по коврикам противоскольжения между пакетом труб и рамой автомобиля;  $N$  – сила дополнительного прижатия пакета труб к раме кузова автомобильного транспортного средства посредством поперечной обвязки.

Максимальная сила торможения автомобиля определяется выражением:

$$R = \mu(m_1 + m_2)g.$$

Численное интегрирование системы дифференциальных уравнений (1) проводилось при следующих исходных данных: масса пакета труб  $m_1 = 11400$  кг; масса автомобиля  $m_2 = 11700$  кг; коэффициент трения скольжения колес автомобиля по полотну дороги  $\mu = 0,8$ . Расчеты проводились в среде MathCAD [10].

При выполнении расчетов значение коэффициента жесткости упругих элементов для продольного крепления пакета труб варьировалось в пределах 0,08–2,0 МН/м. Предварительное натяжение упругих элементов продольного крепления и поперечной обвязки считалось пренебрежимо малым. Значение коэффициента трения между пакетом труб и рамой автомобиля варьировалось в пределах 0,1–0,8.

Кинематические и динамические характеристики движения автомобиля и пакета труб при коэффициенте жесткости продольного крепления пакета труб 2,0 МН/м приведены на рисунках 3 и 4.

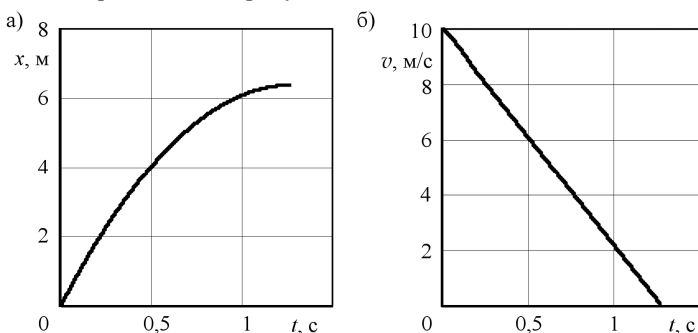


Рисунок 3 – Перемещения (а) и скорости (б) автомобиля в процессе торможения

Выполненные расчеты для скорости движения автомобиля 10 м/с на момент начала торможения показали, что с увеличением коэффициента жесткости упругих элементов продольного крепления смещение пакета труб относительно рамы автомобиля уменьшается, но длина тормозного пути возрастает. Так при коэффициенте трения  $f_1 = 0,6$  и изменении коэффициента жесткости крепления пакета труб с 0,08 до 2,0 МН/м смещение пакета труб относительно автомобиля составляет 0,559–0,022 м, а изменение длины тормозного пути автомобиля находится в пределах 6,095–6,36 м. При отсутствии продольного смещения пакета труб относительно платформы автомобиля, т.е. при рассмотрении автомобиля с пакетом труб как единого тела, тормозной путь автомобиля составляет 6,371 м. Наибольшее значение силы в упругих элементах продольного крепления пакета труб в рассматриваемом случае составляет 44,73–44,84 кН, т. е. практически не меняется.

При упругом креплении пакета труб массой 11,4 т на автотранспортном средстве его смещение в процессе торможения не превышает 22 мм, при этом силы в элементах крепления не превышают 45 кН (см. рисунок 4).

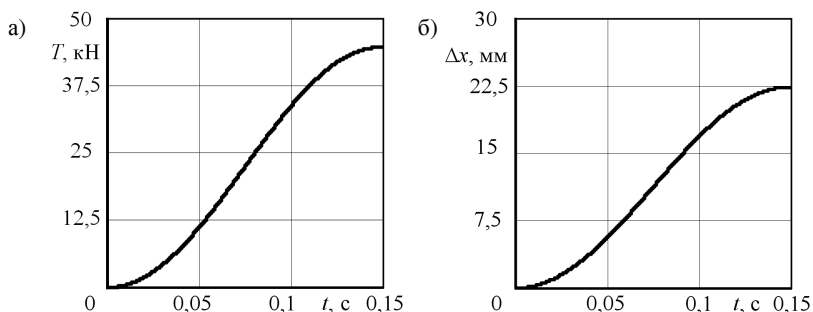


Рисунок 4 – Графики изменения силы (а) и перемещения (б) в процессе торможения при упругом креплении пакета труб

Из представленных графиков (рисунок 5) следует, что при упругом креплении пакета труб на автотранспортном средстве величина ускорения (замедления) пакета труб увеличивается, а автомобиля уменьшается в процессе торможения. В то время как при жестком креплении пакета труб на автотранспортом средстве ускорение постоянно и его величина составляет  $7,8 \text{ м/с}^2$ .

Анализ влияния массы пакета труб на величины ускорений тел системы показал, что при торможении автомобиля величина ускорения пакета труб практически не зависит от его массы, а величина замедления автомобиля уменьшается с увеличением массы.

Полученные результаты показывают, что при перевозке пакета труб в автотранспорте целесообразно использовать его жесткое крепление, например, с помощью фитингов. В этом случае сокращается время на выполнение погрузочно-разгрузочных операций при смене вида транспорта и обеспечивается безопасность транспортировки. Надежное закрепление труб внутри пакета в таком случае позволяет исключить операции крепления и раскрепления отдельных труб при смене вида транспорта.

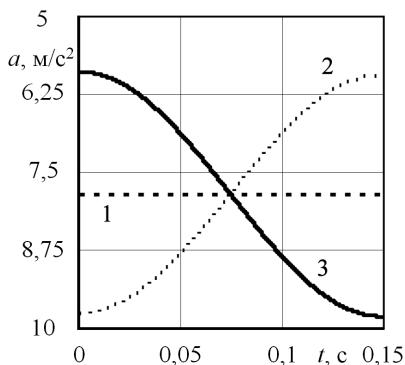


Рисунок 5 – Графики замедления при торможении для жесткого крепления пакета труб (1); автомобиля (2) и пакета труб (3) при упругом креплении

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Технические условия размещения и крепления грузов в вагонах и контейнерах № ЦМ-943: утв. МПС России 27.05.2003. – 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.

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 **Ворожун, И. А.** Моделирование взаимодействия ярусов груза и платформы при торможении поезда / И. А. Ворожун, А. В. Шилевич // Горная механика и машиностроение. – 2018. – № 2. – С. 52–58.

6 **Shimanovsky, A. O.** Finite Element Modeling of the Unit for Fastening Pipes on Railway Flatcars [Computer file] / A. O. Shimanovsky, I. A. Varazhun, A. U. Zavarotny // Proceeding of 8th GRACM International Congress on Computational Mechanics. – Volos: University of Thessaly, 2015. – P. 1–6.

7 **Ворожун, И. А.** Моделирование способов крепления труб на раме автотранспортного средства / И. А. Ворожун // Механика. Исследования и инновации. – 2018. – Вып. 11. – С. 22–30.

8 **Ворожун, И. А.** Определение динамических сил в устройстве для крепления труб на автомобиле транспорте / И. А. Ворожун // Вестник Белорусского государственного университета транспорта: Наука и транспорт. – 2019. – № 1. – С. 12–15.

9 **Воробьев, И. В.** Сравнительный анализ крепления груза на автомобильном транспорте / И. В. Воробьев // Сборник студенческих научных работ / Белорусский государственный университет транспорта. – 2019. – Вып. 24. – С. 33–36.

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

*I. A. VARAZHUN, I. V. VARABYEU*

*Belarusian State University of Transport, Gomel, Belarus*

## COMPARISON OF METHODS FOR FASTENING PIPES OF A LARGE DIAMETER ON A VEHICLE

Two methods of placement and fastening of a pipe package on a vehicle are considered. The method of mathematical modeling is used to investigate the influence of the stiffness coefficient in the longitudinal fastening elastic elements of the pipe bundle at vehicle braking on the value of the dynamic forces. A comparative analysis of the dynamic features of the rigid and elastic fastening of the pipe package on the vehicle frame is given.

Получено 14.09.2019