

## РЕЗИНОВЫЕ АМОРТИЗАТОРЫ МАЛОЙ ЖЕСТКОСТИ ДЛЯ КРЕПЛЕНИЯ ТРУБ

В. Л. ПОЛОНСКИЙ, Е. А. ТАРАСЕНКО, Г. В. ЦВЕТКОВА

*Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого,  
195251, Санкт-Петербург, Россия  
E-mail: office@spbstu.ru*

Рассмотрены резиновые амортизаторы, устанавливаемые в хомуты подвесок труб, проанализированы их жесткостные характеристики. Рассматривается влияние параметров труб на жесткость амортизатора. Основное преимущество стандартного амортизатора — универсальность, возможность использовать для большого диапазона труб. Недостаток его использования состоит в ограничении на жесткость. Стандартный амортизатор сравнивается с амортизатором квазиулевого жесткости, позволяющим обеспечить любые жесткостные характеристики.

**Ключевые слова:** амортизатор, виброизолятор, виброустойчивость, резина, жесткость

Обеспечение виброустойчивости является одной из задач при проектировании трубопроводов. Необходимость погашения вибраций труб накладывает определенные требования на крепления труб. Во многих случаях трубы работают в зарезонансном режиме, т.е. частота собственных колебаний трубы меньше частоты вынужденных колебаний. Для этого частоту собственных колебаний необходимо максимально уменьшить, чтобы увеличить диапазон допустимых частот вынужденных колебаний трубопровода. Основным способом понижения собственной частоты является уменьшение жесткости крепления труб [1—5].

Трубы обычно крепятся подвесками, расстояние между которыми и их форма определяются соответствующими ОСТ. Между металлическим креплением (хомутом) и трубой устанавливается резиновый амортизатор. От его формы и характеристик материала зависят вибрационные характеристики трубопровода [6—10].

Примером используемых амортизаторов может служить виброизоляционный элемент резиновый зубчатый (ЭРЗ) (рис. 1, 1 — упругий элемент ЭРЗ; 2, 3 — полухомуты; 4 — элемент крепления; 5 — хвостовик).

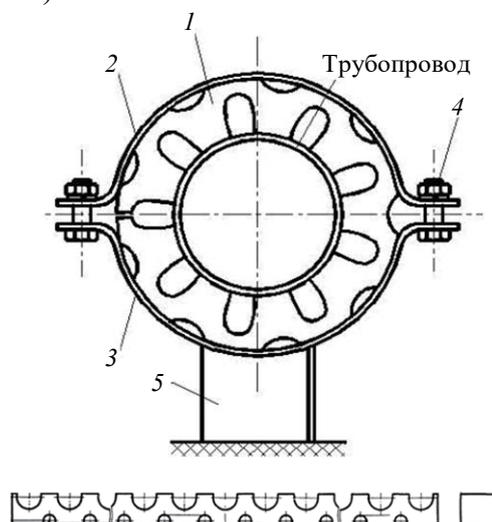


Рис. 1

Резиновый элемент оборачивается вокруг трубы, что позволяет использовать универсальный элемент для труб разного диаметра. Нагрузочная кривая элемента близка к линейной, это означает, что жесткость не изменяется с изменением нагрузки (нагрузкой для горизонтального трубопровода является вес трубы).

Даже для труб одного диаметра нагрузка на амортизатор может различаться, поскольку: (а) выполненные по разным ГОСТ трубы имеют разный вес, (б) допускается разброс массы (обычно до 8 %) труб, изготовленных по одному ГОСТ, (в) труба может быть пустой или наполненной. Эти факторы на жесткость не влияют и почти не изменяют вибрационные характеристики трубопровода, что делает амортизатор универсальным. Изменение массы практически не влияет на частоту собственных колебаний. Собственно резиновый амортизатор постоянной жесткости позволяет обеспечить универсальность и предсказуемость жесткостных характеристик изделия [11—15].

Для труб разного диаметра требуются амортизаторы разной жесткости. Чем толще и тяжелей труба, тем реже устанавливаются подвески и тем больше нагрузка на амортизатор. С увеличением диаметра трубы увеличивается и размер амортизатора, но его жесткость при этом увеличивается недостаточно. Варьировать жесткость амортизатора можно несколькими способами: изменять его форму; использовать резину с разными характеристиками; для широкого диапазона труб использовать амортизатор с жесткостью, рассчитанной по самой тяжелой трубе. В третьем случае вибрационные характеристики трубопровода ухудшаются, особенно для легких труб, но при этом достигается максимальная универсальность.

Применение амортизаторов с постоянной жесткостью имеет свои ограничения по величине прогиба: при большом прогибе возникают большие разрушающие напряжения в резине, кроме того, нагрузочная кривая становится нелинейной, а при большом сжатии резко начинает расти жесткость. Например, при длительной работе резиновых изделий рекомендуется предельная величина поджатия не более 30 %. В этом случае для представленной на рис. 1 резиновой полосы амортизатора высотой 20 мм максимальное сжатие составляет 7 мм. Это и есть ограничение на жесткость амортизатора с линейной нагрузочной кривой.

Для преодоления этого ограничения можно использовать амортизаторы с переменной (квазиулево́й) жесткостью. Идея состоит в том, что при заданной величине нагружения амортизатор имеет жесткость, близкую к нулевой. В качестве примера на рис. 2 представлен один из рассчитанных вариантов формы (использован эффект потери устойчивости при сжатии арочной конструкции) элемента амортизатора, выполненного из резины. Размеры подобраны так, чтобы при заданном диапазоне нагрузок жесткость амортизатора была минимально допустимой.

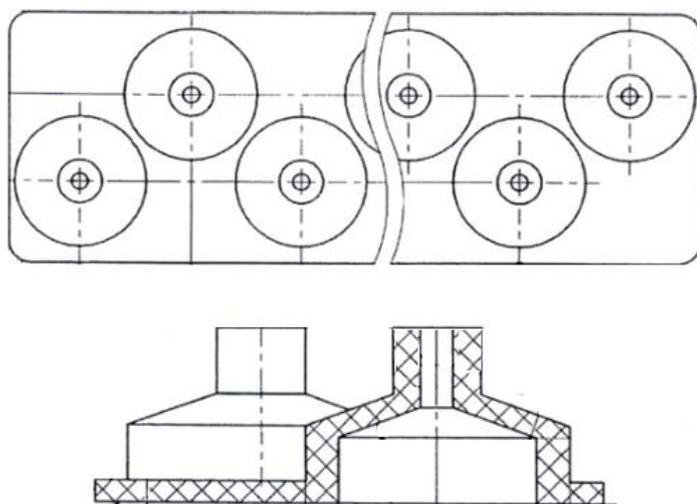


Рис. 2

Основной проблемой данной конструкции является обеспечение малой жесткости на всем заданном диапазоне нагрузок. Чем больше диапазон нагружения и разброс возможного веса трубы, тем труднее обеспечить малую жесткость. Фактически для различных труб необходимо проектировать отдельный амортизатор. Однако основным достоинством таких амортизаторов является отсутствие ограничения по жесткости. Эта конструкция позволяет создавать амортизаторы с собственной частотой около 5 Гц.

Пример кривой нагружения для амортизаторов ЭРЗ с оптимальной жесткостью (рис. 1) и арочного амортизатора (рис. 2) для труб  $D_y = 100$  мм показан на рис. 3 (1 — ЭРЗ, 2 — амортизатор квазиулевого жесткости).

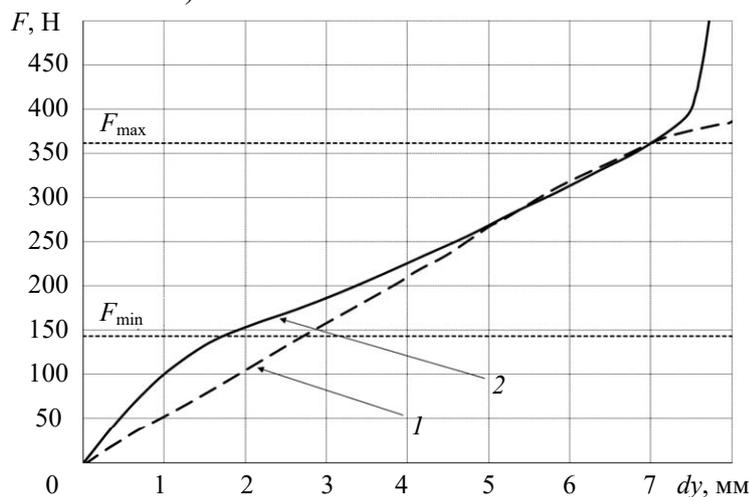


Рис. 3

Жесткость амортизатора ЭРЗ подобрана так (изменялась жесткость резины), чтобы прогиб при максимальном весе был 7 мм. Диапазон возможного изменения нагрузки (веса трубы), действующей на один амортизатор:  $F_{\min}—F_{\max}$ . На участке между этими линиями жесткость амортизатора квазиулевого жесткости (2) либо меньше, либо равна жесткости амортизатора ЭРЗ (1).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соложенцев Е. Д. Сценарное логико-вероятностное управление риском в бизнесе и технике. СПб: Изд. дом „Бизнес-пресса“, 2006. 530 с.
2. Половко А. М., Гуров С. В. Основы теории надежности. СПб: „БХВ-Петербург“, 2006. 704 с.
3. Горелик В. А., Золотова Т. В. Общий подход к моделированию процедур управления риском и его применение к стохастическим и иерархическим системам // Управление большими системами. 2012. Вып. 37. С. 5—24.

## Сведения об авторах

- Владимир Львович Полонский** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа машиностроения;  
E-mail: vladimir.polonsky@outlook.com
- Елена Александровна Тарасенко** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа машиностроения;  
E-mail: taraselen@mail.ru
- Галина Викторовна Цветкова** — канд. техн. наук, доцент; Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Высшая школа машиностроения;  
E-mail: tsvetkova\_gv@mail.ru

Поступила в редакцию  
03.02.2020 г.

Ссылка для цитирования: Полонский В. Л., Тарасенко Е. А., Цветкова Г. В. Резиновые амортизаторы малой жесткости для крепления труб // Изв. вузов. Приборостроение. 2020. Т. 63, № 4. С. 378—381.

## LOW-RIGIDITY RUBBER SHOCK ABSORBERS FOR PIPE MOUNTING

V. L. Polonsky, E. A. Tarasenko, G. V. Tsvetkova

Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University,  
195251, St. Petersburg, Russia  
E-mail: office@spbstu.ru

Rubber shock-absorbers installed in collars of pipe suspenders are considered. Rigidity characteristics of the shock-absorbers are analyzed. Influence of parameters of pipes on rigidity of the shock-absorber is considered. The main advantage of a standard shock absorber is its versatility and the ability to use it for a large range of pipes. The disadvantage of using it is the restriction on stiffness. The standard shock absorber is compared with a quasi-zero stiffness shock absorber, which allows realization of any stiffness characteristics.

**Keywords:** shock-absorber, vibration isolator, vibration resistance, rubber, rigidity

### REFERENCES

1. Babin L.A., Bykov L.I., Volokhov V.Ya. *Tipovyye raschety pri sooruzhenii truboprovodov* (Typical Calculations for the Construction of Pipelines), Moscow, 1979, 176 p. (in Russ.)
2. Vasil'yev A.V. *Modelirovaniye i snizheniye shuma i vibratsii energeticheskikh ustanovok i prisoyedinennykh mekhanicheskikh sistem* (Modeling and Reducing Noise and Vibration of Power Plants and Attached Mechanical Systems), Samara, 2011, 216 p. (in Russ.)
3. Vasil'yev A.V. *Nauka – proizvodstvu*, 2004, no. 8, pp. 68–70. (in Russ.)
4. Vasil'yev A.V. *Snizheniye nizkочастотного zvuka i vibratsii energeticheskikh ustanovok* (Decrease in Low-Frequency Sound and Vibration of Power Plants), Extended abstract of Doctor's thesis, St. Petersburg, 2006, 50 p. (in Russ.)
5. Shakhmatov E.V., Prokof'yev A.B., Mironova T.B. *Vestnik of the Samara State Aerospace University*, 2006, no. 2, pp. 161–164.
6. Alekseyev V.N., Berkovskiy A.M., Vasil'yev P.S. *Vysokovyazkiye dempfery dlya zashchity truboprovodov ot vibratsii* (High Viscosity Dampers to Protect Pipelines from Vibration), Moscow, 2013. (in Russ.)
7. Klyukin I.I. *Bor'ba s shumom i zvukovoy vibratsiyey na sudakh* (Combating Noise and Sound Vibration on Ships), Leningrad, 1961, 356 p. (in Russ.)
8. Nikishov S.Yu., Volkova N.V., Golovanov V.I., Falesa V.Yu. *Voyennoye korablestroyeniye Rossii. VOKOR-2012* (Military shipbuilding of Russia. VOCOR 2012), Proceedings of the Interdisciplinary Scientific-Practical Conference, St. Petersburg, 2012, pp. 65–67. (in Russ.)
9. Patent RU 140226 U1, F16L3/00, *Vibroizoliruyushchaya podveska truboprovoda* (Vibration Isolating Pipe Suspension), N.V. Volkova, V.I. Golovanov, V.G. Ivanov, S.Yu. Nikishov, Published 05.10.2014. (in Russ.)
10. <https://docplayer.ru/35506161-Effektivnye-podveski-dlya-sudovyh-truboprovodov-malyh-diametrov.html>. (in Russ.)
11. Asheychik A.A., Polonsky V.L. *Reshetnevskiyе chteniya*, 2016, no. 20(1), pp. 540–542. (in Russ.)
12. Asheychik A.A., Polonsky V.L. *Aktual'nyye problemy aviatsii i kosmonavtiki*, 2016, no. 12(1), pp. 241–243. (in Russ.)
13. Polonsky V.L., Tyurin A.P. *Khimicheskoye i neftegazovoye mashinostroyeniye*, 2017, no. 4, pp. 44–47. (in Russ.)
14. Polonskiy V.L., Tyurin A.P. *Chemical and Petroleum Engineering*, 2017, pp. 273–278. (in Russ.)
15. Asheychik A.A., Polonsky V.L. *Raschet detaley mashin metodom konechnykh elementov* (Calculation of Machine Parts by the Finite Element Method), St. Petersburg, 2016, 243 p. (in Russ.)

### Data on authors

- Vladimir L. Polonsky** — PhD, Associate Professor; St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Engineering; E-mail: vladimir.polonsky@outlook.com
- Elena A. Tarasenko** — PhD, Associate Professor; St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Engineering; E-mail: taraselen@mail.ru
- Galina V. Tsvetkova** — PhD, Associate Professor; St. Petersburg Polytechnic University, Higher School of Engineering; E-mail: tsvetkova\_gv@mail.ru

**For citation:** Polonsky V. L., Tarasenko E. A., Tsvetkova G. V. Low-rigidity rubber shock absorbers for pipe mounting. *Journal of Instrument Engineering*. 2020. Vol. 63, N 4. P. 378—381 (in Russian).

DOI: 10.17586/0021-3454-2020-63-4-378-381