

О вопросах демпфирующих и амортизирующих свойств материалов и конструкций

06, июнь 2012

DOI: 10.7463/0612.0442023

Марков В. А., Пусев В. И., Селиванов В. В.

УДК 620.178.311.6;62-3;62-756

Россия, МГТУ им. Н.Э. Баумана

mva_2805@mail.ru

sm4-2009@mail.ru

vicse1@list.ru

Введение

В ряде случаев приходится сталкиваться с такими явлениями, когда одно и тоже техническое устройство (или физическое явление) одни ученые называют «демпфером» («демпфированием»), а другие «амортизатором» («амортизированием» или «амортизацией»). Порой подобные недоразумения сами ученые связывают с неоднозначностью и даже каверзностью русского языка, который к указанной ситуации не имеет никакого отношения в связи с проблемой применения отечественными учеными и специалистами иностранных слов.

При рассмотрении в данной работе демпфирующих и амортизирующих свойств материалов и конструкций учитывалось, что демпфер (от немецкого Dämpfer – глушитель) – устройство для уменьшения (демпфирования) или предотвращения вредных механических колебаний звеньев машин и механизмов, поглощающее энергию механических колебаний; а амортизатор (от французского amortir – ослаблять, смягчать) – устройство для смягчения ударов в конструкциях машин и сооружений в целях их защиты от сотрясений и больших нагрузок [1]. Целью исследований являлось определение причин указанных терминологических недоразумений.

1. Демпфирующие и амортизирующие свойства конструкционных металлических материалов и конструкций

Демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов обычно связывают с гистерезисными процессами (рисунок 1 [2]) и если у симметричной петли гистерезиса (рисунок 1 а) срединная линия прямая, то дефект модуля упругости у такого материала равен нулю. Если срединная линия петли гистерезиса имеет изгиб (рисунок 1 б), то дефект модуля будет отличен от нуля. Демпфирующая способность может определяться соотношением, включающим площадь петли гистерезиса, а демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов определяются упругими постоянными и могут проявляться при напряжениях, которые намного меньше предела текучести металла [2].

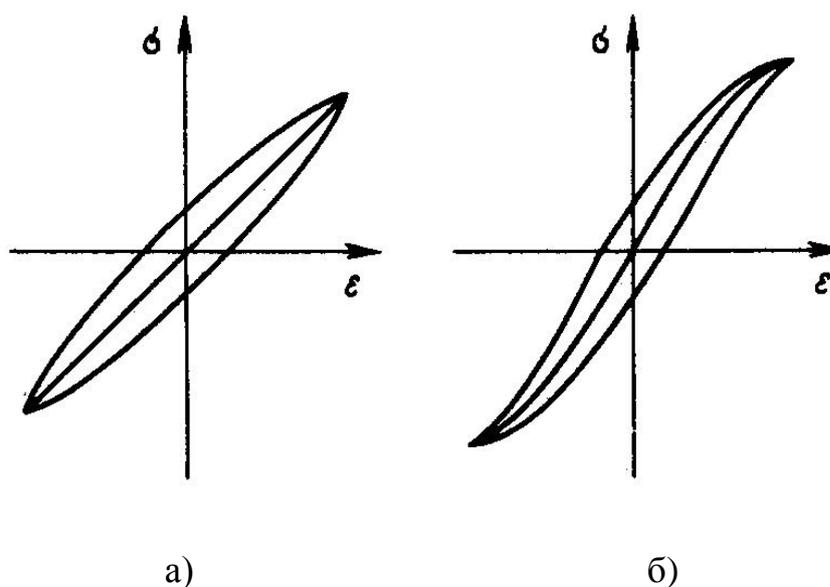


Рисунок 1 - Форма петли гистерезиса у материала с нулевым (а)) и конечным (б)) значениями дефекта модуля упругости

Амортизирующие свойства пористых металлов и сотовых конструкций проявляются при больших пластических деформациях и уплотнении, а напряжение при этом меньше предела текучести сплошного (компактного) металла [3-5]. Идеализированная диаграмма деформирования (рисунок 2 [3-5], где σ^* - эффективный предел текучести пористого металла, ϵ_1, ϵ_2 - деформации на границе

соответственно упругой и уплотнительно-пластической областей и уплотнительно-пластической и пластической областей) высокопористых металлов содержит три основные области: упругую (I); уплотнительно-пластическую (II) и пластическую (III). Площадь под диаграммой деформирования определяет удельную энергию поглощения удара [4, 5]

$$A = \int_0^{\varepsilon_{\max}} \sigma d\varepsilon. \quad (1)$$

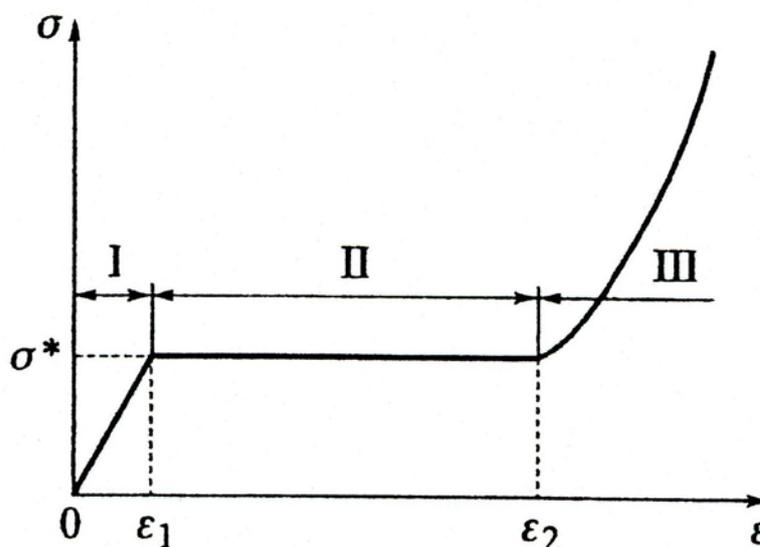


Рисунок 2 - Идеализированная диаграмма деформирования высокопористых металлов

Эффективная энергия поглощения удара определяется как отношение удельной энергии поглощения удара реального амортизатора к удельной энергии поглощения удара идеального амортизатора и всегда меньше единицы [3-5]:

$$E_{II} = \left(\int_0^{\varepsilon_{\max}} \sigma d\varepsilon \right) / (\sigma_{\max} \cdot \varepsilon_{\max}). \quad (2)$$

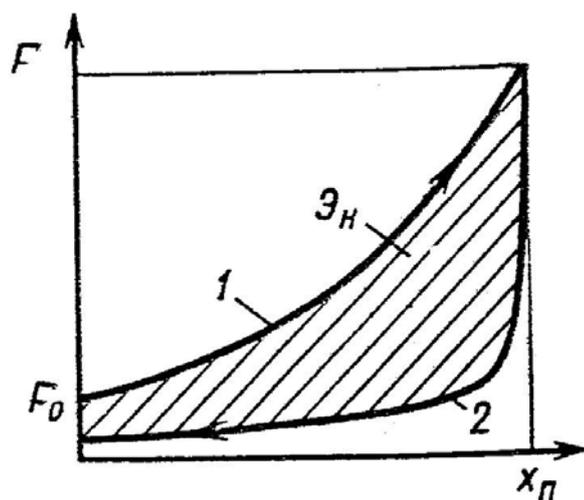
Следует отметить, что особенности диаграммы деформирования высокопористых металлов (рисунок 2), а именно область II, ограничивающая амплитуду нагрузки, передаваемой на защищаемую конструкцию, объясняют широкое применение таких материалов в качестве амортизаторов однократного (одноразового) действия в различных транспортных средствах, в том числе в космических аппаратах [6, 7]. Теория многократных (многоразовых) амортизаторов удара наиболее детально разработана для подвижного состава железнодорожного транспорта [8].

Силовой характеристикой амортизатора удара обычно называют зависимость $F(x)$ между силой сжатия амортизатора и его ходом x . Обычно силовая характеристика определяется двумя зависимостями (рисунок 3) – этап нагрузки определяется зависимостью $F_H(x)$, а этап разгрузки зависимостью $F_P(x)$ [8]. Площадь, ограниченная кривой $F_H(x)$, определяет энергию удара \mathcal{E} , воспринятую амортизатором [8]

$$\mathcal{E} = \int_0^{x_{\max}} F_H(x) dx, \quad (3)$$

а площадь, ограниченная кривой $F_P(x)$, соответствует энергии \mathcal{E}_B , возвращаемой амортизатором внешней системе:

$$\mathcal{E}_B = \int_0^{x_{\max}} F_P(x) dx.$$



1 - $F_H(x)$; 2 - $F_P(x)$

Рисунок 3 - Силовая характеристика амортизатора удара

Разность величин \mathcal{E} и \mathcal{E}_B определяет необратимо поглощенную амортизатором энергию \mathcal{E}_H . Однако, энергоемкость амортизатора и максимальная сила удара определяются зависимостью $F_H(x)$, поэтому при оптимальном проектировании амортизаторов основное внимание уделяют рассмотрению именно этой зависимости (3) [8]. Следует отметить, что структура зависимости (3) для определения энергии удара, воспринятой амортизатором удара, аналогична структуре уравнения (1) для определения удельной энергии поглощения удара.

Тогда при рассмотрении упрощенной задачи наилучшим считается такой амортизатор, который воспринимает наибольшую энергию удара при минимальном значении силы. В этом случае оптимальной силовой характеристикой является такая, при которой для любого удара (при различных начальных скоростях v_0) сжатие амортизатора равно его полному ходу, а сила сжатия $F = const$ (рисунок 4 а). Такой амортизатор как бы приспособливается к условиям удара, а максимальная сила удара меньше, чем при любой другой форме кривой силовой характеристики. Такую силовую характеристику называют идеальной [8]. Сопоставляя реальную силовую характеристику амортизатора с идеальной, можно судить о его преимуществах, которые в [8] оцениваются коэффициентом полноты силовой характеристики Π ,

который, подобно эффективной энергии поглощения удара (2), всегда меньше единицы:

$$\Pi = \left(\int_0^{x_{\max}} F_H dx \right) / (F_{\max} \cdot x_{\max}). \quad (4)$$

Можно отметить, что структура выражения для коэффициента полноты силовой характеристики (4) аналогична структуре выражения для эффективной энергии поглощения удара (2).

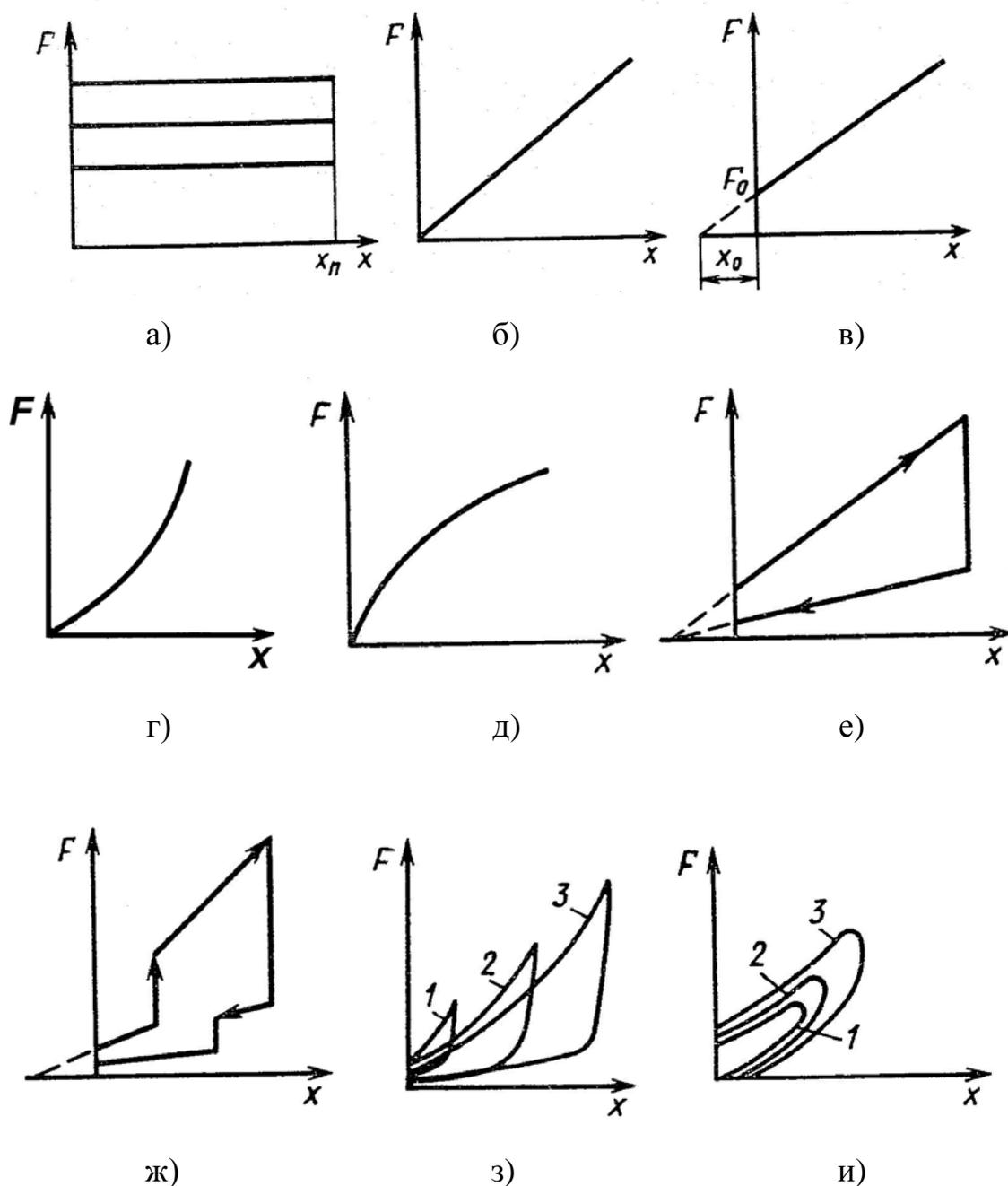


Рисунок 4 - Силовые характеристики амортизаторов [8]

Линейную характеристику (рисунок 4 б) имеет амортизатор с постоянной жесткостью без начальной затяжки; очевидно, что в этом случае $\Pi = 0,5$. На рисунке 4 в приведена силовая характеристика амортизатора того же типа, но с начальной затяжкой (F_0 и x_0 – соответственно сила и ход начальной затяжки). Силовые характеристики на рисунках 4 б, 4 в типичны для обычной цилиндрической пружины. У силовых характеристик на рисунках 4 г, 4 д жесткость с увеличением перемещения соответственно увеличивается и уменьшается. Такие нелинейные силовые характеристики амортизатора называют «жесткой» (рисунок 4 г) и «мягкой» (рисунок 4 д). На рисунках 4 е, 4 ж представлены соответственно линейная и кусочно-линейная силовые характеристики с различными жесткостями на этапах нагрузки и разгрузки. Такие силовые характеристики соответствуют рессорам и некоторым типам пружинно-фрикционных амортизаторов. Для большинства фрикционных, резиновых и гидроамортизаторов однозначная связь силы и перемещения отсутствует, а силовая характеристика амортизатора задается семейством кривых, каждая из которых соответствует определенной начальной скорости удара. Силовая характеристика на рисунке 4 з соответствует фрикционным амортизаторам, а на рисунке 4 и – резиновым амортизаторам. В качестве примера на рисунке 5 приведены силовые характеристики фрикционного поглощающего аппарата ПМКП-110 для различных начальных скоростей удара (1 – 1,26 м/с; 2 – 1,62 м/с; 3 – 2,05 м/с) [9].

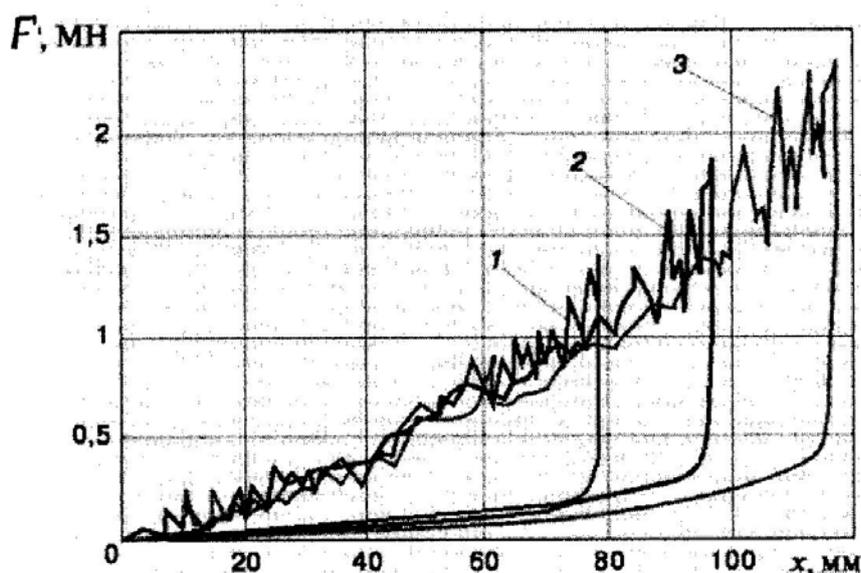


Рисунок 5 - Силовые характеристики фрикционного поглощающего аппарата ПМКП-110

Из сравнения типичных силовых характеристик амортизаторов (рисунок 4) и идеализированной диаграммы деформирования высокопористых металлов (рисунок 2) очевидно, что упругая область диаграммы I соответствует амортизатору с линейной силовой характеристикой (рисунок 4 б), уплотнительно-пластическая область II соответствует идеальному амортизатору (рисунок 4 а), а пластическая область III – амортизатору с «жесткой» силовой характеристикой (рисунок 4 г) [10, 11].

Следует отметить, что аналогичные подходы к рассмотрению и расчету амортизаторов применяются в авиаракетной технике [12-14], кораблестроении [15], приборостроении [16-18] и в области автоматического оружия [19].

2. Терминологические особенности в автомобилестроении и в области взрывного и ударного нагружения

Однако приведенный выше немецко-французский вариант демпфера и амортизатора входит в противоречие с классификацией амортизаторов (рисунок 6), принятой в автомобилестроении [20]. Это противоречие объясняется в работе [20] тем, что «амортизация» в переводе с латинского означает «погашение» и применяется в автомобилестроении в значении «гашение колебаний», т.е. уменьшение размахов колебаний. Тогда автомобильный амортизатор по сути соответствует немецкому демпферу [1, 21], что может приводить к недоразумениям. Кроме того, аналогичная [20] терминология используется во многих публикациях, связанных с взрывным и ударным нагружением [22-26].

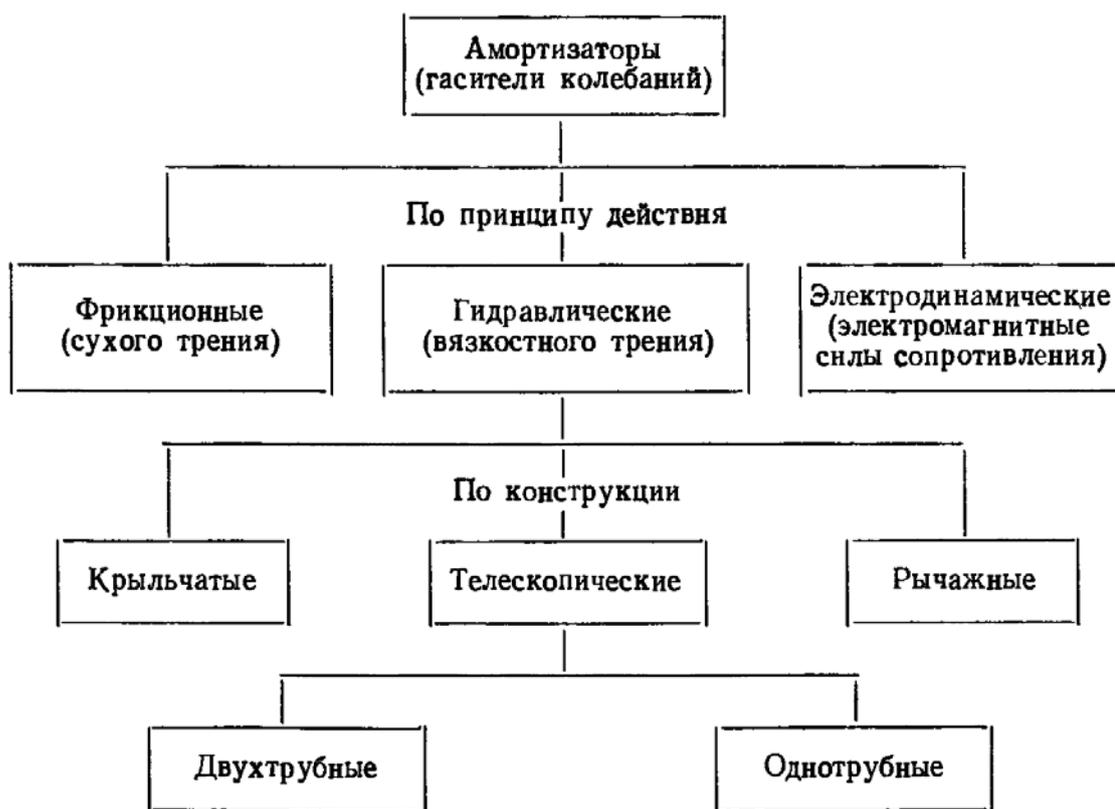


Рисунок 6 - Классификация амортизаторов, принятая в автомобилестроении

Заключение

Учет приведенных особенностей, связанных с применением иностранных слов в отечественной научно-технической литературе, позволит избежать недоразумений.

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке РФФИ (проект № 11-08-01222а).

Литература

1. Машиностроение: терминологический словарь / под общ. ред. М.К. Ускова, Э.Ф. Богданова. М.: Машиностроение, 1996. 592 с.
2. Головин С.А., Пушкар А., Левин Д.М. Упругие и демпфирующие свойства конструкционных металлических материалов. М.: Металлургия, 1987. 190 с.
3. Thornton P.H., Magee C.L. The deformation of aluminium foams // Met. Trans. A. 1975. Vol. 6A. N 6. P.1253-1263.

4. Wei P., Liu L. Influence of density on compressive properties and energy absorption of foamed aluminium alloy // J. of Wuhan Univ. of Techn. Mater. Sci. 2007. Vol. 22. N 2. P. 225-228.
5. Марков В.А., Овчинников А.Ф., Пусев В.И., Селиванов В.В. Об основных особенностях механических и амортизирующих свойств высокопористых алюминиевых сплавов // Материалы XVI Международного симпозиума «Динамические и технологические проблемы механики конструкций и сплошных сред» имени А.Г.Горшкова. Ярополец, 15-19 февраля 2010 г. Т.2. Чебоксары: ГУП "ИПК "Чувашия". 2010. С. 218-225.
6. Космонавтика: энциклопедия / гл. редактор В.П. Глушко. М.: Сов. Энциклопедия, 1985. 528 с.
7. Петров Ю.А., Макаров В.П., Колобов А.Ю., Алешин В.Ф. Посадочные устройства космических аппаратов (КА) на основе пенопластов и сотоблоков // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2010. № 4. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/141542.html> (дата обращения 08.02.2012).
8. Никольский Л.Н., Кеглин Б.Г. Амортизаторы удара подвижного состава. М.: Машиностроение, 1986. 144 с.
9. Болдырев А.П., Кеглин Б.Г., Иванов А.В. Разработка и исследование фрикционно-полимерного поглощающего аппарата ПМКП-110 класса Т1 // Вестник ВНИИЖТ. 2005. № 4. Режим доступа: http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2005-4/v4-10_1.htm (дата обращения 08.02.2012).
10. Механические и амортизирующие свойства высокопористого ячеистого алюминия / А.П. Гусаров, А.В. Жариков, В.А. Марков, А.Ф. Овчинников, В.И. Пусев, В.В. Селиванов, А.Н. Сообщилов // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Машиностроение. 2009. №1 (74). С. 58-66.
11. Селиванов В.В. О механических свойствах высокопористых алюминиевых сплавов // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2011. № 4. Ч. 4. С. 1760-1762.
12. Кан С.Н., Свердлов И.А. Расчет самолета на прочность. Изд. 5-е, перераб. и доп. М.: Машиностроение, 1966. 519 с.
13. Колесников К.С. Динамика ракет. М.: Машиностроение, 1980. 376 с.
14. Горшков А.Г., Морозов В.И., Пономарев А.Г., Шклярчук Ф.Н. Аэрогидроупругость конструкций. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2000. 592 с.
15. Амортизаторы корабельные АКСС-М. Технические условия : ГОСТ 17053.1-80. Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/30/30694.shtml> (дата обращения 08.02.2012).
16. Суровцев Ю.А. Амортизация радиоэлектронной аппаратуры. М.: Сов. Радио, 1974. 176 с.

17. Амортизаторы резинометаллические приборные. Технические условия : ГОСТ 11679.1-76.
Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/16/16144.shtml> (дата обращения 08.02.2012).
18. Амортизаторы бортового оборудования летательных аппаратов. Типы, основные параметры, размеры и технические требования : ГОСТ 21467-81. Режим доступа: <http://vsegost.com/Catalog/22/22742.shtml> (дата обращения 08.02.2012).
19. Алферов В.В. Конструкция и расчет автоматического оружия. М.: Машиностроение, 1977. 248 с.
20. Дербаремдикер А.Д. Гидравлические амортизаторы автомобилей. М.: Машиностроение, 1969. 236 с.
21. Сергеев С.И. Демпфирование механических колебаний. М.: Госфизматлит, 1959. 408 с.
22. Гельфанд Б.Е., Губанов А.Б., Тимофеев В.И. Взаимодействие воздушных ударных волн с пористым экраном // Изв. АН СССР. Механика жидкости и газа. 1983. №4. С. 54-59.
23. Гельфанд Б.Е., Сильников М.В. Барометрическое действие взрывов. СПб.: Астерион, 2006. 658 с.
24. Компьютерное моделирование поведения системы демпфирования защитного контейнера при его падениях / А.Л. Рябов, В.И. Романов, Г.И. Сотсков, С.Г. Скурихин, А.И. Барченков, А.И. Моренко // Вестник Нижегородского университета им. Н.И. Лобачевского. 2000. № 2. С. 98-102.
25. Могилев В.А., Новиков С.А., Файков Ю.И. Техника взрывного эксперимента для исследований механической стойкости конструкций. Саров: ФГУП «РФЯЦ-ВНИИЭФ». 2007. 215 с.
26. Даниленко В.В. Взрыв: физика, техника, технология. М.: Энергоатомиздат. 2010. 784 с.

Issues of damping and absorbing properties of materials and structures

06, June 2012

DOI: [10.7463/0612.0442023](https://doi.org/10.7463/0612.0442023)

Markov V.A., Pusev V.A., Selivanov V.V.

Russia, Bauman Moscow State Technical University

mva_2805@mail.ru

sm4-2009@mail.ru

vicse@list.ru

As a rule, damping and absorbing properties of materials and structures are determined, basing on the German-French version of terminology. Absorbing properties of porous materials and honeycomb structures can be quantified by energy density shock absorption and energy efficient impact absorption based on the diagram of deformation of porous materials and honeycomb structures. These estimates of single (one-time) shock absorbers are similar to the impact energy received by the absorber, and to efficient energy shock absorption used in the evaluation of multiple shock absorbers. However, in the automobile industry damper is called shock absorber (using the Latin version of the word "depreciation"), and in the field of explosive and impact loading of structures shock absorber is called damper. Taking into account this fact will allow to avoid confusion in the domestic scientific and technical literature.

Publications with keywords:[damping](#), [shock absorbtion](#), [porous materials](#), [honeycomb structures](#), [shock absorbing energy](#)

Publications with words:[damping](#), [shock absorbtion](#), [porous materials](#), [honeycomb structures](#), [shock absorbing energy](#)

References

1. Uskov M.K., Bogdanov E.F. *Mashinostroenie: terminologicheskii slovar'* [Mechanical Engineering: glossary of terms]. Moscow, Mashinostroenie, 1996. 592 p.
2. Golovin S.A., Pushkar A., Levin D.M. *Uprugie i dempfiruiushchie svoistva konstruktsionnykh metallicheskih materialov* [Elastic and damping properties of structural metallic materials]. Moscow, Metallurgiya, 1987. 190 p.
3. Thornton P.H., Magee C.L. The deformation of aluminium foams. *Met. Trans. A*, 1975, vol. 6A, no. 6, pp. 1253-1263.
4. Wei P., Liu L. Influence of density on compressive properties and energy absorption of foamed aluminium alloy. *J. of Wuhan Univ. of Techn. Mater. Sci.*, 2007, vol. 22, no. 2, pp. 225-228.

5. Markov V.A., Ovchinnikov A.F., Pusev V.I., Selivanov V.V. Ob osnovnykh osobennostiakh mekhanicheskikh i amortiziruiushchikh svoystv vysokoporistykh aliuminievykh splavov [The main features of mechanical and damping properties of highly porous aluminum alloys]. *Materialy 16 Mezhdunarodnogo simpoziuma «Dinamicheskie i tekhnologicheskie problemy mekhaniki konstruksii i sploshnykh sred» imeni A.G. Gorshkova* [Proc. of 16 International Symposium "Dynamic and technological problems of mechanics of constructions and continuous media" them. A.G. Gorshkov]. Iaropolets, 15-19 February 2010. Cheboksary, GUP "IPK "Chuvashia" Publ., 2010, vol. 2, pp. 218-225.
6. Glushko V.P., Ed. *Kosmonavtika: entsiklopediia* [Space: An Encyclopedia]. Moscow, Sov. Entsiklopediia, 1985. 528 p.
7. Petrov Iu.A., Makarov V.P., Kolobov A.Iu., Aleshin V.F. Posadochnye ustroystva kosmicheskikh apparatov (KA) na osnove penoplastov i sotoblokov [Spacecrafts Landing Devices on the Basis of Polyfoams and Cellular Designs]. *Nauka i obrazovanie MGTU im. N.E. Baumana* [Science and Education of the Bauman MSTU], 2010, no. 4. Available at: <http://technomag.edu.ru/doc/141542.html> , accessed 08.02.2012.
8. Nikol'skii L.N., Keglina B.G. *Amortizatory udara podvizhnogo sostava* [Shock absorbers of the rolling stock]. Moscow, Mashinostroenie, 1986. 144 p.
9. Boldyrev A.P., Keglina B.G., Ivanov A.V. Razrabotka i issledovanie friktsionno-polimernogo pogloshchaiushchego apparata PMKP-110 klassa T1 [Development and researches of frictional polymer draft gear PMKP-110 of T1 class]. *Vestnik VNIIZhT* [Bulletin of the VNIIZhT], 2005, no. 4. Available at: http://www.css-rzd.ru/vestnik-vniizht/v2005-4/v4-10_1.htm , accessed 16.08.2012.
10. Gusarov A.P., Zharikov A.V., Markov V.A., Ovchinnikov A.F., Pusev V.I., Selivanov V.V., Soobshchikov A.N. Mekhanicheskie i amortiziruiushchie svoystva vysokoporistogo iacheistogo aliuminiia [Mechanical and Shock-Absorbing Properties of Highly-Porous Cellular Aluminum]. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie* [Herald of the Bauman MSTU. Ser. Mechanical Engineering], 2009, no. 1, pp. 58-66.
11. Selivanov V.V. O mekhanicheskikh svoystvakh vysokoporistykh aliuminievykh splavov [On the mechanical properties of highly porous aluminum alloys]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod], 2011, no. 4, pt. 4, pp. 1760-1762.
12. Kan S.N., Sverdlov I.A. *Raschet samoleta na prochnost'* [The calculation of the aircraft on the strength]. Moscow, Mashinostroenie, 1966. 519 p.
13. Kolesnikov K.S. *Dinamika raket* [Dynamics of missiles]. Moscow, Mashinostroenie, 1980. 376 p.
14. Gorshkov A.G., Morozov V.I., Ponomarev A.G., Shkliarchuk F.N. *Aerogidrouprugost' konstruksii* [Aerohydroelasticity constructions]. Moscow, FIZMATLIT, 2000. 592 p.
15. *GOST 17053.1-80. Amortizatory korabel'nye AKSS-M. Tekhnicheskie usloviia* [State Standard 17053.1-80. Ship shock-absorbers AKCC-M. Specifications]. Available at: <http://vsegost.com/Catalog/30/30694.shtml> , accessed 08.02.2012.
16. Surovtsev Iu.A. *Amortizatsiia radioelektronnoi apparatury* [Amortization of radio-electronic equipment]. Moscow, Sovetskoe Radio, 1974. 176 p.

17. *GOST 11679.1-76. Amortizatory rezinometallicheskie pribornye. Tekhnicheskie usloviia*. [State Standard 11679.1-76. Rubber-metal shock-absorbers for instruments. Specifications]. Available at: <http://vsegost.com/Catalog/16/16144.shtml> , accessed 08.02.2012.
18. *GOST 21467-81. Amortizatory bortovogo oborudovaniia letatel'nykh apparatov. Tipy, osnovnye parametry, razmery i tekhnicheskie trebovaniia* [State Standard 21467-81. Vehicle airborne equipment shock absorbers. Types, main characteristics, dimensions and technical requirements]. Available at: <http://vsegost.com/Catalog/22/22742.shtml> , accessed 08.02.2012.
19. Alferov V.V. *Konstruktsiia i raschet avtomaticheskogo oruzhiia* [Design and calculation of automatic weapons]. Moscow, Mashinostroenie, 1977. 248 p.
20. Derbaremdiker A.D. *Gidravlicheskie amortizatory avtomobilei* [Hydraulic shock absorbers cars]. Moscow, Mashinostroenie, 1969. 236 p.
21. Sergeev S.I. *Dempfirovaniie mekhanicheskikh kolebaniy* [Damping of mechanical vibrations]. Moscow, Gosfizmatlit, 1959. 408 p.
22. Gel'fand B.E., Gubanov A.B., Timofeev V.I. *Vzaimodeistvie vozdushnykh udarnykh voln s poristym ekranom. Izv. AN SSSR. Mekhanika zhidkosti i gaza* [Bulletin of Academy of Sciences of the USSR. Mechanics of Fluid and Gas], 1983, no. 4, pp. 54-59.
23. Gel'fand B.E., Sil'nikov M.V. *Barometricheskoe deistvie vzryvov* [The barometric effect of explosions]. St. Petersburg, Asterion, 2006. 658 p.
24. Riabov A.L., Romanov V.I., Sotskov G.I., Skurikhin S.G., Barchenkov A.I., Morenko A.I. *Komp'yuternoe modelirovaniie povedeniia sistemy dempfirovaniia zashchitnogo konteynera pri ego padeniiax* [Computer simulation of the behaviour of the system of damping of the protective container when it falls]. *Vestnik Nizhegorodskogo universiteta im. N.I. Lobachevskogo* [Vestnik of Lobachevsky State University of Nizhni Novgorod], 2000, no. 2, pp. 98-102.
25. Mogilev V.A., Novikov S.A., Faikov Iu.I. *Tekhnika vzryvnogo eksperimenta dlia issledovaniia mekhanicheskoi stoikosti konstruktsii* [Technique of explosive experiment to study the mechanical stability of constructions]. Sarov, FGUP «RFIaTs-VNIIEF» Publ., 2007. 215 p.
26. Danilenko V.V. *Vzryv: fizika, tekhnika, tekhnologiya* [Explosion: physics, engineering, technology]. Moscow, Energoatomizdat, 2010. 784 p.