

**РЕЖИМЫ РАБОТЫ ДВУХОБЪЕМНОГО ПНЕВМОАМОРТИЗАТОРА
С ПОВЫШЕННЫМ ДЕМПФИРОВАНИЕМ**

Проведен анализ процессов, обуславливающих диссипацию энергии в двухобъемных пневмоамортизаторах полуактивного типа. Показано, что путем управления процессами перетекания газа между объемами двухкамерного ПА можно существенно улучшить его демпфирующие свойства по сравнению с пассивными ПА. Приведены предельные значения коэффициента поглощения энергии колебаний (до 0,75...0,85) при различных режимах коммутации электроклапана пневмоамортизатора.

Ключевые слова: кратковременная коммутация объемов, режим работы пневмоамортизатора, демпфирование колебаний.

Использование пневматических амортизаторов (ПА) с резинокордными оболочками (РКО) в качестве упруго-демпфирующих элементов систем амортизации амортизируемых объектов (АО), в том числе стартовых ракетных комплексов, стимулировало создание нового способа демпфирования колебаний, за счет введения управления упругодемпфирующими характеристиками ПА. Применение пассивных ПА однокамерного типа обеспечивает коэффициент поглощения энергии колебаний порядка $\eta_w = 0,1...0,15$ в зависимости от типа ПА и РКО, использование пассивных ПА многокамерного типа с дросселированием обеспечивает коэффициент поглощения энергии колебаний порядка $\eta_w = 0,4...0,6$, что является недостаточным для амортизируемых крупногабаритных объектов [1].

Анализ демпфирования колебаний в ПА с позиции термодинамики необратимых процессов показывает, что каждый объем ПА может рассматриваться как открытая система с точки зрения обмена массой и внутренней энергией с другим объемом. Такой обмен, в случае применения дроссельных устройств, происходит непрерывно, а в случае применения клапанных устройств – только в определенные промежутки времени периода колебаний АО. Для таких систем теплота dQ , подведенная к газу любого объема ПА из внешней среды, может быть определена следующим образом:

$$dQ = dU - dL - Idm, \tag{1}$$

где U – общая внутренняя энергия объема ПА; $L = PdV$ – обратимая работа деформации рабочего объема ПА; I – удельная энтальпия газа в объеме ПА; dm – бесконечно малое увеличение массы газа в объеме ПА.

При любом изменении термодинамического состояния газа в объемах ПА энтропию газа можно разделить на две части:

$$dS = dS_1 + dS_2, \tag{2}$$

где dS_1 – изменение энтропии газа в объемах ПА вследствие массообмена между объемами ПА и теплообмена с окружающей средой; dS_2 – приращение энтропии за счет процессов перетекания и смешивания газов в объемах ПА.

Последнее уравнение можно переписать в виде баланса энтропии:

$$dS/dt = dS_1/dt + dS_2/dt, \tag{3}$$

где dS_1/dt – поток энтропии; dS_2/dt – производство энтропии.

Используя для каждого объема ПА обобщенное уравнение Гиббса

$$TdS = dU + PdV - jdm, \tag{4}$$

где j – термодинамический потенциал газа, после преобразования можно получить выражение для производства энтропии:

$$dS_2/dt = [(dQ_1/dt + jdm/dt) (1/T_p - 1/T_d) - dm/dt (j_p/T_p - j_d/T_d)], \tag{5}$$

где dQ_1 – тепловой поток между объемами ПА; T_p , T_d – абсолютные температуры газов в рабочем и дополнительном объемах ПА.

Согласно уравнению (5), для производства энтропии в объемах ПА за счет необратимых внутренних процессов перетекания и смешивания газов, необходимо создать наибольшую разность отношений термодинамических потенциалов к абсолютным температурам. Таким образом, улучшение демпфирующих свойств ПА можно достичь соединением объемов ПА в моменты времени, соответствующие наибольшей разности термодинамических потенциалов газов, отнесенных к их абсолютным температурам.

Сформулированным требованиям наиболее полно удовлетворяет ПА с электроклапаном, установленным в перегородке между рабочим и дополнительным объемами [2–5]. Данные ПА относятся к устройствам пассивного типа с управляемыми параметрами полуактивного типа. Рассмотрим физические процессы, обуславливающие диссипацию энергии в ПА с РКО полуактивного типа с управлением процессами перетекания газа между объемами ПА с коммутацией электроклапана только на ходе отбоя за один период свободных колебаний АО (рис. 1, кривая 1). Управление работой электроклапана ПА осуществляется системой управления, содержащей преобразователь линейных перемещений [6]. Схемы ПА (рис. 2 и 3) показаны при статическом положении и в крайних положениях первого периода колебаний АО, имеющих наибольшие амплитуды колебаний (ниже даны термодинамические параметры газа при каждом положе-

нии АО за первый период колебаний АО при экспериментальных исследованиях варианта ПА с $\beta = 1,5$ и АО с массой $m = 150$ кг). Экспериментальные исследования проводились на специально разработанном стенде [7], исследовался ПА на базе РКО И-10.

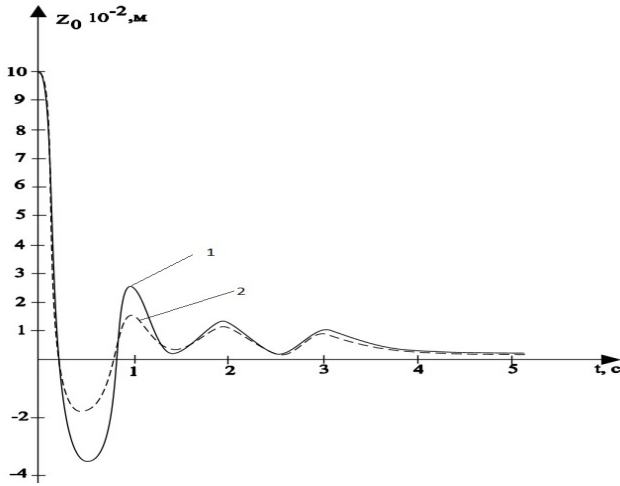


Рис. 1. Кривые свободных колебаний:

1 – режим коммутации электроклапана на ходе отбоя, 2 – режим коммутации электроклапана на ходах сжатия и отбоя

Коэффициент $\beta^* = \frac{V_d}{V_{p0}}$ равен отношению объемов

ПА при статическом положении АО: постоянного объема дополнительного пневмоэлемента V_d и переменного объема рабочего пневмоэлемента V_{p0} .

Значение температуры газа $T_1 = T_0$ (рис. 2, положение 1). При движении АО вниз объемы ПА сообщены, при этом рабочий объем уменьшается. Состояние термодинамической системы изменяется (рис. 2, положение 2), при этом повышаются давление в объемах ПА до значения P_2 и температура – до значения T_2 . Подведенная работа равна площади под кривой 1–2 на рабочей диаграмме (рис. 4). Величина работы сжатия определяется из следующего выражения [8]:

$$L_{сж} = RM(T_2 - T_1)/(k - 1). \quad (6)$$

АО останавливается (рис. 2, положение 2), и за счет накопленной энергии сжатого газа ПУЭ начинается ход отбоя, при этом дополнительный объем закрывается, и часть массы газа изолируется (рис. 2, положение 2'). При движении АО до положения 3 (рис. 2) работу над АО совершает сжатый газ, при этом рабочий объем увеличивается, давление газа в нем падает до значения P_3 , что приводит к уменьшению температуры до значения T_3 . Подведенная к АО работа равна площади под кривой 2–3 на рабочей диаграмме (рис. 5). Величина работы расширения определяется по следующему выражению [8]:

$$L_{расш} = Rm_3^*(T_2' - T_3)/(k - 1). \quad (7)$$

В начале следующего хода сжатия (рис. 2, положение 3') объемы ПА снова сообщаются, происходит перемешивание газа с различными параметрами, что ведет к росту давления до значения P_3' и температуры до значения T_3' , увеличению упругой силы, направ-

ленной против движения АО. Следующий ход сжатия за счет этого снижается (рис. 1, кривая 1).

Диссипация энергии за первый период колебаний АО будет равна разности работ сжатия $L_{сж1}$ и расширения $L_{расш1}$:

$$\Delta W_1 = L_{сж1} - L_{расш1}. \quad (8)$$

Полная энергия диссипации за все время работы ПА в режиме затухающих колебаний равна сумме потерь энергии всех колебаний и потерь энергии в РКО:

$$\Delta W_{\Sigma} = \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_{рк}. \quad (9)$$

Потери энергии в РКО за время свободных колебаний определялись по методике [9] и равны в нашем случае $\Delta W_{рк} = 20$ Дж. Значение работ сжатия и расширения, потери энергии на первом периоде колебаний составляют

$$\begin{aligned} L_{сж1} &= RM(T_2 - T_1)/(k - 1) = \\ &= 287 \cdot 0,088(295,5 - 293)/0,41 = 154 \text{ Дж}; \\ L_{расш1} &= Rm_3^*(T_2' - T_3)/(k - 1) = \\ &= 287 \cdot 0,025(295,5 - 293)/0,41 = 44 \text{ Дж}; \\ \Delta W_1 &= L_{сж1} - L_{расш1} = 154 - 44 = 110 \text{ Дж}. \end{aligned}$$

Значение этих параметров других периодов колебаний (2-м и 3-м) определялись аналогично. Полная энергия диссипации за все время работы ПА в режиме затухающих колебаний:

$$\begin{aligned} \Delta W_{\Sigma} &= \Delta W_1 + \Delta W_2 + \Delta W_3 + \Delta W_{рк} = \\ &= 110 + 7,2 + 3,25 + 20 = 140,45 \text{ Дж}. \end{aligned} \quad (10)$$

Рассчитаем изменения потенциальной энергии АО за время работы ПА:

$$\begin{aligned} \Delta W_n &= Mg(Z_1 - Z_{ост}) = \\ &= 150 \cdot 9,81 \cdot (0,1 - 0,004) = 141,3 \text{ Дж}. \end{aligned} \quad (11)$$

Таким образом, полная энергия диссипации в ПА соответствует изменению потенциальной энергии системы, что подтверждает точность расчетов термодинамических параметров. Значение коэффициента поглощения энергии колебаний ПА определяется как энергия затухания за один цикл колебаний ΔW_1 к максимальному значению потенциальной энергии системы W [10] и равно

$$\begin{aligned} \eta_w &= \Delta W_1 / W = \Delta W_1 / MgZ_1 = \\ &= 110 / 150 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 110 / 147 = 0,75. \end{aligned} \quad (12)$$

Улучшить демпфирующие свойства ПА можно при создании перепада давления между объемами ПА не только на ходе отбоя, но и на ходе сжатия. При таком управлении дополнительный объем включается в работу кратковременно в начале каждого хода сжатия и отбоя.

Рассмотрим физические процессы, обуславливающие диссипацию энергии в ПА полуактивного типа с управлением процессами перетекания газа между объемами ПА с коммутацией электроклапана на ходах сжатия и отбоя за один период свободных колебаний АО (рис. 1, кривая 2). Схемы ПА (рис. 6 и 7) показаны при статическом положении и в крайних положениях первого периода колебаний АО, имеющих наибольшие амплитуды колебаний (ниже даны термодинамические параметры газа при каждом положении АО за первый период колебаний АО при экспериментальных исследованиях варианта ПА и АО с массой $m = 150$ кг).

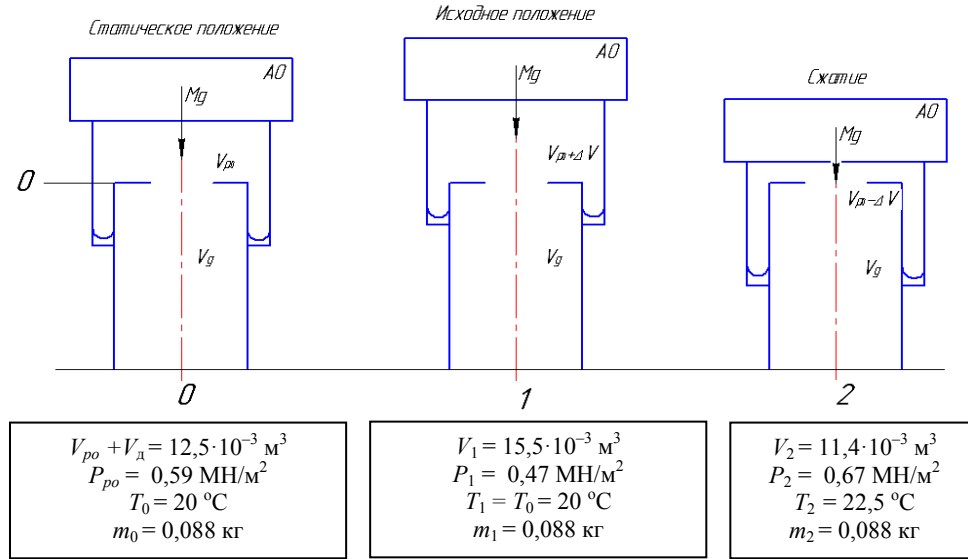


Рис. 2. Положение АО за первый полупериод свободных колебаний

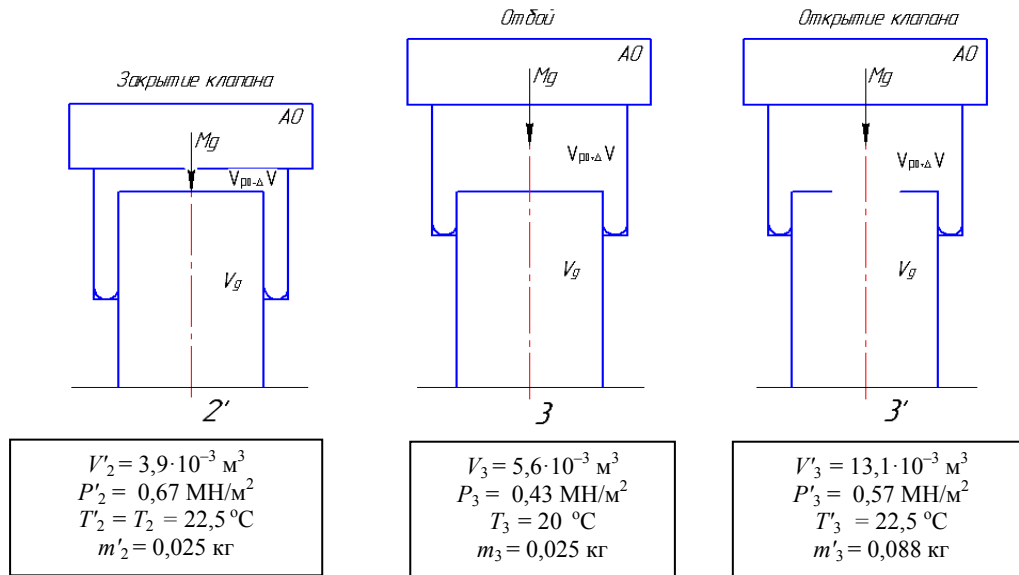


Рис. 3. Положение АО за второй полупериод свободных колебаний

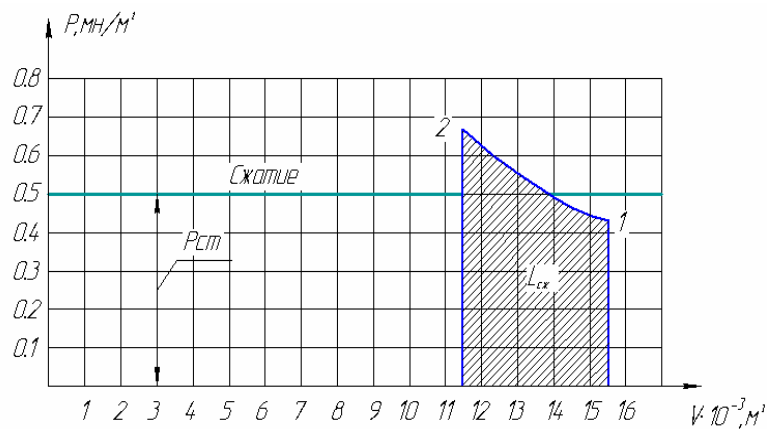


Рис. 4. Рабочая диаграмма ПА на ходе сжатия

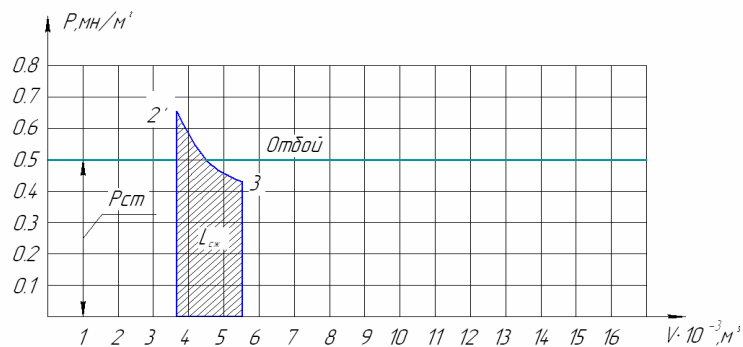


Рис. 5. Рабочая диаграмма ПА на ходе отбоя

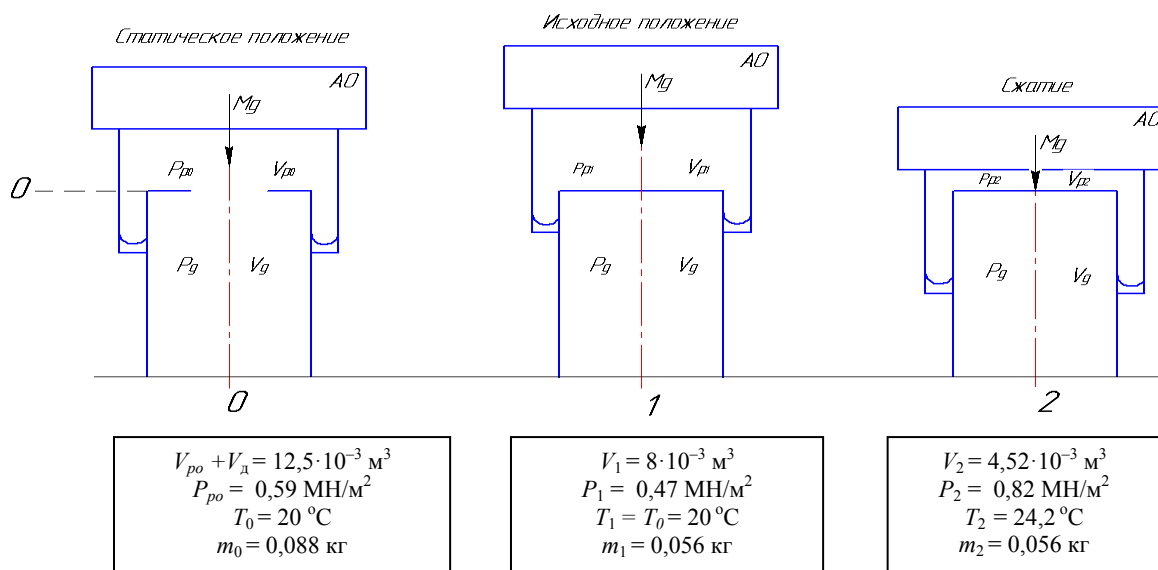


Рис. 6. Положение АО за первый полупериод свободных колебаний

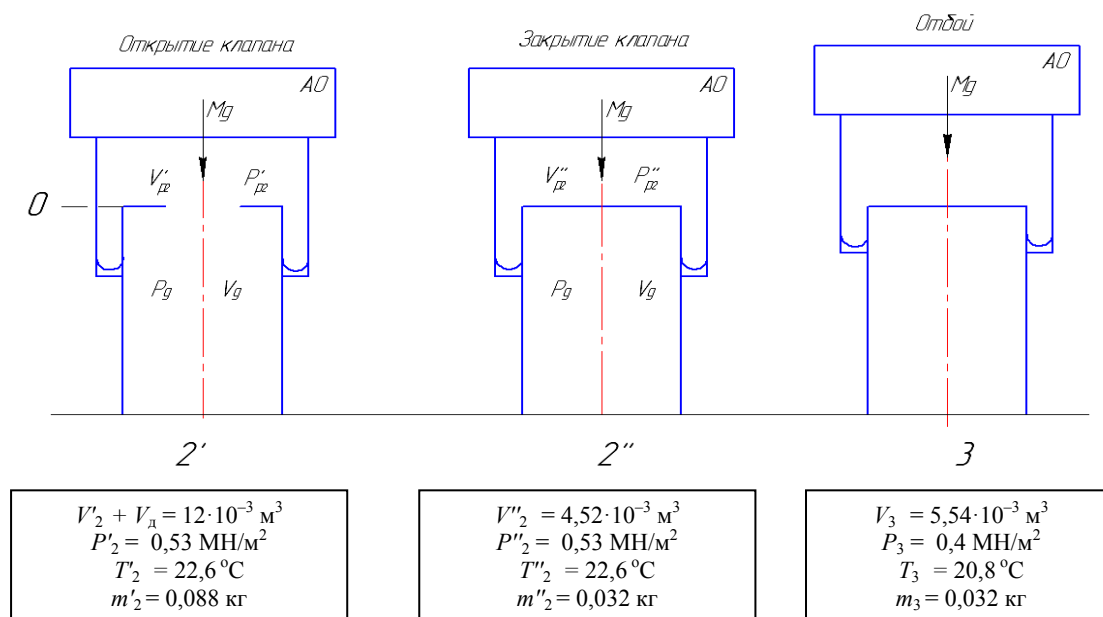


Рис. 7. Положение АО за второй полупериод свободных колебаний

Рабочие диаграммы для данного периода представлены на рис. 8 и 9. Подъем АО в исходное положение (рис. 6, положение 1) осуществлялся с сообщаемыми объемами ПА.

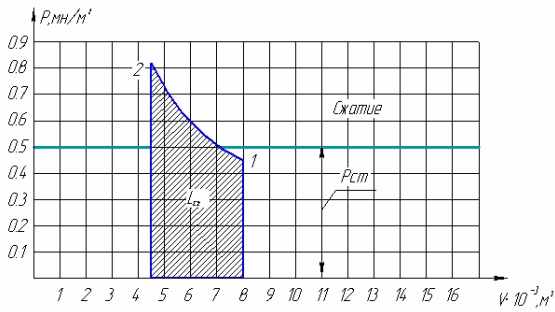


Рис. 8. Рабочая диаграмма ПА на ходе сжатия

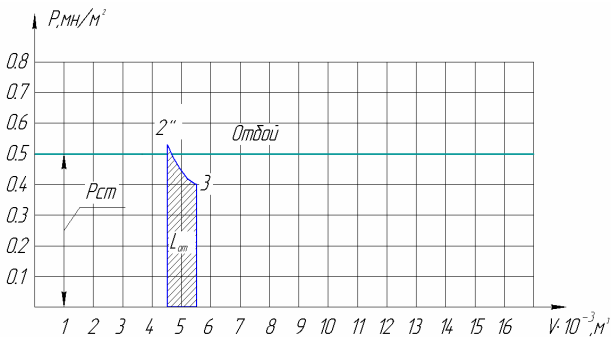


Рис. 9. Рабочая диаграмма ПА на ходе отбоя

В начале движения объекта вниз от исходного положения (ход сжатия) дополнительный объем ПА закрывается. Отсечка дополнительного объема ПА и уменьшение на ходе сжатия рабочего объема (рис. 8) приводит к резкому возрастанию давления в рабочем объеме от P_1 до P_2 и температуры от T_1 до T_2 . Резкое возрастание давления в рабочем объеме ПА уменьшает ход сжатия (рис. 1, кривая 2). В начале хода отбоя при $dz/dt = 0$ дополнительный объем на короткий отрезок времени (по экспериментальным данным – $t_{вкл} = 0,1$ с) сообщается с рабочим объемом (рис. 7, положение 2') и снова отсекается (рис. 7, положение 2'').

Выравнивание давления в объемах ПА от P_2 до P_2' приводит к уменьшению упругой силы, действующей на АО в конце хода сжатия, и к диссипации энергии за счет разгона потока воздуха, торможения и интенсивного перемешивания. Работа, совершаемая АО над газом, будет равна площади под кривой 1–2 на рабочей диаграмме (рис. 8). В начале хода отбоя дополнительный объем закрывается. Работа расширения будет равна площади под кривой 2''–3 на рабочей диаграмме (рис. 9).

Диссипация энергии в ПА за первый период колебаний АО равна разности этих работ:

$$L_{сж1} = RM(T_2 - T_1)/(k - 1) = 287 \cdot 0,056 (297,2 - 293) / 0,41 = 164,64 \text{ Дж}; \quad (13)$$

$$L_{расш1} = Rm_3^* (T_2 - T_3)/(k - 1) = 287 \cdot 0,032 (295,6 - 293,8) / 0,41 = 40,3 \text{ Дж}; \quad (14)$$

$$\Delta W_1 = L_{сж1} - L_{расш1} = 164,64 - 40,3 = 124,34 \text{ Дж}. \quad (15)$$

Максимальный коэффициент поглощения энергии ПА за период колебаний [10] примерно составляет:

$$\eta_w = \Delta W_1 / W = \Delta W_1 / MgZ_1 = 124,34 / 150 \cdot 9,81 \cdot 0,1 = 124,34 / 147 = 0,85. \quad (16)$$

За счет создания перепада давления между объемами ПА на ходе сжатия и отбоя с последующим выравниванием давления в объемах в начале каждого хода обеспечивается увеличение коэффициента поглощения энергии ПА по сравнению с ранее рассмотренным способом управления ПА примерно на $\approx 10\%$. Расхождение между экспериментальными и расчетными значениями коэффициента поглощения энергии исследуемого ПА (рис. 2), выполненными по математической модели [11], не превышают 10–15 %.

Таким образом, путем управления процессами перетекания газа между объемами двухкамерного ПА в крайних положениях на периоде колебаний АО, имеющих наибольшие амплитуды колебаний, можно существенно улучшить его демпфирующие свойства ($\eta_w = 0,75 \dots 0,85$) по сравнению с пассивными ПА ($\eta_w = 0,1 \dots 0,15$). Данный подход служит методологией создания ПА с улучшенными параметрами демпфирования колебаний, что может являться основой модернизации штатных неуправляемых систем амортизации крупногабаритных объектов без использования дополнительных отдельных демпферов.

Библиографические ссылки

1. Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С. Системы амортизации крупногабаритных объектов с активными упругими и демпфирующими элементами : монография. Омск : ОмГТУ, 2010.
2. Пат. на изобретение № 2325285 РФ, МПК В60G 11/26, F16F 9/04. Пневматическая подвеска / Г. С. Аверьянов, Р. Н. Хамитов. Оpubл. 27.05.2008. Бюл. № 15.
3. Пат. на изобретение № 2325568 РФ, МПК F16F 9/04, В60G 11/26. Пневматическая подвеска / Г. С. Аверьянов, Р. Н. Хамитов. Оpubл. 27.05.2008. Бюл. № 15.
4. Пат. на изобретение № 2423632РФ, МПК F16F 09/04. Пневматическая подвеска / Р. Н. Хамитов, Г. С. Аверьянов. Оpubл. 10.07.2011. Бюл. № 19.
5. Пат. на изобретение № 2399505 РФ, МПК В60G 11/27, F16F 9/05. Пневматическая подвеска / Р. Н. Хамитов. Оpubл. 20.09.2010. Бюл. № 26.
6. Хамитов Р. Н. Синтез системы управления импульсным электродинамическим клапаном пневмоамортизатора // Инженерный журнал. 2008. № 2. С. 62–64.
7. Корчагин А. Б., Аверьянов Г. С., Хамитов Р. Н. Гидродинамический вибростенд // Вестник ОмГТУ. Серия «Приборы, машины и технологии». 2009. № 2 (80). С. 122–124.
8. Кирилин В. А., Сычев В. В., Шейндлин А. Е. Техническая термодинамика. М. : Энергия, 1974..

9. Оценка диссипативных качеств пневмоамортизатора с резино-кордной оболочкой / Г. С. Аверьянов, В. Н. Бельков, А. Б. Корчагин и др. // Динамика систем, механизмов и машин : материалы VII Международ. науч.-техн. конф. Омск : ОмГТУ, 2009. Кн. 2. С. 189–194.

10. Вольперт Э. Г. Динамика амортизаторов с нелинейными упругими элементами. М. : Машиностроение, 1972.

11. Хамитов Р. Н. Система управления и процессы двухобъемного пневмоамортизатора // Вестник СибГАУ. 2010. Вып. 1 (27). С. 105–109.

R. N. Khamitov, G. S. Averyanov, A. A. Perchun

OPERATION MODES OF A DOUBLE CHAMBER PNEUMOSHOCK ABSORBER WITH INCREASED DAMPING

The authors present the analysis of the processes that determine the dissipation of energy in a double chamber pneumoshock absorbers and demonstrate that by means of control of process of gas flow, inside the volumes of the pneumoshock absorber chamber, we can significantly improve its damping properties, in comparison with passive pneumoshock-absorbers. Limit values of the coefficient of absorption of fluctuation energy (up to 0,75...0,85) with various switching modes of the pneumoshock-absorber electric valve.

Keywords: short-term volumes switching, pneumoshock-absorber operating mode, damping of fluctuations.

© Хамитов Р. Н., Аверьянов Г. С., Перчун А. А., 2012

УДК 621.37

П. В. Шаршавин, А. С. Кондратьев, А. В. Гребенников

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ РЕГИСТРАЦИИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ТОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИЗМЕРЕНИЯ ПСЕВДОДАЛЬНОСТИ ПО СИГНАЛАМ СПУТНИКОВЫХ РАДИОНАВИГАЦИОННЫХ СИСТЕМ ГЛОНАСС/GPS

Описана идея цифровой регистрации навигационных сигналов, рассмотрена проблема ограничения частоты дискретизации при обработке навигационных сигналов, предложен метод высокоскоростной постобработки для повышения точности оценок параметров сигналов.

Ключевые слова: радионавигация, СРНС, цифровая регистрация, постобработка.

Цифровая регистрация является относительно новым направлением в области приема и обработки навигационных сигналов. Идея метода заключается в постобработке ранее принятого, оцифрованного и записанного на носитель информации навигационного сигнала.

Устройство, реализующее данный метод (рис. 1), состоит из цифрового регистратора и персональной ЭВМ со специализированным программным обеспечением. Цифровой регистратор выполняет функции приема, оцифровки и передачи необработанного навигационного сигнала через высокоскоростной интерфейс, в качестве которого может выступать интерфейс Fast Ethernet, либо Gigabit Ethernet. Принятый в ПЭВМ сигнал записывается на носитель информации, в качестве которого выступает жесткий магнитный диск, либо передается программе обработки в реальном времени. В программе постобработки, которая работает с записями сигналов, могут быть реализованы принципиально новые подходы и методы обработки навигационного сигнала, извлечения навигационной информации и решения навигацион-

ной задачи. С помощью постобработки могут быть решены проблемы, которые трудно либо невозможно решить современными методами обработки сигналов в реальном масштабе времени [1]. Одной из таких проблем является повышение точности оценки параметров навигационного сигнала, в частности, задержки ПСП.

Для повышения точности оценки задержки ПСП требуется, кроме прочих мер, уменьшение погрешностей дискретизации входного сигнала и опорной ПСП коррелятора (рис. 2). Погрешность дискретизации опорной ПСП коррелятора (рис. 2, а) возникает вследствие необходимости получения равных частот дискретизации входных выборок сигнала и опорной ПСП, поскольку классический подход обработки в реальном времени предполагает обработку сигналов на частоте дискретизации АЦП. Данные погрешности имеют равномерный закон распределения с максимальным значением погрешности, равным периоду дискретизации (рис. 2, б) [2]. Очевидно, величина погрешности будет обратно пропорциональна частоте дискретизации.