

Виноградов Б. В.

ГВУЗ “Государственный
химико-технологический
университет”
(г. Днепропетровск)

УДК 629.3.027.3

ГИДРОПНЕВМОБАЛЛОННАЯ УПРУГОВЯЗКАЯ СИСТЕМА

Розглянуто систему, що включає пневмобалонну оболонку, порожнина якої заповнена рідиною і сполучена з гідропневматичним акумулятором. Розроблено математичну модель, що враховує її пружні та в'язкі властивості. Показана можливість демпфірування коливань в широких межах.

The considered system including pneumobottle shell, which cavity is filled by liquid and is reported with hydropneumatic battery. It is designed mathematical model, taking into account springy and viscous characteristic. It is shown possibility of decrement fluctuations over a wide range.

В настоящее время пневмоэлементы с резинкордной оболочкой находят широкое распространение амортизации транспортных средств, виброизоляции технологического оборудования и т. п.

Это позволяет отказаться от сложных пневмогидравлических систем, содержащих телескопические поршневые пневморессоры требующие прецизионное качество деталей. При использовании резинкордных оболочек демпфирование колебаний осуществляется за счет перемещения воздуха из резинкордных оболочек в дополнительный резервуар через трубопровод, содержащий дросселирующее устройство [1], [2]. Однако, такие пневматические рессоры имеют относительно низкие демпфирующие свойства [3].

Этих недостатков лишена гидропневматическая баллонная упруговязкая система (Рис. 1), которая включает резинкордную оболочку 1, заполненную жидкостью 2 и соединенную с помощью трубопровода 3 и дросселя 4 с гидропневматическим аккумулятором 5.

При нагружении резинкордной оболочки 1 в жидкой среде 2 будет создаваться избыточное давление, передаваемое гибкой мембраной 7 газу 6. В результате сжатия объем газа уменьшится, и высота резинкордной оболочки уменьшится.

Таким образом, гидропневматическая вязкоупругая система обладает упругими свойствами пневмооболочек, а кроме того, позволяет регулировать демпфирование системы с помощью дросселя 7 в широких пределах.

При установлении упруговязкой характеристики гидропневмобаллонной системы не будем учитывать перемещения, вызванные растяжением самой оболочки, предполагая, что они малы по сравнению с перемещениями, вызванными сжатием газа, а жидкую среду будет считать несжимаемой.

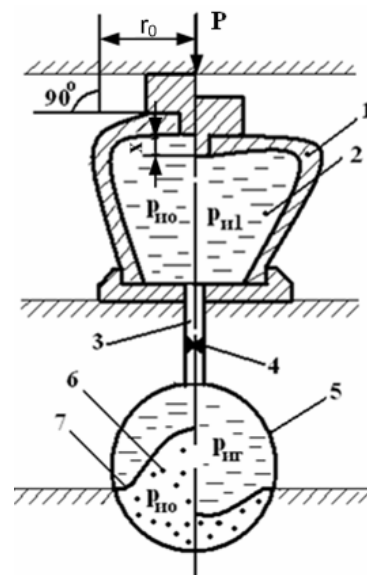
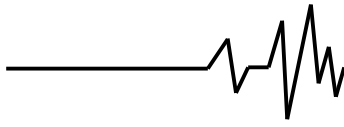


Рис. 1. Гидропневмобаллонная система

При статическом нагружении резинкордной оболочки массой m объем газа в пневматической полости аккумулятора будет составлять $V_{г0}$, а избыточное давление в жидкости и газе соответственно будет равно $p_{г0}$.



Величину статической нагрузки можно определить из условия равновесия

$$P_{cm} = \pi \cdot r_0^2 \cdot p_{uo} = S_0 p_{uo},$$

где S_0 – начальная величина эффективной площади резинокордной оболочки.

При динамическом нагружении резинокордной оболочки масса m будет совершать колебания относительно положения статического равновесия, и ее положение в произвольный момент времени будет определяться координатой x . В произвольный момент времени резинокордная оболочка воспринимает усилие

$$F = S(x) p_{нл} = S(x) \cdot (p_{uz} + p_n), \quad (1)$$

где $S(x)$ – эффективная площадь резинокордной оболочки в произвольный момент времени; p_{uz} , p_n – избыточное давление жидкости в резинокордной оболочке и газа в гидropневматическом аккумуляторе соответственно в произвольный момент времени; p_n – потери давления на гидравлические сопротивления при перетекании жидкости из резинокордной оболочки в гидropневматический аккумулятор.

При политропному процесу изменение состояния газа справедливо выражение:

$$\frac{p_a + p_{uz}}{p_a + p_{uo}} = \left(\frac{V_{zo}}{V_z} \right)^n, \quad (2)$$

где p_a – атмосферное давление; V_z – объем газа в произвольный момент времени.

Учитывая, что эффективная площадь резинокордной оболочки определяется выражением

$$S(x) = \frac{dV}{dx},$$

после интегрирования определим зависимость между объемом жидкости ΔV , вытесненной из оболочки, и величиной эффективной площади

$$\Delta V = V_{zo} - V = \int_0^x S(x) dx, \quad (3)$$

где V – текущее значение объема жидкости в резинокордной оболочке.

Тогда поточное значение газа в аккумуляторе равно

$$V = V_{zo} - \Delta V = V_{zo} - \int_0^x S(x) dx. \quad (4)$$

Учитывая выражение (4) величину избыточного давления газа p_{uz} определим из выражения (2):

$$p_{uz} = (p_a + p_{uo}) \left(\frac{V_{zo}}{V_{zo} - \int_0^x S(x) dx} \right)^n - p_a$$

Подставляя величину p_{uz} в выражение (1), определим усилие воспринимаемое резинокордной оболочкой в произвольный момент времени

$$F = S(x) \left[\lambda \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + (p_a + p_{uo}) \left(\frac{V_{zo}}{V_{zo} - \int_0^x S(x) dx} \right)^n - p_a \right], \quad (5)$$

где $p_n = \lambda \left(\frac{dx}{dt} \right)^2$, λ – гидравлический коэффициент трения.

Рассмотрим случай, когда гидравлическая сила сопротивления определяется потерями в дросселе.

Расход жидкости через отверстие дроссельной шайбы определяется выражением:

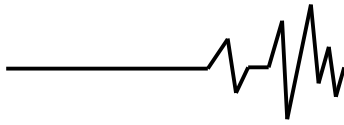
$$\frac{dV}{dt} = S(x) \frac{dx}{dt} = \mu \cdot f \sqrt{\frac{2 p_n}{\rho}}. \quad (6)$$

где V – текущий объем жидкости в резинокордной оболочке; μ – коэффициент расхода; f – площадь проходного сечения дросселя, ρ – плотность жидкости.

Величину потерь давления определим из (5):

$$p_n = \frac{\rho \cdot (S(x))^2}{2 \mu^2 \cdot f^2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2. \quad (7)$$

Учитывая (7), выражение (5) перепишем в виде



$$F = S(x) \left[\frac{\rho \cdot (S(x))^2}{2\mu^2 \cdot f^2} \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + (p_a + p_{uo}) \left(\frac{V_{zo}}{V_{zo} - \int_0^x S(x) dx} \right)^n - p_a \right]. \quad (8)$$

При экспериментальных исследованиях в качестве резинокордной выбрана оболочка типа И-08. Для определения статической упругой характеристики резинокордная оболочка нагружалась мерными грузами при этом определялась величина её деформации. Статическая упругая характеристика гидропневмобаллонной системы показана на рис. 2 (кривая 1).

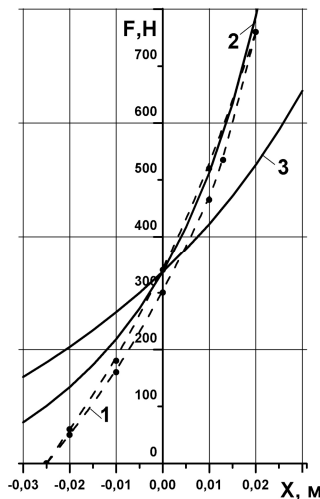


Рис. 2. Упругая статическая характеристика пневмо-кордной оболочки типа И-08: 1.- экспериментальная; 2,2- расчетные с учетом и без учета изменения площади резинокордной оболочки

По мере нагружения оболочки измерялось избыточное давление p_{ul} , что позволило определить величину эффективной площади по формуле

$$S = \frac{P}{p_{ul}}$$

Зависимость эффективной площади резинокордной оболочки S от перемещения x показана на рис. 3. и в может быть аппроксимирована полиномом второго порядка

$$S(x) = 0.0040 + 0.0088x - 0.857x^2,$$

а в первом приближении следующей линейной зависимостью:

$$S(x) = 0.0040 + 0.0088x,$$

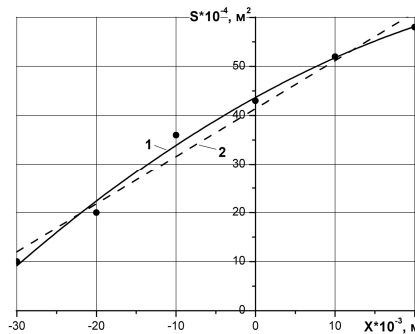


Рис. 3. Зависимость эффективной площади резинокордной оболочки типа И-0,8 от перемещения при $p_{r0}=78,4$ кПа, $V_{r0}=0,465 \cdot 10^{-3}$ м³: 1-экспериментальная; 2-линейная аппроксимация

Расчетная статическая упругая характеристика гидропневмобаллонной системы определялась по формуле

$$F(x) = S(x) \left[\left(\frac{(p_a + p_{uo}) V_{zo}}{V_{zo} - \int_0^x S(x) dx} \right)^n - p_a \right], \quad (9)$$

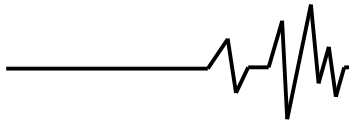
В расчётах применялась линейная аппроксимация, поскольку дальнейшее уточнение зависимости $S(x)$ не приводит к заметному уточнению упругой характеристики. В этом случае выражение (9) при подставке исходных данных приобретает вид:

$$F(x) = (4,3 + 83x) \frac{0,456 \cdot 179,4}{0,456 - 4x - 44x^2} - 101.$$

Сравнение расчетной и экспериментальной характеристик показано на рис. 2.

В ряде случаев изменением эффективной площади резинокордной оболочки пренебрегают, принимая $S = \pi \cdot r_0^2$. Для оценки погрешности на рис. 2 приведена также упругая характеристика для этого случая.

На 4а, б и 5а, б представлены экспериментальные и расчетные данные по исследованию свободных и вынужденных колебаний массы $m=34$ кг при начальном давлении объема газа в



гидропневмоаккумуляторе равному
 $p_{uo} = 78,4 \text{ кПа}$, $V_{20} = 0,465 \cdot 10^{-3} \text{ м}^3$ и амплитуде
возмущающей силы $Q = 10 \text{ Н}$.

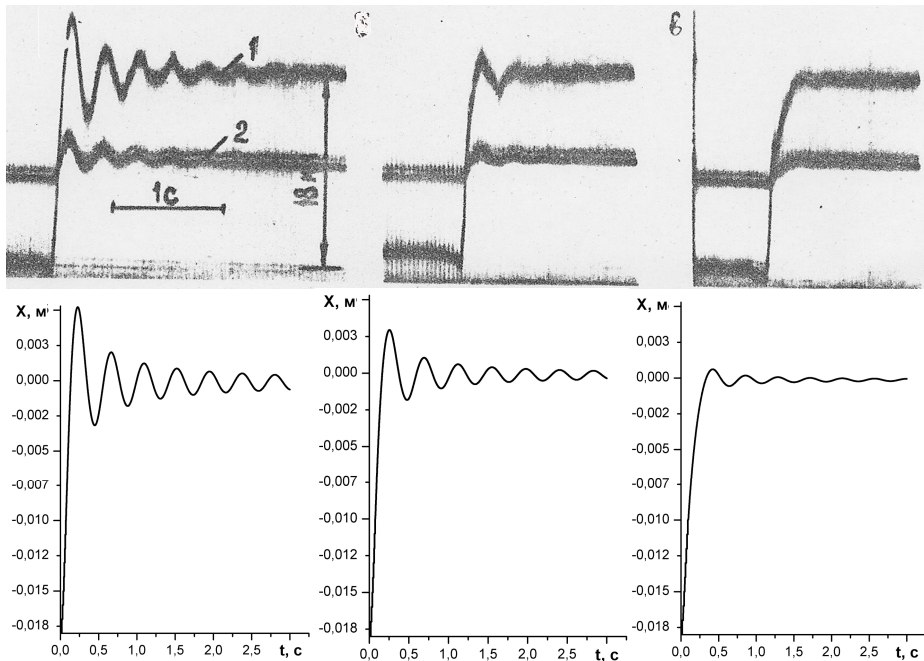
При выборе начала отсчета в положении
статического равновесия дифференциальные
уравнения вынужденных колебаний запишем в
виде:

$$m \ddot{x} + \mu \dot{x} + S(x) \left[\frac{(P_a + P_{uo}) V^k}{\left(V - \int_0^x S(x) dx \right)^k} - P_a \right] = p_{20} S_{20} + Q \sin pt \quad (10),$$

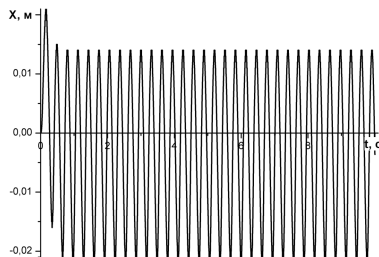
где $\mu = \frac{\gamma \cdot (S(x))^3}{2g\mu^2 \cdot f^2} \left(\frac{dx}{dt} \right)$

На рис. 4 представлены
экспериментальные и расчетные графики

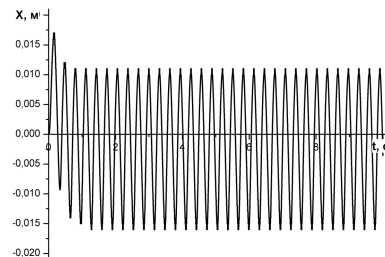
свободных колебаний, полученные на
основании уравнения (10) при
 $p_{20} S_{20} + Q \sin pt = 0$. Графики резонансных
вынужденных колебаний при тех же
дроссельных отверстиях приведены на рис. 5.



**Рис. 4. Графики свободных колебаний одномассовой системы:
а, б, в – экспериментальные, г, д, ж – расчётные зависимости перемещения массы от
времени при диаметре дроссельного отверстия 185 мм, 135 мм, 70 мм соответственно**



а



б

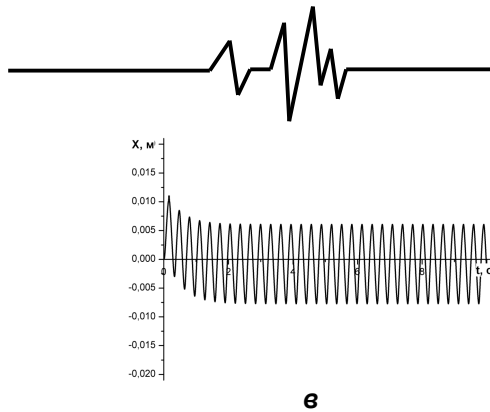


Рис. 5. Резонансные вынужденные колебания одномассовой системы: а, б, в диаметр дроссельного отверстия 185 мм, 135 мм, 70 мм соответственно

Выводы

1. Предложена гидropневмобаллонная упруговязкая система, отличается простотой конструкции и позволяющая обеспечивать демпфирование колебаний в широких пределах.

2. Показано, что математическая модель упругой характеристики предложенной системы аналогична математической модели упругой характеристики пневмобаллона.

3. Сравнение экспериментальных данных с расчетными подтверждает адекватность представленной модели. Допущение о постоянстве эффективной площади резинокордной оболочки существенно влияет на точность расчётов.

Литература

1. Тепловозы: конструкция, теория и расчет/И. П. Бородулин, Е. Д. Бренер, Е.С. Гречищев и др.; Под ред. Н. И. Панова. М.: Машиностроение, 1976. 544 с.

2. Патент №2032554 Российская Федерация. МПК В60G11/26, F16F9/02. Пневморессора железнодорожного экипажа/ Ю. В. Емельянов, А. Н. Мелихов. №5046266/11. Заявл. 08.06.92; Оpubл. 10.04.1995.

3. Дьяков А. С. Повышение демпфирующих свойств подвесок АТС путем изменения структуры и характеристик резинокордных пневматических оболочек: Автореф. дис....канд. техн. наук: 05.05.03/ Волгоградский гос. техн. универ.– Волгоград, 2009.–17 с.