

## ИССЛЕДОВАНИЕ ПОГАШАЮЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НЕЛИНЕЙНОЙ АМОРТИЗАЦИИ ПРИБОРОВ

Упругое сопротивление нелинейного осциллятора аппроксимируется линейно-квадратичной зависимостью от его смещения и квадратичной от его скорости. Для оценки полученных теоретических результатов производились испытания амортизаторов на специально изготовленном стенде [1]. Был установлен маятниковый копер, дающий возможность производить удар с начальными скоростями в пределах от 3,06 м/с до 6,50 м/с. Амортизаторы находились на приспособлениях, обеспечивающих жесткость их установки и позволяющих производить удар в трех направлениях. Каждый из испытуемых амортизаторов подвергался трехкратному удару с различными начальными скоростями, процесс хода амортизатора снимался на киноплёнку. Для обеспечения наиболее оптимального режима съёмки при ударах с различной начальной скоростью применялось реле времени. Ход амортизатора определялся по смещению полированного шарика, вмонтированного в головку болта, точечное изображение которого четко фиксировалось на киноплёнке. Масштаб изображения определялся по размерам масштабного элемента. Испытаниям подвергались амортизаторы типов АКСС-40, АКСС-15, АКСС-60, АКСС-25. Материалы каждого эксперимента оформлялись в виде протокола и приложений к нему, содержащих результаты расшифровки киноплёнки. Расшифровка киноплёнки производилась при помощи микроскопа, измеряющего видимые смещения точечного изображения шарика на киноплёнке с точностью до 0,1 мм. Для того чтобы определить промежуток времени между соседними кадрами, следует разделить интервал, образованный временными отметками через каждые 0,1 с, на число кадров. По этим данным построены кривые хода амортизаторов. Кривые хода амортизатора АКСС-15 приведены на рис. 1.

Если предположить, что амортизация является линейной, то по экспериментально полученному ходу амортизатора и начальной скорости удара можно получить линеаризованную ударную жесткость амортизатора в зависимости от начальной скорости удара [2]. Уравнение, описывающее движение маятника, в этом случае будет

$$\ddot{\xi} + \frac{c R^2}{I} \xi = 0 \quad ,$$

где  $\xi$  — ход амортизатора;  $c$  — его ударная жесткость;  $I$  — момент инерции маятника копра;  $R$  — радиус удара.

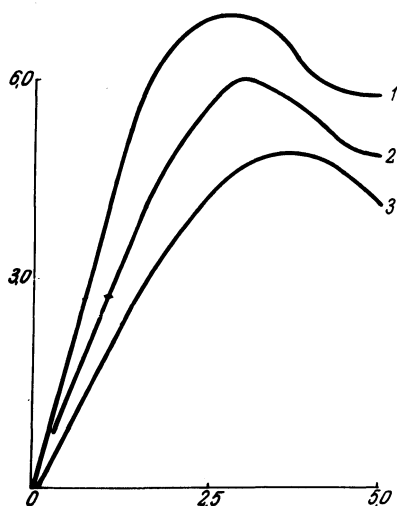


Рис. 1. Экспериментальные кривые хода амортизатора АКСС-15М 2180290РТИ:

1 -  $\Delta_3^Z = 6,96$ ;  $\tau = 2,55 \cdot 10^{-3}$ ; 2 -  $\Delta_2^Z = 6,0$ ;  $\tau_2 = 3 \cdot 10^{-3}$ ; 3 -  $\Delta_1^Z = 5,05$ ;  $\tau_1 = 3,66 \cdot 10^{-3}$ .

Т а б л и ц а 1. Зависимости коэффициентов ударной жесткости от начальной скорости удара ( $10^3$  Н/м)

Тип амортизатора	Начальная скорость						
	3,06	3,90	4,55	5,20	5,60	6,05	6,35
АКСС-60		1730			2250		2660
АКСС-40		2200		3000			2900
АКСС-25	3230		5840			8630	
АКСС-15	3480		5460			7150	

Т а б л и ц а 2. Экспериментальные значения параметра динамической нелинейности ( $10^7$  Н·с/м<sup>3</sup>)

Тип амортизатора	АКСС-60	АКСС-40	АКСС-25	АКСС-15
Параметр динамической нелинейности	0,017	0,024	0,102	0,106

При начальных условиях

$$t = 0; \quad \xi_0 = 0; \quad \dot{\xi}_0 = V_0,$$

где  $V_0$  — начальная скорость удара.

Решение этого уравнения имеет вид

$$\xi = -\frac{V_0}{R} \sqrt{\frac{I}{c}} \sin R \sqrt{\frac{c}{I}} t.$$

По экспериментально замеренному максимальному ходу получаем значение, соответствующее ударной жесткости

$$c = \frac{I V_0^2}{R^2 \Delta^2}; \quad \Delta = \frac{V_0}{R} \sqrt{\frac{I}{c}}.$$

Результаты полученных значений ударной жесткости амортизаторов приведены в табл. 1.

Статические испытания резиново-металлических амортизаторов на разрывной машине показали, что статическая нелинейность практически отсутствует, поэтому при вычислении коэффициентов динамической нелинейности  $c_2$  можно положить  $c_1 = 0$  или  $k_1 = 0$ .

Для определения  $k_2$  по экспериментальным данным  $V_0$  и  $\xi_{\max}$  решаем уравнение

$$k_1^2 - k_0^2 k_2^2 - k_1^2 k_2^2 \xi_{\max}^2 + (V_0^2 k_2^4 - k_1^2 + k_0^2 k_2^2 + k_1^2 k_2^2 \xi_0^2) \times \\ \times \exp(-k_2^2 [\xi_{\max}^2 - \xi_0^2]) = 0.$$

При  $\xi_0 = 0$  и  $k_1 = 0$  это уравнение принимает вид

$$-k_0^2 k_2^2 + (V_0^2 k_2^4 + k_0^2 k_2^2) \exp(-k_2^2 \xi_{\max}^2) = 0. \quad (1)$$

Уравнение (1) представим так:

$$\exp(k_2^2 \xi_{\max}^2) = \frac{V_0^2}{k_0^2 \xi_{\max}^2} \cdot \varphi + 1. \quad (2)$$

Решение (2) в координатах  $\varphi = k_2^2 \xi^2$  получаем пересечением кривых

$$y_1 = \exp \varphi; \quad y_2 = -\frac{V_0^2}{k_0^2 \xi_{\max}^2} \cdot \varphi + 1.$$

Т а б л и ц а 3. Сравнение максимальных ускорений ( $\text{м/с}^2$ ), полученных обработкой экспериментальных данных по линейной и нелинейной теориям при различных начальных скоростях удара ( $\text{м/с}$ )

АКСС-60	Начальная скорость удара	3,90	5,60	6,35
Максимальное ускорение	Линейная теория	940	1460	1920
	Нелинейная теория	530	670	700
АКСС-40	Начальная скорость удара	3,90	5,20	6,35
Максимальное ускорение	Линейная теория	1060	1630	2000
	Нелинейная теория	600	680	850
АКСС-25	Начальная скорость удара	3,06	4,55	6,05
Максимальное ускорение	Линейная теория	1010	2000	3000
	Нелинейная теория	300	340	370
АКСС-15	Начальная скорость удара	3,06	4,55	6,05
Максимальное ускорение	Линейная теория	1050	1950	2960
	Нелинейная теория	220	260	300

Отбрасывая нулевой корень, получим

$$k_2^2 = \frac{\varphi}{\xi_{\max}^2}.$$

Параметр динамической нелинейности амортизатора равен

$$c_2 = \frac{I}{R^2} k_2^2.$$

Полученные значения сведены в табл. 2.

Для оценки этих результатов целесообразно сравнить эффективность амортизации, вычисленной по линейной и нелинейной теориям. При этом максимум ускорения по формулам линейной теории будет определять соотношение

$$\ddot{\xi}_{\max}^* = \frac{V_0^2}{\xi_{\max}}.$$

Нелинейная теория дает формулу максимального ускорения

$$\ddot{\xi}_{\max}^{**} = k_0^2 \xi_{\max},$$

где  $\xi_{\max}^*$ ,  $\ddot{\xi}_{\max}^{**}$  — максимум ускорений, полученных по линейной и нелинейной теориям.

Результаты расчета для сравнения максимальных ускорений, полученных обработкой экспериментальных данных, приведены в табл. 3.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Залесов В.Н., Шулъман В.Х., Филиппова Н.Н. К оценке влияния нелинейности антиударной амортизации на ее эффективность и энергоемкость. — Изв. АН БССР. Сер. физико-энергетических наук, 1973, № 3. 2. Найденко С.К., Петров П.П. Амортизация судовых двигателей. — Л., 1962.

УДК 531.3

Л.А.БОРИСЕНКО, А.А.ЮРЕВИЧ

### ДИНАМИКА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В СИСТЕМЕ С ДВУМЯ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ

Рассмотрим систему, включающую электродвигатель, маховик и рабочую машину, установленные соосно и кинематически связанные дифференциальным механизмом (рис. 1).

Введем обобщенные координаты  $\theta$  и  $\xi$ . Координата  $\eta$  задается уравнением

$$\eta = (\xi + \theta (u - 1))u^{-1},$$

где  $u$  — передаточное отношение обращенного механизма.

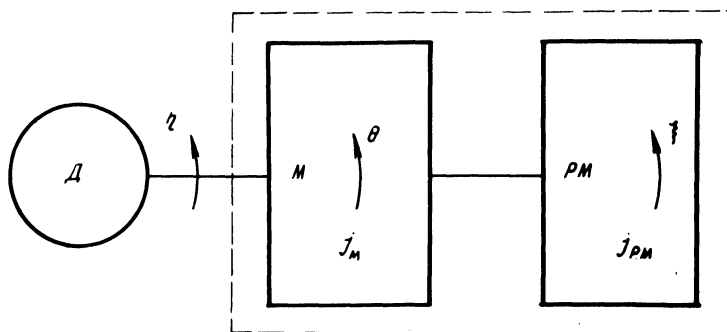


Рис. 1. Динамическая система.

Допустим, что момент инерции двигателя  $I_D$  мал по сравнению с моментом инерции маховика  $I_M$  и моментом инерции  $I_{р.м}$  рабочей машины, приведенным к координате  $\xi$ .