

УДК 539.3

АНИКБЕВ И.И., к. т. н., ст. н. сотр.  
МАКСИМЮК В.А., д.физ.-мат. н., вед. н. сотр.  
МИХАЙЛОВА М.И., д.т.н., вед. н. сотр.  
СУЩЕНКО Е.А., к.т.н., ст. н. сотр.

Институт механики им. С.П.Тимошенко НАНУ

## МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ ДЕФОРМАЦИЙ КОНСОЛЬНОЙ ПЛАСТИНЫ С ПОДКРЕПЛЯЮЩИМ СТЕРЖНЕМ ПРИ ДЕЙСТВИИ УДАРНОЙ ВОЛНЫ

**Введение.** Испытание простой системы, представляющей собой составную часть сложной конструкции, может быть полезным для понимания механизма взаимодействия отдельных элементов, а также для разработки теоретических подходов к анализу поведения конструкции в целом. Фундаментальной задачей динамики конструкций, имеющей отношение к изучению поведения её элементов при динамических воздействиях, является задача нестационарной реакции стержней, которые подкрепляют какой-либо её элемент, при воздействии ударной волны.

**Постановка задачи.** В данной работе представлена методика экспериментального исследования упругой статически неопределимой системы, состоящей из консольной пластины и подкрепляющего её стержня, при падении на консольную пластину плоской ударной волны прямоугольной формы.

Консольная пластина и стержень (рис. 1) изготовлены из стеклотекстолита СФ–1–150 толщиной 2,5 мм. Модуль упругости материала определялся экспериментально при растяжении образца на испытательной машине и равнялся  $E = 2,6 \cdot 10^{10}$  Па; плотность материала  $\rho = 1,7$  г/см<sup>3</sup>.

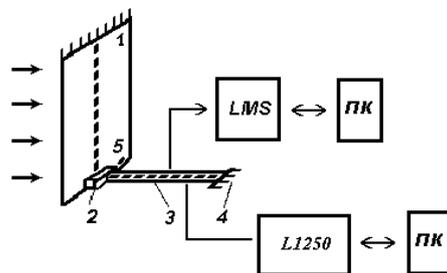


Рис. 1

Для обеспечения жёсткого защемления целая пластина стеклотекстолита размером 246×182 мм крепилась эпоксидным составом холодного отверждения между двумя стальными (марки 65 Г) рамками такого же внешнего размера толщиной 10 мм каждая. Внутренний размер рамок равнялся 210×140 мм и совпадал с размером внутреннего сечения ударной трубы. Тонким лобзиком производили П-образный разрез вклеенной пластины так, что параллельно длинным сторонам рамок была образована консольная пластина 1 (рис. 1) прямоугольной формы с короткой защемлённой стороной  $B = 61$  мм и длинными сторонами  $L = 105$  мм. К свободной короткой стороне консольной пластины при помощи эпоксидного клея и двух винтов крепили подпятник 2 из дюралюминия весом 8 г длиной 35 мм. Подпятник имел сквозную прорезь, в которой с помощью эпоксидного клея закрепляли конец опорного стержня 3 перпендикулярно к поверхности консоли. Второй конец стержня жёстко защемлялся в неподвижной массивной опоре 4. Длина стержня  $l = 122$  мм, ширина  $b = 12,1$  мм.

Вдоль длинных сторон консоли и стержня эпоксидным составом холодного отверждения наклеивали фольговые тензорезисторы типа КФ 5П1 – 3 – 120 – Б – 12 базой 3 мм и сопротивлением 120 Ом (на рис. 1 показаны короткими чёрточками). Расстояние между центрами соседних тензорезисторов равнялось 10 мм. Ряды тензорезисторов размещали на равном расстоянии от длинных сторон на обеих поверхностях консольной пластины и стержня, при этом центры датчиков деформаций с обеих сторон располагались друг под другом. На консольной пластине два тензорезистора 5 были расположены вдоль коротких сторон и находились на обеих поверхностях друг под другом.

В качестве нагружающего устройства использовалась диафрагменная ударная труба. Диафрагменная ударная труба [2] (рис. 2) состояла из трёх секций: камеры высокого давления 1 длиной один метр, канала 2 длиной три метра и измерительной секции 3 длиной 0,75 м. Все секции имели одинаковое внутреннее поперечное сечение прямоугольной формы размером 140x210 мм с шероховатостью внутренней поверхности 5-го класса. Камера отделялась от канала непроницаемой тонкой диафрагмой 4. В канале 2 находился воздух при атмосферном давлении. После установки в измерительной секции испытуемой системы (на рисунке измерительная секция закрыта пластиной 12) в камеру из ресивера через штуцер 6 подавался сжатый воздух до давления  $P_d$ , превышающего атмосферное. Разница давления на диафрагме в момент её прорыва устройством 5 измерялась манометром 6 класса 0,4.

Нагружение системы ударной волной акустического диапазона производилось в измерительной секции ударной трубы. Соотношение длин камеры и канала с измерительной секцией было таким, что при подходе к измерительной секции формировалась ударная волна 7 с крутым фронтом и постоянным давлением за фронтом длительностью приблизительно  $8 \cdot 10^{-3}$  с. Давление во фронте ударной волны задавалось значением давления в камере ударной трубы, которое визуально фиксировалось на манометре непосредственно перед прорывом диафрагмы.

Для более точного определения нагрузки, действующей на консоль при падении ударной волны, в каждом опыте на осциллографе GDS – 806S проводили регистрацию сигналов двух пьезодатчиков (8 и 9), расположенных на расстоянии  $(323 \pm 1)$  мм по ходу волны. Время между фронтами сигналов не превышало  $1 \cdot 10^{-3}$  с и его отсчитывали с погрешностью  $0,5 \cdot 10^{-6}$  с, что давало возможность вычисления скорости  $c$  ударной волны. В каждом опыте также фиксировали температуру  $t^o$  в канале с погрешностью  $0,1^o$  Цельсия, скорость звука  $a$  в момент проведения опыта определяли по формуле  $a = 20,046 (t^o + 273,15)^{1/2}$ . Пьезодатчик 10 служил для запуска осциллографа GDS -806S.

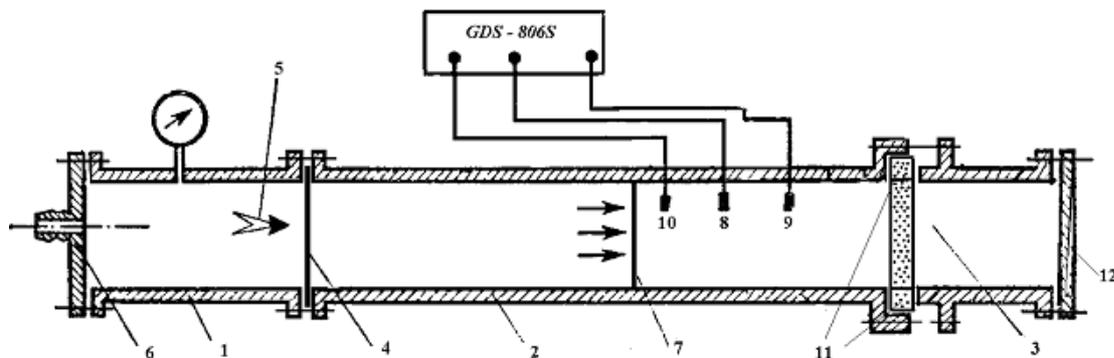


Рис. 2

Рамка из пенопласта 11 выполняла роль акустической развязки между каналом 2 и измерительной секцией 3.

Давление в волне нагрузки  $P_2$  вычисляли [1, 2] через значение числа Маха ( $M = c / a$ ) по формуле

$$P_2/P_1 = [2\gamma M^2/(\gamma+1)] - (\gamma - 1)/(\gamma + 1),$$

где  $P_1$  – начальное давление в канале трубы;  $\gamma = 1,4$  - показатель адиабаты воздуха. В момент встречи с плоской преградой во фронте отраженной волны формировалась нагрузка  $P$  [1, 2], определяемая формулой:

$$P = P_2 \frac{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} + 2 - \frac{P_1}{P_2}}{\frac{\gamma + 1}{\gamma - 1} \frac{P_1}{P_2}}.$$

**Результаты работы.** Регистрация сигналов тензорезисторов происходила на ПК с использованием либо быстродействующего четырёхканального устройства ввода – вывода и обработки аналоговой и цифровой информации L 1250 (Россия) [3], рис. 3, либо с помощью высокоточной портативной восьмиканальной аппаратуры LMS SCADAS Mobile (Бельгия) [4]. Отметим, что оба варианта регистрации нестационарных процессов показали идентичные результаты. Преимуществом бельгийской аппаратуры является её более высокая чувствительность, а также измерение деформаций непосредственно в микрострейнах, минуя пересчёт значения деформаций в милливольттах с учётом напряжения питания мостовой схемы и чувствительности используемых тензорезисторов. Отметим, что аппаратура LMS SCADAS Mobile позволяет в одном опыте регистрировать сигналы 8 тензорезисторов, т.е. в два раза больше в сравнении с устройством L 1250.

На рис. 3 приведены осциллограммы изменения деформаций элемента упругой стеклопластиковой консольной пластины (1к) и одного из тензорезисторов (3с) подкрепляющего её стержня при падении на консоль волны с давлением во фронте  $P_2 = 0,09 \times 10^5$  Па.

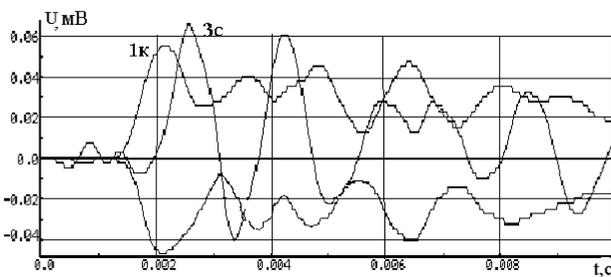


Рис.3

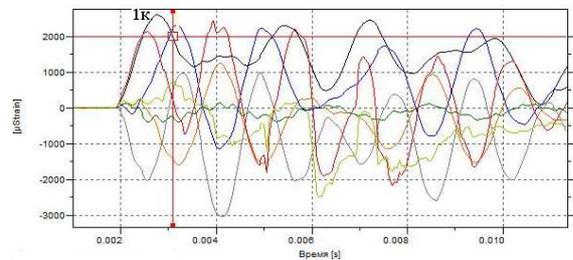


Рис. 4

На рис. 4 приведен результат одного из опытов, в котором регистрация деформаций проводилась с помощью аппаратуры LMS при действии на консольную пластину ударной волны со скачком давления во фронте  $P_2 = 0,435 \times 10^5$  Па. Кривая 1к – изменение во времени консольного тензосигнала; остальные кривые – деформации различных тензорезисторов стержня. Маленький квадрат, который находится на пересечении сплошных вертикальной и горизонтальной линий указывает точку пересечения курсоров, с помощью которых можно узнать значение деформаций в любой момент времени на всех осциллограммах.

**Выводы.** Таким образом, разработана методика экспериментального исследования поведения во времени упругой связанной системы, которая состоит из консольной пластины и подкрепляющего её стержня, при падении на пластину ударной волны. Осциллограммы изменения деформаций регистрировались на ПК с использованием быстро действующей четырёхканальной приставки ввода – вывода и обработки аналоговой и цифровой информации L 1250 (Россия), или с помощью

высокоточной портативной восьмиканальной аппаратуры LMS SCADAS Mobile (Бельгия). Разработанная методика может быть использована для исследования различных процессов: статическое и квазистатическое, а также динамическое тензометрирование, регистрация сигналов с частотой дискретизации до 204,8 кГц по каждому каналу.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Зельдович Я.Б., Райзер Ю.П. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. - М.: Наука, 1966. - 687 с.
2. Ударные трубы / Под ред. Х.А. Рахматулина и С.С. Семёнова. - М.: ИЛ, 1962. - 699 с.
3. Anik'ev I.I., Mikhailova M.I., Sushchenko E.A. Nonstationary deformation of an elastic Plate with a Notch under Action of a Shock Wave // Int. Appl. Mech. - 2007. - 43, № 11. - P. 1264 -1269.
4. И.И. Аникьев, М.И. Михайлова, Е.А. Сущенко. Реакция упругой системы «консольная пластина – стержень» на действие ударной волны // Прикл. мех. - 48, № 6. - 2012. - С.135-141.

Поступила в редколлегию 22.02.2013

УДК 681.3

ДЕГТЯРЬ С.В.<sup>1</sup>, к. фіз.-мат. н.  
ДЕГТЯРЬ В.Г.<sup>2</sup>, к. фіз.-мат. н.

<sup>1</sup>Національний економічний університет, Київ

<sup>2</sup>Національний транспортний університет, Київ

### ДОСЛІДЖЕННЯ СТІЙКОСТІ СІМ'Ї РОЗВ'ЯЗКІВ СИСТЕМИ ДИФЕРЕНЦІАЛЬНИХ РІВНЯНЬ З ВИПАДКОВОЮ ПРАВОЮ ЧАСТИНОЮ

**Вступ.** Прикладні задачі математики, зокрема проблеми стабілізації систем управління, побудови оптимального управління спонукають до вивчення систем диференціальних рівнянь, що залежать від випадкових процесів. Проста стохастична модель односекторної економіки розглядалась в роботі [2]. Мета роботи дослідити асимптотичну поведінку розв'язку системи лінійних диференціальних рівнянь із коефіцієнтами, що залежать від напівмарковського процесу зі зчисленною множиною станів [1].

**Постановка задачі.** Розглянемо систему диференціальних рівнянь

$$\frac{dY(t)}{dt} = F(Y(t), X(t)), \quad \dim Y(t) = m, \quad (1)$$

де  $X(t)$  – напівмарковський випадковий процес зі зчисленною множиною станів  $\theta_1, \theta_2, \dots$ . Припустимо, що частинні системи диференціальних рівнянь

$$\frac{dY_k(t)}{dt} = F_k(Y_k(t)), \quad F_k(Y) \equiv F(Y, \theta_k), \quad (k = 1, 2, \dots), \quad (2)$$

мають розв'язки, які можна продовжити при  $t > 0$ . Розв'язок системи (2) у формі Коші позначимо через

$$Y_k(t) \equiv R_k(t, Y(u)), \quad R_k(u, Y(u)) \equiv Y(u), \quad (k = 1, 2, \dots). \quad (3)$$