

Лукашев Л.Г., Петровичев М.А., Каргин Н.Г., Морозов В.Н., Краснощеков И.Л.

ИССЛЕДОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНЫХ ВОЛН В КОНСТРУКЦИЯХ СЛОЖНОЙ ФОРМЫ

Вопросам ударного взаимодействия тел посвящена обширная литература. Рост интереса к использованию космического пространства для развития ряда производств, средств связи и фундаментальных исследований поставил вопрос защиты пилотируемых и беспилотных космических аппаратов от ударов частиц естественного и техногенного происхождения.

Многочисленные теоретические исследования позволили осветить вопрос взаимодействия движущейся частицы (ударника) с преградой в виде тонкостенной конструкции: рассматривались вопросы проникания, появления динамических эффектов в преграде и т. д.

Для проведения экспериментальных исследований волновых процессов, возникающих в листовых конструкциях при высокоскоростном ударе, была использована экспериментальная установка (рис. 1).

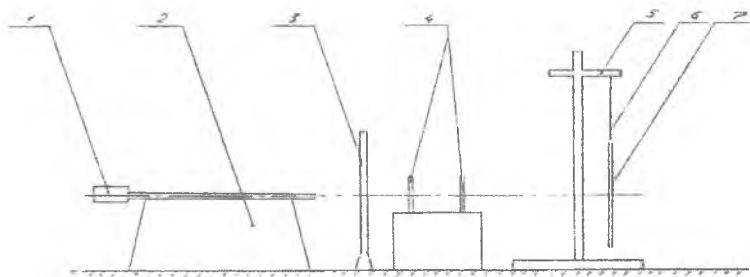


Рис. 1. Схема экспериментальной установки

- 1 — пороховой ускоритель, 2 — неподвижное основание,
3 — отсекатель технологических поддонов, 4 — пролётные датчики,
5 — универсальная рама, 6 — подвес образца, 7 — испытуемый образец

Установка состоит из огневого стенда и универсальной рамы крепления.

Огневой стенд, основой которого является пороховой ускоритель, установленный на неподвижном основании, обеспечивает разгон сферических ударников в диапазоне скоростей 600...2200 м/с с разбросом по скорости до 5%. Измерение скорости ударника осуществлялось контактным способом при помощи пролётных датчиков.

Универсальная рама крепления представляет собой жёсткую П-образную конструкцию и позволяет в зависимости от условий проведения эксперимента фиксировать

нужным образом листовые образцы с габаритными размерами до 1500x1500 мм при помощи специальных приспособлений. В ходе экспериментов листовая образец из сплава АМг-6 размерами 1500x1000x5 мм крепился при помощи лёгкого проволочного подвеса в рабочей зоне экспериментальной установки перпендикулярно направлению удара. Накладываемые при этом ограничения на движение листа незначительны, а масса подвеса пренебрежимо мала по сравнению с массой исследуемого образца.

В состав измерительной системы (рис. 2) входят акселерометры 1, 2 и 3 (тип 4367), установленные на листе; предусилители 4, 5 и 6 (тип 2626) и прецизионный магнитофон 7 (тип 70003) фирмы «Брюль и Кьер» и осциллограф 8 (С8-13).

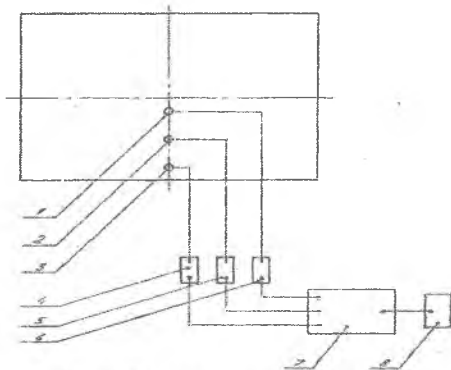


Рис. 2. Схема измерительной системы

Согласно рекомендациям, крепление Акселе к листу производится при помощи стальной шпильки. Такой способ крепления является наилучшим с точки зрения полноты снимаемой частотной характеристики, приближаясь к условиям получения действительной кривой калибровки. Исследования свободных колебаний листовой конструкции проводились для диапазона скоростей соударения 600 ... 2200 м/с. В качестве ударников использовались шары из стали ЦХ-15 диаметром 11 мм.

В процессе проведения экспериментов информация с датчиков через прецизионные усилители подавалась на вход магнитофона и записывалась на магнитную ленту. Контроль записи по каждому каналу осуществлялся с помощью осциллографа. В дальнейшем обработка результатов измерений проводилась с использованием частотного анализатора.

Частотный анализ каждого колебательного процесса проводился для четырёх моментов времени, условно соответствующих моменту удара t_1 и моментам времени $t_2 = T/4$, $t_3 = 3T/4$ и $t = T$, где T — длительность процесса. По предварительным оценкам

для заданного диапазона скоростей соударения величина T (для данного образца) составляет около 2 сек.

В процессе обработки результатов экспериментов сигнал с выхода магнитофона подавался на вход частотного анализатора, обеспечивающего разложение исходного (интегрального) сигнала на составляющие гармоники в диапазоне частот 1,6...20000 Гц.

По результатам частотного анализа строились зависимости $p_i = f_1(\lg \omega)_i$ и $p_j = f_2(t_i)$, $i = 1, 2, 3, 4$; j – число составляющих гармоник. Здесь p – среднеквадратичное значение перегрузки в местах установки датчиков, ω – круговая частота колебаний. На рис. 3 приведена зависимость уровня перегрузок от частоты составляющих гармоник в месте установки датчика 2 (расстояние от места удара $r = 660$ мм) для трёх моментов времени при скорости соударения $v = 2064$ м/с.

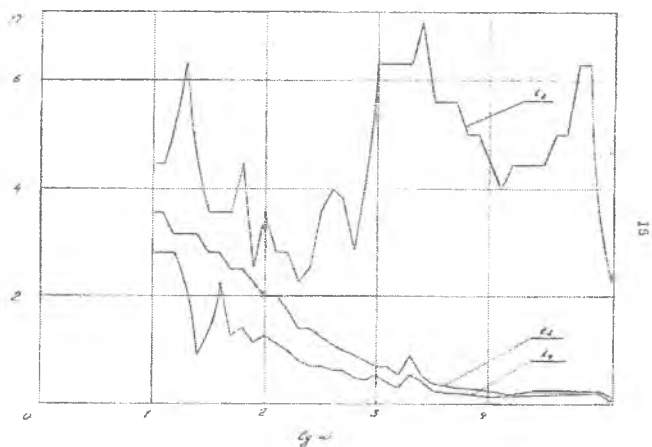


Рис. 3. Зависимость уровня перегрузок от частоты составляющих гармоник

На рис. 4 и 5 приведены зависимости $p = f(t_i)$ в месте установки датчика 2 для трёх составляющих гармоник при $v_1 = 590$ м/с и $v_2 = 2064$ м/с.

Расстояние от места удара до места установки датчика составляет $r_1 = 650$ мм и $r_2 = 660$ мм, соответственно.

На основе анализа результатов экспериментов можно сделать вывод, что возникающие при высокоскоростном ударе свободные колебания листа представляют собой полигармонический процесс со случайным распределением амплитуд и фаз. Общий уровень перегрузок, возникающих в местах установки датчиков, не превышает 200...300 единиц. Можно отметить, что затухание высокочастотных составляющих

происходит гораздо быстрее, чем низкочастотных (рис. 3) Так, для момента времени $t_2 = T/4$ уровень перегрузки на частотах $\nu_1 = 1,6$ Гц, $\nu_2 = 2$ Гц, $\nu_3 = 4$ Гц, $\nu_4 = 10$ Гц, $\nu_5 = 2500$ Гц, $\nu_6 = 3150$ Гц, $\nu_7 = 400$ Гц, $\nu_8 = 500$ Гц одинаков и равен 4,467, а для момента времени $t_3 = 3T/4$ на этих частотах имеем, соответственно, $n_1 = n_2 = 3,548$, $n_3 = 3,162$, $n_4 = 3,512$, $n_5 = n_6 = 0,178$, $n_7 = 0,158$, $n_8 = 0,282$. Таким образом, значение перегрузки уменьшается для частот $\nu_1 \dots \nu_4$ в 1,26...1,77 раза, а для частот $\nu_5 \dots \nu_8$ - в 15,85...25,12 раза.

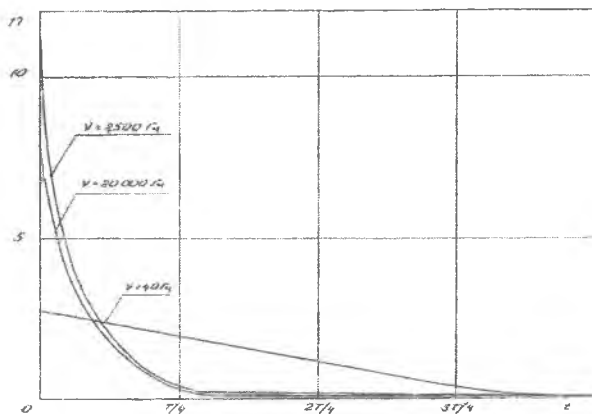


Рис. 4. Зависимость уровня перегрузок от моментов времени при $v_1 = 590$ м/с

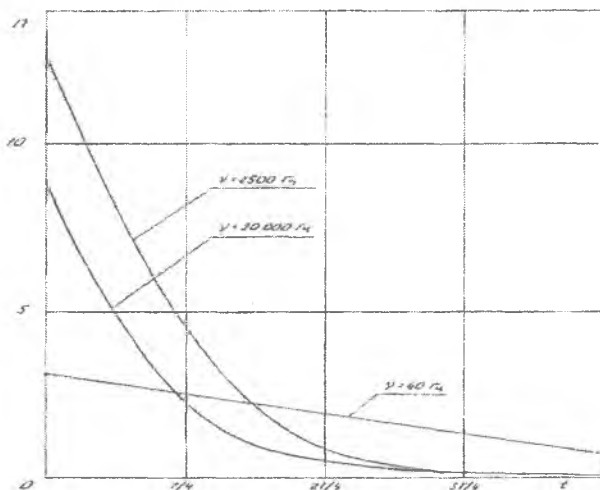


Рис. 5. Зависимость уровня перегрузок от моментов времени при $v_1 = 2064$ м/с