

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).

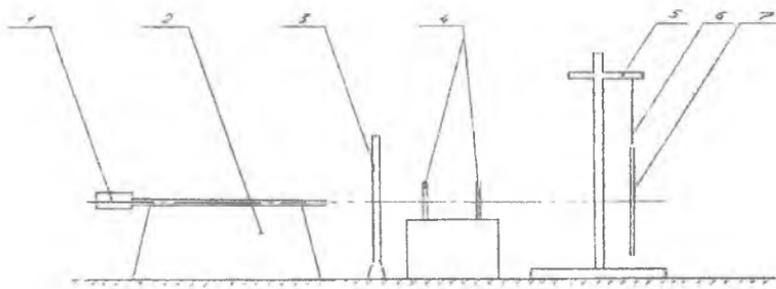


Рис 1. Схема экспериментальной установки

- 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).

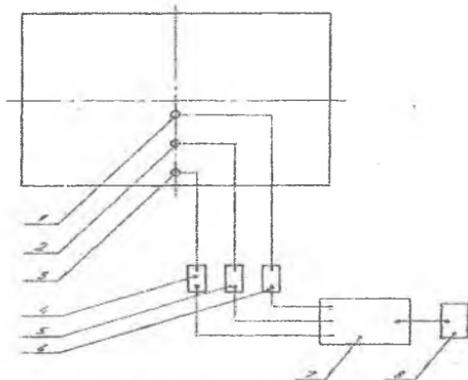


Рис. 2. Схема измерительной системы

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,  $\omega$  – 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.

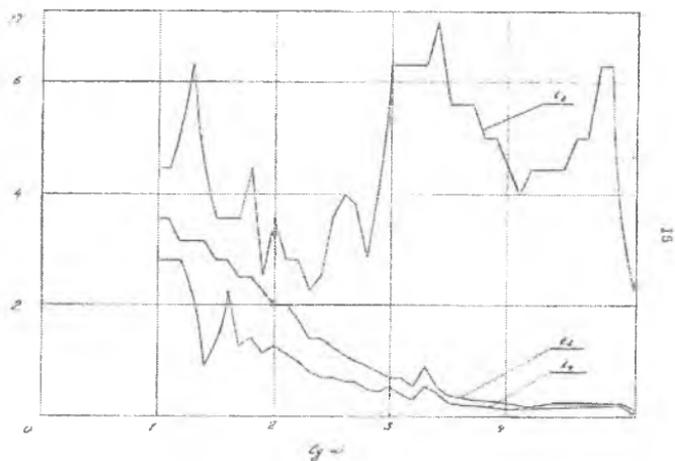


Рис. 3. Зависимость уровня перегрузок от частоты составляющих гармоник

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.

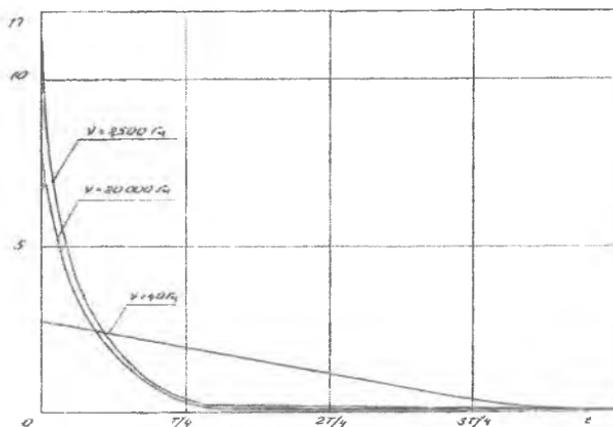


Рис. 4. Зависимость уровня перегрузок от моментов времени при  $v_1 = 590$  м/с

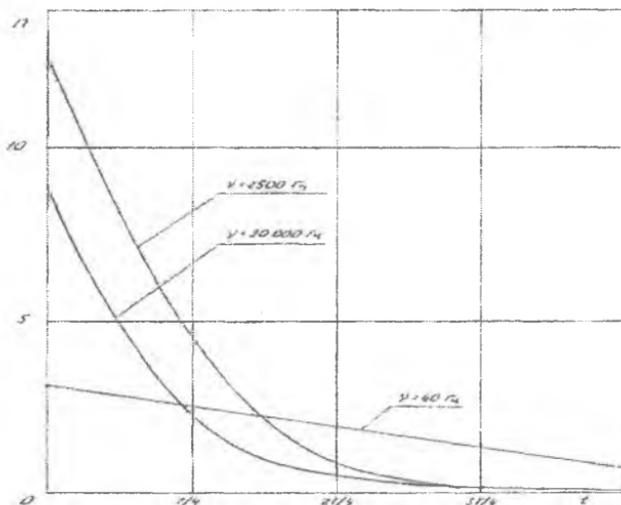


Рис. 5. Зависимость уровня перегрузок от моментов времени при  $v_1 = 2064$  м/с