

**О ВЛИЯНИИ ПОРИСТОГО СЖИМАЕМОГО ПОКРЫТИЯ
НА ХАРАКТЕР УДАРНО-ВОЛНОВОГО НАГРУЖЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ**

*Б. Е. Гельфанд, С. П. Медведев, А. Н. Поленов,
С. М. Фролов*

Взаимодействие плоских ударных волн с пористыми сжимаемыми материалами типа пенополиуретана (ППУ) и пенопласта исследовано в [1-3]. Показано, что максимальная амплитуда давления на стенке под слоем ППУ может значительно превышать величину давления нормального отражения ударной волны от жесткой стенки в отсутствие пористого покрытия. Для теоретического описания наблюдаемых эффектов в [4, 5] предложен метод, основанный на представлении двухфазной среды (ППУ+газ) эквивалентным газом с измененными по сравнению с чистым газом теплофизическими свойствами. Такой подход позволяет вычислять величину максимальной нагрузки и динамику ее выхода на давление отражения. Однако в рамках модели эквивалентного газа пока не описываются некоторые обнаруженные в [2, 3] особенности явления. Остаются неясными причина зависимости величины пика давления от высоты (толщины) слоя и отсутствие на профиле давления на стенке «полки» с постоянными параметрами на уровне пикового давления. Ниже предлагается альтернативная модель явления, основанная на рассмотрении движения пористого образца при внезапном нагружении.

Сущность процесса можно представить следующим образом. При отражении воздушной ударной волны от границы газ—ППУ пористая прокладка на торце ударной трубы оказывается мгновенно нагруженной газовым поршнем с давлением, близким к нормальному давлению отражения. Если давление значительно превышает характерную величину напряжения сжатия пористого материала, то на начальном этапе сила, противодействующая дви-

жению, оказывается пренебрежимо малой. В процессе развития деформации сопротивление образца возрастает по определенному закону.

Представим (рис. 1) столбик пористого сжимаемого материала единичной площади поперечного сечения массой m и высотой h эквивалентной механической системой с одной степенью свободы, состоящей из груза массы m и комбинации идеально пластического элемента Кулона с нулевой восстанавливающей силой (участок 1) и упругого элемента с упругостью k и демпфированием c (участок 2). Рассмотрим движение массы m под действием внезапно приложенной постоянной нагрузки p , соответствующей избыточному давлению в отраженной от поверхности образца ударной волне. На участке 1 тело приобретает скорость $v_0 \sim (p \rho^{-1})^{1/2}$, где ρ — плотность материала (для ППУ $\rho = 33 \text{ кг/м}^3$). Дальнейшее движение груза описывается уравнением

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = p \quad (1)$$

с начальными условиями

$$x(0) = 0, \quad \dot{x}(0) = v_0. \quad (2)$$

При различных соотношениях между величинами c и c_0 ($c_0 = 2(km)^{1/2}$ — критический коэффициент демпфирования) можно выделить три класса решений уравнения (1). Для рас-

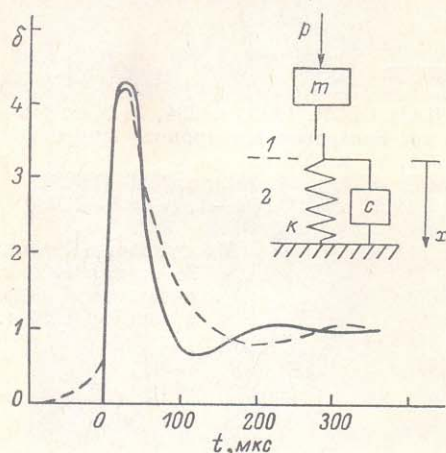


Рис. 1.

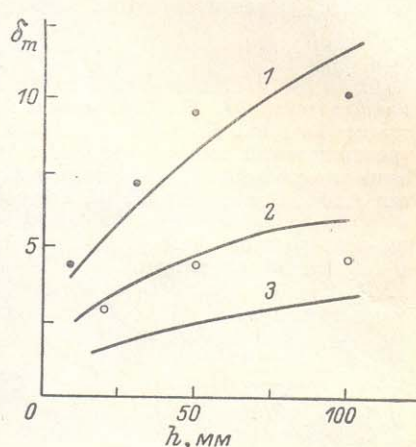


Рис. 2.

сматриваемой задачи характерно решение при $c < c_0$. Нагрузка на жесткую подложку в произвольный момент времени $t > 0$ есть $R = kx$. Для коэффициента относительной нагрузки $\delta = Rp^{-1}$ решение уравнения (1) с учетом (2) имеет вид

$$\delta = e^{-\alpha t} [(\gamma - \alpha) \beta^{-1} \sin \beta t - \cos \beta t] + 1, \quad (3)$$

где

$$\alpha = c(2m)^{-1}, \quad \beta = (km^{-1} - \alpha^2)^{1/2}, \quad \gamma = kv_0 p^{-1}.$$

Максимальное значение δ_m коэффициента относительной нагрузки достигается в момент времени t_m

$$t_m = \beta^{-1} \operatorname{arctg} \{ \beta \gamma [(\gamma - \alpha) \alpha - \beta^2]^{-1} \}. \quad (4)$$

Оценим скорость v_0 , допустив, что масса m первоначально расположена в центре масс исходного столбика ППУ и напряжение сжатия образца много меньше значения прикладываемой нагрузки p . Если учесть, что при 40 %-ной деформации характерное значение напряжения сжатия ППУ составляет $\sim 10^4$ Па [3], то последнее допущение справедливо при $p \gg 10^4$ Па. Тогда $v_0 = (0.4 p \rho^{-1})^{1/2}$, а скорость свободной границы образца есть $\sim 2 v_0$ и при $p = 0.15 \div 0.22$ МПа составляет 85—103 м/с. Измеренная в [3] в тех же условиях скорость границы ~ 95 м/с. Рассчитанная скорость границы ППУ—газ не зависит от высоты образца, что подтверждается измерениями в [2, 3].

На основании одного из экспериментов [3] ($h = 50$ мм, $p = 1.4$ МПа) из условия эквивалентности величины δ_m в модели и в опыте определяется значение k для ППУ. Оно составляет (при предположении $c/c_0 = 0.5 \div 0.6$) $(4 \div 4.2) \cdot 10^9$ н/м³. На рис. 1 сплошной линией представлена зависимость $\delta = \delta(t)$ при $h = 50$ мм и $p = 1.4$ МПа. Штриховая линия соответствует эксперименту [3]. Наличие плавного предвестника на измеренном профиле $\delta(t)$ связано, видимо,