

МЕТАНИЕ МАССИВНОГО ТЕЛА БЕЗ УПЛОТНЯЮЩЕЙ ПРОКЛАДКИ ПОТОКОМ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ

УДК 622.235.5

В. А. Складар

Военная инженерно-космическая академия им. А. Ф. Можайского,
197082 Санкт-Петербург

Рассматривается метание массивного пробойника нестационарным двухфазным (порошок — газ) потоком без использования специальных уплотнений. Представлены экспериментальные зависимости для скорости пробойника на срезе трубы, позволяющие оценить достижимый уровень его кинетической энергии при заданном давлении порохового газа и геометрических параметрах пробойника.

Движение тел в двухфазных (порошок — газ) средах рассматривалось в ряде работ, например [1, 2]. Исследования в этом направлении сконцентрированы в основном на определении гидродинамических характеристик тел, движущихся в псевдооживленных слоях или в стационарных потоках с низкой концентрацией частиц. В [3–5] впервые исследовано движение тел в нестационарном потоке двухфазной среды с концентрацией частиц, близкой к состоянию плотной укладки. Однако для решения практических задач необходимо проведение экспериментальных исследований в новом диапазоне режимных и геометрических параметров.

Данные исследования необходимы, например, для создания устройства порошкового тушения с метаемым телом (пробойником), предназначенного для локализации очагов горения в замкнутых объемах. Принцип работы такого устройства основывается на том, что пробойник устанавливается непосредственно в огнетушащем порошке, заполняющем ствол устройства. При разгерметизации ствола тяжелая двухфазная струя захватывает и разгоняет пробойник. После выхода из канала ствола пробойник опережает частицы порошка и лидирует, двухфазная струя следует за его донным срезом. При столкновении с препятствием пробойник вскрывает его, в образованную пробоину попадает огнетушащий состав и локализует очаг горения.

На рис. 1 представлена схема экспериментального стенда для изучения процесса разгона пробойника потоком песчано-воздушной среды, образующимся в результате разгерметизации трубы с песком, в пороховом пространстве которого находился газ под давлением. Стенд состоит из горизонтально расположенной трубы 1, закрытой мембраной 4. Труба засыпалась песком 2 с характерным диаметром частиц 0,25 мм, причем в трубе без уплотнений устанавливался пробойник 3. Скорость пробойника на срезе трубы регистрировалась с помощью катушек индуктивности 5. После наддува до заданного давления мембрана прорывалась, в результате чего происходил выброс двухфазной среды и метание пробойника.

Для нахождения вида зависимости, позволяющей получить скорость пробойника на

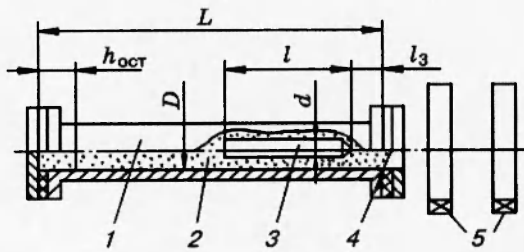


Рис. 1. Схема экспериментального стенда:

1 — труба, 2 — песок, 3 — пробойник, 4 — мембрана, 5 — катушка индуктивности

срезе трубы, использовалась методика [3].

В результате обработки экспериментальных данных по методу наименьших квадратов получена зависимость для определения скорости пробойника на срезе трубы при $l/L = 0,225$ и $0,32 \leq d/D \leq 0,73$, которая в размерном виде (размерность величин в системе СИ) имеет вид

$$v = 1,326 \frac{p}{\sqrt{k\rho_{\text{п}}^2(p + p_{\text{а}})/(\Pi\rho)}} \left(\frac{\rho_{\text{п}}}{\rho}\right)^{0,65} B^{0,13}, \quad (1)$$

где $B = 1 - h/L$ — член, учитывающий влияние начального положения пробойника относительно среза трубы; v — скорость пробойника; $p, p_{\text{а}}$ — начальное давление наддува порового пространства песка в трубе и атмосферное давление соответственно; $\rho, \rho_{\text{п}}$ — начальная насыпная плотность песка и плотность материала пробойника; L, l — длины трубы и пробойника; h — длина трубы, заполненная оставшимся после выброса песком; k — показатель адиабаты порового газа; Π — пористость (относительный объем пор) песка.

В экспериментах отношения параметров варьировались в следующих диапазонах: $1,6 \leq p/p_{\text{а}} \leq 40,0$; $0,35 \leq B \leq 1,0$; $0,229 \leq \rho/\rho_{\text{п}} \leq 1,33$.

Величина h/L , входящая в (1), может быть определена по формуле [4]

$$\frac{h}{L} = \frac{1}{1 + 0,225(p/p_{\text{а}})^{1,42}}.$$

На рис. 2 показано влияние относительной длины пробойника, установленного у среза трубы, на его скорость. В качестве масштаба для скорости выбрана величина $\sqrt{p/\rho}$, т. е. $\bar{v} = v/\sqrt{p/\rho}$.

С увеличением длины пробойника его скорость убывает и может быть описана зависимостью

$$\bar{v} = A(1 - C(l/L)^{\beta}). \quad (2)$$

Вместе с тем увеличение l приводит к возрастанию массы пробойника. На рис. 3 представлены экспериментальные значения (точки) удельной кинетической энергии ударника, выполненного из конструкционной стали, в зависимости от его длины, показывающие, что величина кинетической энергии имеет максимум при определенном значении l/L .

Подставив в выражение для кинетической энергии значение скорости (2), можно найти положение максимума:

$$(l/L)_1 = \left(\frac{1}{C(1 + 2\beta)}\right)^{1/\beta}. \quad (3)$$

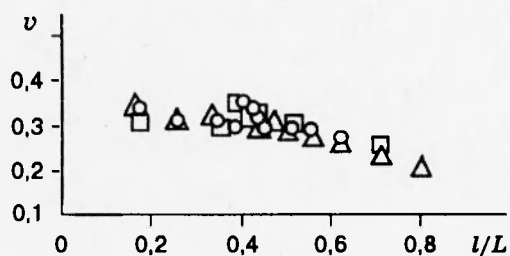


Рис. 2

Рис. 2. Зависимость безразмерной скорости пробойника от его относительной длины ($l_3 = 0$, $\rho_{\text{п}} = 7500 \text{ кг/м}^3$)

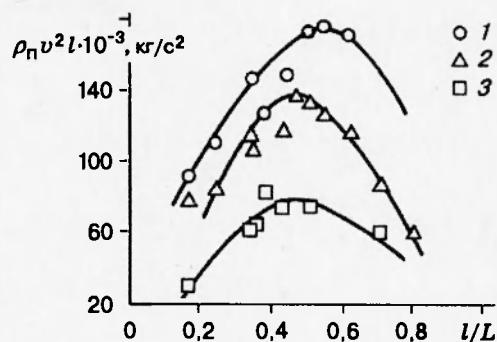


Рис. 3

Рис. 3. Экспериментальная зависимость удельной кинетической энергии пробойника от его относительной длины ($l_3 = 0$, $\rho_{\text{п}} = 7500 \text{ кг/м}^3$); p/p_a : 1 — 20, 2 — 16, 3 — 8

Из (3) следует вывод, что для конкретных труб, заполнителя и материала пробойника оптимальная длина пробойника с точки зрения достижения максимальной кинетической энергии не зависит от давления порохового газа.

В результате обработки экспериментальных данных определены значения коэффициентов, входящих в (2): $A = 0,5$, $C = 0,69$, $\beta = 1,4$, при которых из зависимости (3) следует $l/L = 0,5$. Значения кинетической энергии пробойника в случае, когда его диаметр остается неизменным, с учетом установленных коэффициентов приведены на рис. 3 (линии).

ЛИТЕРАТУРА

1. Розенбаум Р. Б., Тодес О. М. Движение тел в псевдооживленном слое. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980.
2. Матвеев С. К., Сеюкова Л. П. Газодинамика и теплообмен. Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1980. Вып. 6.
3. Иванов А. С. Экспериментальное исследование метания тел нестационарным потоком двухфазной среды // Физика горения и взрыва. 1989. Т. 25, № 1. С. 73–77.
4. Любарский С. Д., Иванов А. С., Скляр В. А. Влияние отдачи на параметры нестационарного истечения двухфазной среды из канала // Физика горения и взрыва. 1992. Т. 28, № 5. С. 58–61.
5. Кукушкин И. О., Любарский С. Д. Экспериментальное исследование параметров нагружения конструкций потоком двухфазной среды при разрыве емкости // Физика горения и взрыва. 1994. Т. 30, № 2. С. 119–121.

Поступила в редакцию 2/VI 1995 г.