

с временем достижения  $p_{\max}$  пороховых газов в канале ствола. При этом очень важно, что присоединенный заряд фактически начинает работать, когда кривая зависимости давления пороховых газов от времени (или длины ствола) уже перешла на нисходящую ветвь. Это исключает возможность повышения давления газов выше допустимого.

На рис. 2 приведены графики расчетных значений давления газов и скорости движения разгоняемого тела массой 0,4 кг вдоль ствола лабораторной метательной установки (кривые 1 и 1а) и для того же тела, но оснащенного присоединенным зарядом массой 0,01 кг, который срабатывает с общей задержкой 1,5 мс после достижения пороховыми газами  $p_{\max}$  (кривые 2 и 2а). Во втором случае приращение скорости метаемого тела достигает 70 м/с.

Предлагаемый способ воспламенения присоединенного заряда универсален. Он может быть применен в метательных установках любого калибра с помощью соответствующего перерасчета коэффициента повышения  $p_{\text{повыш}}$  метающих пороховых газов основного заряда. Взятый в качестве примера взрывчатый состав на основе ТНМ может быть заменен на какой-либо другой, также способный взрываться в условиях всестороннего сжатия при достижении соответствующего этому составу  $p_{\text{кр}}$ .

Приведенные здесь результаты не претендуют на полноту. Работа носила постановочный характер, и ее развитие требует расширенных независимых исследований с целью получения детальной информации о влиянии варьирования массы и времени физического действия присоединенного заряда на скорость метаемого тела. При оптимизации всех условий разгона метаемого тела прирост скорости может достигать 30 %.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Oberle W.F., Wren G.P. Params for Optimizing a Travelling Charge Gun System // Government Reports Announcements Index. — 1988. — N 22.
2. Ларионов Л.В., Богомолов В.М., Ениколопан Н.С. Разложения нитросоединений при изотермическом сжатии // Докл. РАН. — 1992. — 323, № 4.
3. Баум Ф.А., Орленко Л.П., Станюкович К.П. и др. Физика взрыва. — М.: Наука, 1975.

115487, г. Москва, ЦНИИХМ

Поступила в редакцию 6/V 1993

УДК 534.222.2

*И.О. Кукушкин, С.Д. Любарский*

#### ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ПОТОКОМ ДВУХФАЗНОЙ СРЕДЫ ПРИ РАЗРЫВЕ ЕМКОСТИ

Представлены результаты экспериментального исследования взаимодействия двухфазного потока с элементами конструкций. Проанализированы особенности нагружения плотной двухфазной средой после прохождения воздушной ударной волны. Приведены экспериментальные зависимости импульса и длительности фазы сжатия от особых условий воздействия.

В связи с распространением в промышленности технологических процессов производства и переработки сыпучих материалов, разработки систем пневмотранспорта при высоком давлении возникает проблема обеспечения безопасности оборудования, в котором в качестве рабочего тела используется двухфазная среда. При аварийном разрыве сосудов высокого давления нестационарный поток двухфазной среды может воздействовать на расположенные вблизи элементы установок. В работах [1—3] исследовались параметры

© И.О. Кукушкин, С.Д. Любарский, 1994.

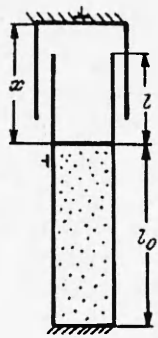


Рис. 1. Схема экспериментальной установки.

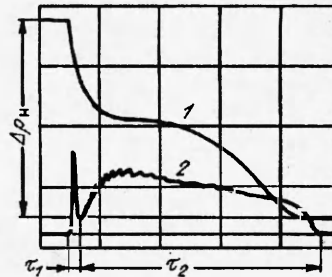


Рис. 2. Типичная осциллограмма записи давлений.  
1 — показания датчика в канале; 2 — показания датчика в крышке колпака.

распространяющихся в таких случаях воздушных ударных волн (УВ). Представляется важным получение информации о взаимодействии плотной движущейся среды с элементами конструкций (после прохождения воздушной УВ).

С целью изучения параметров нагружения конструкций при разлете сжатого объема двухфазной среды выполнены эксперименты на установке, схема которой представлена на рис. 1. Канал круглого сечения диаметром  $d = 0,022$  м разделен диафрагмой на две части. Нижняя часть длиной  $l_0 = 1$  м заполнена сыпучим материалом. Верхняя часть длиной  $l = 0,5$  м сообщается с атмосферой и входит в колпак круглого сечения. Положение колпака относительно канала  $x$  фиксируется и может варьироваться. В экспериментах в качестве сыпучего материала использовался песок с насыпной плотностью  $1500\text{—}1700$  кг/м<sup>3</sup> и характерным диаметром частиц  $0,25$  мм, начальная пористость  $0,45$ .

При наддуве порового пространства песка сжатым воздухом до заданного давления вскрывалась диафрагма и происходил выброс песка под колпак. Поток двухфазной среды оказывал силовое воздействие на крышку колпака, при этом происходило выдавливание среды в зазор между колпаком и каналом.

Давление наддува  $\Delta p_n = 1,2 \pm 0,05$  МПа. Датчики давления были установлены под диафрагмой в засыпанной части канала и в крышке колпака. Сигналы от датчиков записывались осциллографом.

При движении двухфазного потока воздушная УВ опережает границу твердой фазы, при этом ее амплитуда меньше, чем при разлете чистого газа [2]. Это зарегистрировано и в проведенных экспериментах. Типичная осциллограмма записи давления представлена на рис. 2. Стесненность расположения канала в колпаке препятствует расширению среды, что приводит к сжатию натекающего потока под колпаком и повторному нагружению конструкции. Длительность нагружения от плотной среды  $\tau_2$  значительно превышает время воздействия воздушной УВ  $\tau_1$ . По измерениям площади осциллограммы под кривой  $\Delta p = \Delta p(t)$  вычислялся импульс фазы сжатия

$$I = \int_{\tau_1}^{\tau_2} \Delta p(t) dt.$$

Условие стесненности в опытах задавалось применением колпаков различного диаметра, отношение площади зазора между стенками колпака и канала к площади канала  $F_z/F_k = 4, 1$  и  $0,5$ . Максимальное удаление от диафрагмы  $x$  соответствовало совпадению уровней среза колпака и канала.

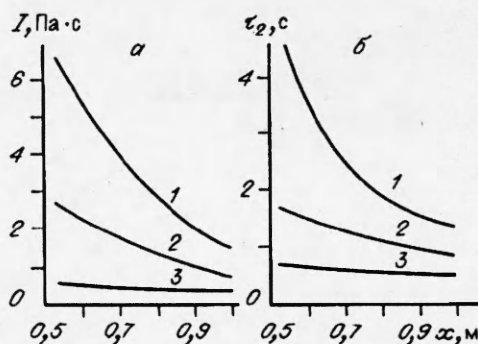
На рис. 3 представлены экспериментальные зависимости импульса фазы сжатия и длительности силового нагружения от удаления колпака от диаф-

Рис. 3. Зависимости  $I(x)$  (а) и  $\tau(x)$  (б).  
 $F_3/F_k$ : 1 — 0,5, 2 — 1,3 — 4.

рагмы при различной стесненности. Видно, что более стесненные условия истечения двухфазного потока приводят к увеличению импульса и длительности фазы сжатия. Удаление колпака от диафрагмы приводит к ослаблению факторов нагружения. Следует заметить, что при  $F_3/F_k > 1$  изменение положения

колпака оказывает все менее заметное влияние на величину импульса и длительность его действия. Во всех случаях максимальное избыточное давление фазы сжатия меньше амплитуды воздушных УВ, полученных при разлете чистого газа, однако импульс давления фазы сжатия превышает импульс УВ в 5—6 раз из-за гораздо большего времени действия.

Таким образом, при разрыве объемов высокого давления с газом и средой насыпной плотности на элементы конструкций оказывают воздействие как воздушная УВ, так и нестационарный поток двухфазной среды. При этом параметры силового нагружения элементов конструкций в значительной мере будут зависеть от условий истечения.



#### ЛИТЕРАТУРА

1. Гельфанд Б.Е., Губанов А.В., Медведев С.П. и др. Ударные волны при разлете сжатого объема газозвеси твердых частиц // Докл. АН СССР. — 1985. — 281, № 5. — С. 1113—1116.
2. Медведев С.П., Поленов А.Н., Гельфанд Б.Е. и др. Воздушные УВ при внезапном расширении сжатой двухфазной среды насыпной плотности // ФГВ. — 1987. — 23, № 3. — С. 135—139.
3. Кутушев А.Г., Рудаков Д.А. Численное исследование параметров воздушных УВ при разделе расширяющегося слоя порошкообразной среды // ФГВ. — 1992. — 28, № 6. — С. 105—112.

197342, г. Санкт-Петербург,  
 Военная инженерно-космическая академия

Поступила в редакцию  
 9/VI 1993