

где  $\cos 2\psi = -\chi$ ;  $\Omega = \Omega(\xi)$  — произвольная функция, удовлетворяющая неравенству  $\frac{d^2\Omega}{d\xi^2} \sin 2\psi > 0$ . Простейший вид функции  $\Omega(\xi)$  с  $\Omega'' = \text{const}$  дает линейную зависимость вектора  $\bar{v}$  от переменной  $\xi = x \cos \psi + y \sin \psi$ . Причем векторное поле  $\bar{v}(x, y)$  параллельно прямым  $\xi = \text{const}$ .

Для угла  $\psi$  в первом квадранте ( $\cos \psi = \sqrt{\frac{1-\chi}{2}}$ ,  $\sin \psi = \sqrt{\frac{1+\chi}{2}}$ ) такое поле скоростей с точностью до постоянного вектора находим из выражений:

$$\begin{aligned} u_x - v_0 \sin \psi (x \cos \psi + y \sin \psi) / L, \\ u_y = -v_0 \cos \psi (x \cos \psi + y \sin \psi) / L, \end{aligned} \quad (17)$$

$v_0, L$  — константы;  $v_0/L > 0$ .

В системе координат, повернутой относительно главных осей тензора  $S_{ij}$  соответствующим образом, полученное решение можно представить в виде

$$\begin{aligned} u_x = 0, \quad u_y = v_0/L \cdot x, \quad v = v_0 = \text{const}, \\ S_{xx} = -Y^2/3\mu = -Y/\sqrt{3} \cdot \chi, \quad S_{yy} = Y/\sqrt{3} \cdot \chi, \\ S_{xy} = \pm \sqrt{1-\chi^2} \cdot Y/\sqrt{3}, \quad S_{xy} \cdot v_0/L > 0, \quad v_0/L = \text{const}. \end{aligned} \quad (18)$$

Решение (18) может служить в качестве теста для экспериментального подтверждения факта неустойчивости и для исследования характера проявления неустойчивости в той или иной разностной методике.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Уилкинс М. Л. // Вычислительные методы в гидродинамике.— М.: Мир, 1976.
2. Майнчен Д., Сак С. // Там же. М.: Мир, 1976.
3. Быченко В. А., Гаджиева В. В. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Методики и программы численного решения задач математической физики. 1978.— Вып. 2(2).
4. Бацуров В. В., Свидинский В. А., Крюкова Т. Ф. // Там же.
5. Бацуров В. В., Свидинский В. А. ЧММСС, 1982, 13, 2.
6. Курант Р. Уравнения с частными производными.— М.: Мир, 1964.

г. Челябинск

Поступила в редакцию 12/V 1988

УДК 621.039.634 : 539.8 + 621.039.634 : 533.6.013.42

А. И. Белов

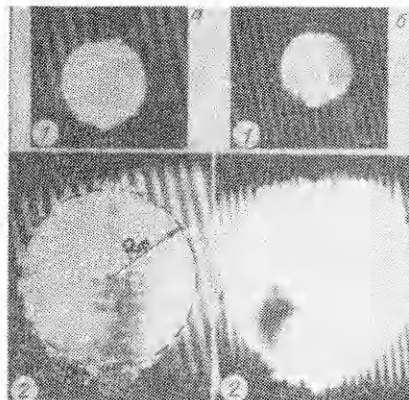
#### НЕИДЕАЛЬНОСТИ НАГРУЗКИ ВО ВЗРЫВНЫХ КАМЕРАХ

Большинство опубликованных к настоящему времени работ, посвященных расчету динамики взрывных камер, базируется на предельно упрощенном представлении нагрузки, основу которого составляет условие равномерности давления ударной волны (УВ) взрыва. Такое допущение также априорно принимается и в интерпретациях экспериментов. Между тем использование подобной идеализации не имеет достаточных оснований, поскольку, с одной стороны, в литературе отсутствуют данные, характеризующие пространственное распределение нагрузок в реальных системах заряд — оболочка, с другой — недостаточно изучен вопрос о влиянии неравномерностей нагрузки на динамическую реакцию силовых оболочек камер.

Для сферических систем заряд — оболочка можно выделить две основные причины нарушения идеальности воздействия взрыва. Первая связана с погрешностями установки заряда. Динамика сферической камеры в случае эксцентричного положения заряда исследована в [1—3].

© 1990 Белов А. И.

Фоторегистрограммы разлета ПД шарового заряда ТГ 50/50 массой 55 (а) и 950 г (б).  
 $1 - R_{\Phi}/r_0 = 5$ ;  $2 - R_{\Phi}/r_0 = 10$ .



Вторая обусловлена возможной несферичностью фронта и пространственной неравномерностью параметров УВ. Поводом для последнего предположения и одновременно мотивом проведения настоящей работы послужили данные экспериментов [3], согласно которым при нагрузках, создаваемых взрывом шарового заряда ВВ, расположенного в центре сферической оболочки, амплитуды деформаций первого полупериода колебаний в ее нижнем полюсе превосходят значения амплитуд деформаций на экваторе в  $\sim 1,4$  раза. Это различие не может быть вызвано возмущениями, возбуждаемыми конструктивными неоднородностями (в данном случае патрубком в верхнем полюсе), поскольку, как следует из результатов численного моделирования [4], изгибные волны, зарождающиеся у патрубка, достигают зоны экватора через промежуток времени, превышающий  $1/4$  периода колебаний.

С целью выяснения причин возникновения зарегистрированного повышенного уровня деформаций в нижнем полюсе оболочки проведены оптические наблюдения разлета продуктов детонации (ПД) шарового заряда ВВ, идентичного использованному в [3], при взрыве в неограниченном объеме в воздухе. Заряды из состава ТГ 50/50 плотностью  $1,65 \text{ г/см}^3$  имели массу 55 г и радиус  $r_0 = 0,02 \text{ м}$ . Заряды инициировались промышленными детонаторами, которые помещались в цилиндрический канал диаметром 10 мм, выполненный в теле заряда, при этом торец детонатора располагался в центре заряда. Для регистрации процесса использовалась ждущая луна времени ЖЛВ-2, работавшая в режиме кадрированной съемки. В поздних стадиях процесса ( $R_{\Phi}/r_0 \approx 10$ ,  $R_{\Phi}$  — радиус фронта ПД) съемка проводилась с применением аргонной подсветки. Пространственное положение заряда и детонатора перед подрывом при оптических наблюдениях разлета ПД соответствовало исходному положению в экспериментах со сферической оболочкой [2] — ось симметрии заряда совпадала с осью камеры, кумулятивная выемка детонатора была обращена к нижнему полюсу. Относительный размер зоны инициирования составлял  $r_g/r_0 \approx 0,2$  ( $r_g$  — радиус капсуля-детонатора).

Фоторегистрограммы разлета ПД для двух стадий процесса представлены на рисунке а. Вторая стадия практически совпадает с моментом прихода фронта на внутреннюю поверхность оболочки (радиус внутренней поверхности камеры  $R_k = 0,215 \text{ м}$ ).

В ранних стадиях геометрия фронта близка к сферической. При достижении  $R_{\Phi}/r_0 = 10$  в нижней части фронта во всех экспериментах отмечено формирование струйного искривления контактной поверхности, которое сохранялось и прогрессировало вплоть до  $R_{\Phi}/r_0 = 15$  (более поздние фазы процесса не рассматривались). Телесный угол области, занятой возмущением, составлял  $30 \div 35^\circ$ .

Возникновение указанной асимметрии фронта ПД, по-видимому, обусловлено направленным действием детонатора, которое приводит к пространственной неоднородности параметров возбуждения детонации на поверхности инициирования. Гетерогенность системы в исходном состоянии, связанная с введением детонатора в вещество заряда, играет, скорее всего, второстепенную роль в формировании струйного возмущения, поскольку в опытах с инициированием детонации с поверхности заряда также обнаружено выпячивание фронта в направлении инициирования.

Зона оболочки	$p$ , МПа	$\tau$ , мкс	$I$ , Н·с/м <sup>2</sup>
Экватор	21+6,4	115+9	687
Нижний полюс	31÷58	96	780÷1100

Примечание.  $p$  — амплитуда давления ударной волны, действующей на внутреннюю поверхность камеры;  $\tau$  — время действия УВ;  $I$  — импульс УВ.

С уменьшением относительных размеров зоны инициирования относительные линейные размеры локального возмущения уменьшаются, о чем свидетельствуют кинограммы разлета ПД заряда массой 950 г ( $r_0 = 52$  мм,  $r_g/r_0 = 0,09$ ), представленные на рисунке, б, но возрастает общая асимметрия фронта (эллипсность).

Обсуждаемый эффект не является чисто геометрическим. Измерения, проведенные в зоне нижнего полюса оболочки (методика аналогична описанной в [3]), показали, что давление и импульс нагрузки превосходят значения этих параметров в невозмущенных областях, в частности на экваторе, и отличаются высокой нестабильностью. В связи с последним обстоятельством и недостаточным объемом выборки результатов измерений ( $n = 5$ ) в таблице приведены максимальные и минимальные значения этих параметров в нижнем полюсе, доверительные интервалы не вычислялись. Обнаруженный эффект пространственной асимметрии распределения импульса и давления, видимо, и послужил причиной возникновения повышенного уровня деформаций в нижнем полюсе оболочки, отмеченного в экспериментах [3], поскольку именно эта область подвергалась воздействию искаженного фронта.

Как показали эксперименты с поворотом заряда на  $90^\circ$  (ось детонатора располагалась в плоскости экватора), наличие такого типа аномалий не сказывается на развитии эффектов раскачки — колебаний, наиболее ярко проявляющихся в зоне нижнего полюса (см. [3]), и их количественных характеристиках, что по сути есть дополнительное подтверждение вывода [3] об отсутствии связи раскачки колебаний взрывных камер с нарушением центральной симметрии нагрузки.

Наличие пространственной асимметрии параметров УВ, для принятой в настоящих исследованиях схемы инициирования (широко распространенной в практике аналогичных экспериментов) детонации шаровых зарядов, указывает на необходимость методического совершенствования традиционных методов инициирования при проведении динамических экспериментов с оболочками малого масштаба в тех случаях, когда размеры зоны инициирования составляют заметную долю от характерных размеров заряда. Разумеется, это необходимо лишь в прецизионных экспериментах по изучению полей деформаций, а также в случае оболочек, в которых эффекты раскачки отсутствуют или существует зависимость амплитудно-частотных характеристик процесса свободных колебаний от пространственно-временного распределения импульсной нагрузки.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бейкер В. Е., Ху В. С. Л., Джэксон Т. Р. Прикладная механика, 1966, 33, 4, 45—51.
2. Baker W. E. J. Acoust. Soc. Am., 1961, 33, 12, 1749—1758.
3. Белов А. И., Клаповский В. Е., Корнило В. А. и др. ФГВ, 1984, 20, 3, 71—73.
4. Абакумов А. И., Егунов В. Е., Иванов А. Г. и др. ПМТФ, 1984, 3, 127—130.

г. Москва

Поступила в редакцию 25/V 1988