

ВВ	$\rho_{0к}$, г/см	D_k , км/с	ВВ	$\rho_{0к}$, г/см	D_k , км/с
Тротил	1,663	7,15	ТЭН	1,770	8,35
Тетрил	1,730	7,74	Гексоген	1,820	8,80

$$\varphi = \begin{cases} \rho_{0к} D_k^2 A (x - 1)^m & \text{при } x > 1, \\ 0 & \text{при } x \leq 1, \end{cases} \quad (41)$$

где $x = \delta/\delta_*$; $A = 0,0139$; $\gamma_0 = 1,375$; $\gamma_\infty = 1,667$; $\delta_* = 0,35$; $m = 2,284$.

Для окончательного построения уравнения состояния ПД конкретного плотного ВВ нужно определить параметры $\rho_{0к}$ и D_k (для некоторых ВВ они приведены в таблице). Для смесевых ВВ значения $\rho_{0к}$ и D_k выражаются через $\rho_{0кi}$ и D_{ki} с помощью простых уравнений

$$\rho_{0к} = 1 / \left(\sum_i \alpha_i / \rho_{0кi} \right), \quad D_k^3 = \sum_i \alpha_i D_{ki}^3.$$

На рисунке приведено сравнение функций $W(\Delta)$ (а), $N(\Delta)$ (б) и $K(\Delta)$ (в) (линии) с экспериментальными данными из [1, 3—9]; 1 — тротил, 2 — гексоген, 3 — тэн, 4 — тетрил.

ЛИТЕРАТУРА

1. Баум Ф. А., Станюкович К. П., Шехтер Б. И. Физика взрыва.— М.: Физматгиз, 1959.
2. Ландау Л. Д., Станюкович К. П. Докл. АН СССР, 1945, 46, 399.
3. Юхансон К., Персон П. Детонация ВВ.— М.: Мир, 1973.
4. Жерноклетов М. В., Зубарев В. Н., Телегин Г. С. ПМТФ, 1969, 4.
5. Зубарев В. Н. ПМТФ, 1965, 2.
6. Кузнецов Н. М., Шведов К. К. ФГВ, 1965, 1, 4, 85.
7. Дремин А. П., Савров С. Д., Трофимов В. С. и др. Детонационные волны в конденсированных средах.— М.: Наука, 1970.
8. Светлов Б. Я., Яременко Н. Б. Теория и свойства промышленных взрывчатых веществ.— М.: Недра, 1973.
9. Миллер Р. Приближенное уравнение состояния продуктов детонации // Детонация и двухфазное течение.— М.: Мир, 1966.

Поступила в редакцию 5/IV 1988

УДК 519.63 : 539.3

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СФЕРИЧЕСКОЙ КАМЕРЫ С ПАТРУБКОМ ПРИ НЕСИММЕТРИЧНОМ ВНУТРЕННЕМ ИМПУЛЬСНОМ НАГРУЖЕНИИ

С. М. Бахрах, А. В. Певницкий, Г. П. Симонов, В. П. Соловьев
(Москва)

Ранние исследования взрыва ВВ в замкнутой упругой сферической камере проводились в предположении, что корпус камеры сферически-симметричный, а центр сферического заряда ВВ совпадает с геометрическим центром системы [1]. Теоретические рассуждения позволяют предсказать, что корпус камеры будет совершать колебания с частотой, не зависящей от внешнего импульса и определяемой свойствами материала и размерами камеры (основная частота колебания камеры). Проведенные эксперименты и расчеты позволили найти величину деформаций на первом-втором периоде колебаний корпуса камеры при различных массах заряда ВВ и заполняющей камеру среде.

Реально корпус камеры, представляющий собой тонкую прочную оболочку, имеет технологические отклонения от сферичности. Наиболее

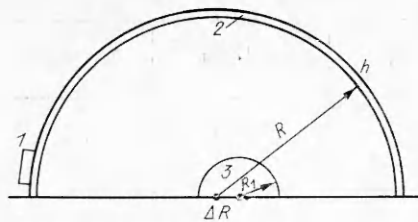


Рис. 1. Схема взрывной камеры.

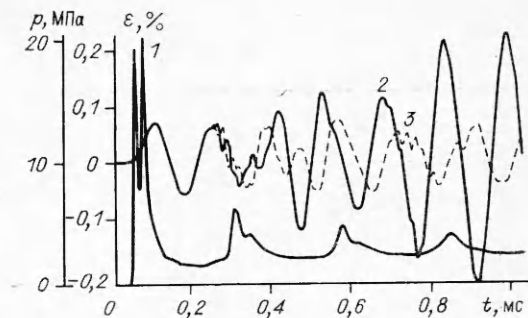


Рис. 2. Зависимость $p(t)$ на внутренней поверхности оболочки и деформации на полюсе камеры.

существенное из них — наличие загрузочного патрубка, вносящее значительную несимметрию; заряд ВВ может быть размещен не в геометрическом центре системы. Задача о поведении сферической камеры с патрубком при центрально-симметричном приложенном импульсном давлении $p(t)$ рассматривалась в [2—5]. Аналитические методы позволяют оценить номер изгибной пространственной гармоники с частотой колебаний, равной основной частоте, возникающей сразу же после начала движения и играющей важную роль в динамике колебаний, и определить наиболее быстро растущие изгибные гармоники. Полное исследование деформаций корпуса возможно провести только с использованием численных методов. Характерная особенность полученных результатов состоит в наличии раскочки колебаний, когда амплитуда деформаций в отдельных точках корпуса камеры увеличивается от периода к периоду, возрастая в несколько раз по сравнению с амплитудой деформаций на первом периоде.

В данной работе исследуются численно колебания корпуса замкнутой сферической камеры с присоединенной массой при центральном и нецентральных положениях ВВ (эксцентриситет центра заряда $\Delta R/R = 0; 0,1; 0,2$). Подобные эксперименты описаны в [2]. Корпус камеры рассчитывался в приближении Тимошенко. Численная методика [6] позволяет определять деформирование оболочки, контактирующей с сжимаемой сплошной средой. Для расчета движения продуктов взрыва использовались уравнения двумерной нестационарной газодинамики в лагранжево-эйлеровых переменных [7]. В результате получено распределение величины максимальных растягивающих деформаций на внешней и внутренней поверхности оболочки после первого периода и после ~ 8 периодов колебаний. Найдена зависимость $p(t)$ на внутренней поверхности камеры.

На рис. 1 показана схема взрывной камеры (разрез), состоящей из сферического корпуса 2, патрубка, моделируемого присоединенной массой 1, заряда ВВ 3 и воздушного пространства между ВВ и внутренней поверхностью камеры. Радиус оболочки $R = 0,215$ м, и толщина h варьировалась. Материал корпуса — сталь с модулем Юнга $E = 210$ ГПа и коэффициентом Пуассона $\nu = 0,3$. В расчетах поверхность оболочки разделялась в окружном направлении на 180 столбцов. Присоединенная масса задавалась обычно толщиной $H = 4h$ в 13—23 столбцах. На рис. 1 область 3 — продукты взрыва (ПВ) ($R_1 = 0,0215$ м). В начальный момент задавалось мгновенное энерговыделение $E = 4,95$ кДж/г. Применялось уравнение состояния ПВ Зубарева [8] с $\rho_0 = 1,65$ г/см³. Плотность воздуха $\rho_0 = 0,0013$ г/см³, уравнение состояния воздуха — табличное [9]. В расчетах область внутри камеры разделялась сеткой на 36 столбцов, в воздухе и ПВ задавалось по 8 строк.

Разлетающиеся с высокой скоростью продукты взрыва долетают до корпуса камеры и затормаживаются им, вследствие чего на внутренней поверхности камеры возникает импульс давления $p(t)$. В условиях работы [2] для центрально-симметричного взрыва при толщине камеры

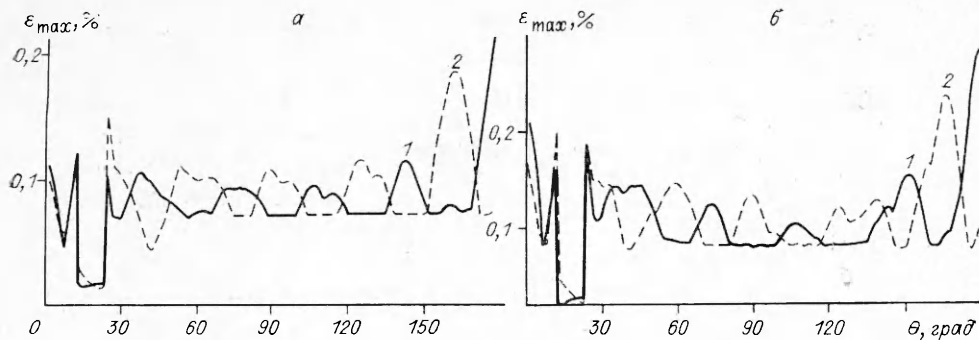


Рис. 3. Максимальные продольные деформации на внутренней (1) и внешней (2) сторонах камеры при $\Delta R/R = 0$ (а) 0,2 (б).

0,989 см на первом пике в расчете $p_{\max} = 200$ атм, что согласуется с измерениями, выполненными кварцевым датчиком в [2]. В дальнейшем на камеру приходят вторичные, более слабые импульсы давления (рис. 2, 1).

На рис. 2 показана зависимость от времени продольных деформаций в полюсе камеры, противоположном присоединенной массе на внутренней и внешней поверхностях камеры. (Окружные деформации в полюсе совпадают с продольными из-за условия осевой симметрии.) Видно, что на внутренней стороне камеры в полюсе после нескольких периодов колебаний амплитуда увеличивается с 0,072 % на первом периоде до 0,23 %, т. е. в 3,2 раза. Заметного роста деформаций на внешней стороне в расчете не отмечается. Деформации на внутренней и внешней сторонах некоторое время одинаковы, потом существенно отличаются.

Практически оказалось неудобным для исследования динамики колебаний проследить в расчетах зависимости деформаций от времени во многих точках камеры. Наиболее важно определение максимальных деформаций в каждой точке, распределение которых и фиксируется в расчетах.

На рис. 3, а показано распределение вдоль меридиана оболочки максимальных на момент окончания счета $t = 1,1$ мс продольных деформаций. Видно, что распределение имеет ярко выраженный периодический характер. Наибольшей амплитуды продольные деформации на внешней стороне достигают на угле $\theta = 161^\circ$, где они составили 0,187 %, т. е. в 2,6 раза больше, чем на первом периоде. Локальный максимум вблизи полюса заметно больше других локальных максимумов.

Полученная в расчетах картина деформирования и колебаний оболочки при центрально-расположенном заряде согласуется с экспериментальными данными работы [10]. На первом периоде колебаний деформации носят мембранный характер, так как изгибные формы пока еще не возбуждены за исключением области патрубка. Далее возбуждаются изгибные формы с частотами, близкими к основной частоте колебаний оболочки. Перекачка энергии в эти изгибные формы приводит к увеличению амплитуды деформаций до $\sim 2,5$ раз по сравнению с первым периодом.

Раскачка проявляется в основном только в продольных деформациях, за исключением области вблизи полюса. Максимальные окружные деформации на внешней и внутренней стороне оболочки практически совпадают, за исключением района полюса, и близки достигнутому на первом периоде.

Оценки номера n возбуждаемой изгибной гармоники можно получить из анализа частотного уравнения колебаний сферической оболочки, приравняв частоту колебаний n -й гармоники основной частоте колебаний оболочки. Тогда в приближении Кирхгофа — Лява [3]

$$n = \sqrt[4]{12} \sqrt{(1 - \nu) R/h}.$$

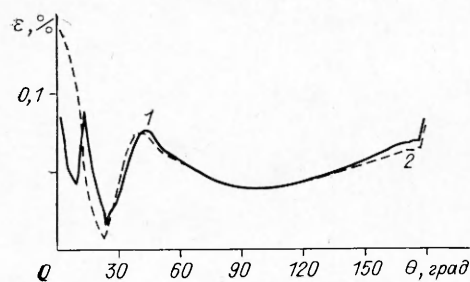


Рис. 4. Окружные деформации после первого периода, $\Delta R/R = 0,2$.

В условиях экспериментов [2] $n = 9,9$, т. е. на полусферу приходится 5 длин изгибной волны, что и наблюдается в расчетах.

Смещение центра взрыва вызывает постепенное увеличение максимальных окружных деформаций на первом периоде колебаний по мере продвижения от экватора к полюсу (рис. 4). Максимальные продольные деформации при этом практически не изменяются. Общая картина раскочки оболочки остается прежней, хотя количественные результаты несколько меняются. Так, при смещении центра взрыва до $\Delta R/R = 0,2$ максимальная амплитуда колебаний в полюсной точке увеличивается с $\sim 0,225$ до $\sim 0,29$ % (см. рис. 3, б). Это несколько выше, чем в экспериментах [2], хотя качественно соответствует им, подтверждая, что основной вклад в раскочку колебаний вносит несимметрия, вызванная наличием присоединенной массы, а не смещение центра заряда.

ЛИТЕРАТУРА

1. Иванов А. Г., Новиков С. А., Синицын В. А. ПМТФ, 1968, 6, 94.
2. Белов А. И., Клаповский В. Е., Корнилов В. А. и др. ФГВ, 1984, 20, 3, 71.
3. Абакумов А. И., Певницкий А. В., Соловьев В. П. и др. // Методы решения упругости и пластичности: Всесоюз. межвуз. сб.— Горький, 1984.
4. Абакумов А. И., Егунов В. В., Иванов А. Г. и др. ПМТФ, 1984, 3, 127.
5. Мальцев В. А., Степанов Г. В., Конон Ю. А. и др. Проблемы прочности, 1985, 12, 100.
6. Бахрах С. М., Певницкий А. В., Симонов Г. П. и др. Вопросы атомной науки и техники. Сер. Методики и программы численного решения задач математической физики.— 1984.— Вып. 1(15).
7. Баталова М. В., Бахрах С. М., Винокуров О. А. и др. // Тр. Всесоюз. семинара по численным методам механики вязкой жидкости.— Новосибирск, 1969.
8. Жерноклетов М. В., Зубарев В. Н., Телегин Г. С. ПМТФ, 1969, 4, 124.
9. Кузнецов П. М. Термодинамические функции и ударные адибаты воздуха при высоких температурах.— М.: Машиностроение, 1965.
10. Мальцев В. А., Конон Ю. А., Адищев В. В. и др. ФГВ, 1984, 20, 2, 97.

Поступила в редакцию 9/XI 1987,
после доработки — 26/I 1989

УДК 621.7.044.2

ПОЛУЧЕНИЕ ВЗРЫВНЫМ КОМПАКТИРОВАНИЕМ ВЫСОКОКОЭРЦИТИВНЫХ МАТЕРИАЛОВ СИСТЕМЫ Mn—Al—C

А. А. Вертман, О. Г. Епанчинцев, Ю. И. Звездин, В. Ф. Нестеренко,
С. А. Першин, М. П. Ревдель, Т. С. Родина

(Москва, Новосибирск)

Взрывное прессование применялось для получения компактов с целью достижения их высоких магнитных характеристик [1—3]. При этом в случае быстрозакаленных фольг, порошков [2, 3] данный метод наиболее приемлем, так как позволяет сохранить исходную структуру