

4. Демчук А.Ф. Металлические взрывные камеры // Дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск: ИГиЛ СО АН СССР, 1971.
5. Афанасенко С.И. Применение пористых сред для ослабления ударных волн на стенки взрывных камер // Обработка материалов импульсными нагрузками. — Новосибирск: СКБ ГИТ, ИТПМ СО АН СССР, 1990. — С. 291—304.
6. Сухарев И.П. Экспериментальные методы исследования деформации и прочности. — М.: Машиностроение, 1987.
7. Корнев В.М., Адищев В.В. и др. Экспериментальные исследования и анализ колебаний оболочки взрывной камеры // ФГВ. — 1979. — 15, № 6. — С. 155—157.
8. Ждан С.А. Расчет динамической нагрузки, действующей на стенку взрывной камеры // Там же. — 1981. — 17, № 2. — С. 142—146.
9. Бендат Дж., Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных. — М.: Мир, 1989.
10. Володина Л.В., Зотов В.Е. и др. Динамика вязкоупругих сферических оболочек при внутреннем взрывном нагружении // ФГВ. — 1992. — 28, № 4. — С. 91—95.
11. Белл Дж.Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. — М.: Наука, 1984. — Ч. 1.
12. Nemecek J., Nykl F. A contribution to studies regarding the explosion chambers // Proc. of 2 Symp. "Explosive working of metals". — Marianske Lasne, 1973. — V. 2. — P. 413—421.
13. Сильвестров В.В., Пластинин А.В., Горшков Н.Н. и др. Реакция оболочки реальной взрывной камеры на внутреннее импульсное нагружение // ФГВ. — 1994. — 30, № 2.

630090, г. Новосибирск,
ИГиЛ СО РАН

Поступила в редакцию
27/IV 1993

УДК 539.3:534.5:621.791

*В.В. Сильвестров, А.В. Пластинин, Н.Н. Горшков,
О.И. Стояновский*

РЕАКЦИЯ ОБОЛОЧКИ РЕАЛЬНОЙ ВЗРЫВНОЙ КАМЕРЫ НА ВНУТРЕННЕЕ ИМПУЛЬСНОЕ НАГРУЖЕНИЕ

Приведены результаты тензометрирования реальной взрывной камеры, предназначенной для взрывного упрочнения стрелочных железнодорожных переходов, при массе заряда ВВ до 20 кг. Показано, что при увеличении массы ВВ в пределах рабочего диапазона средние напряжения линейно растут. Одна из особых точек конструкции — полюса днищ камеры. Применение для обработки результатов измерения модели плоского напряженно-деформированного состояния приводит к увеличению максимальных напряжений на 10—30 %. При помощи спектрального анализа профилей деформации определены частоты основных мод конструкции, составившие 84 — 1040 Гц. Декремент затухания основных гармоник составляет ~ 5 — 30 %.

Исследованию динамики колебаний сферических и цилиндрических оболочек при взрывном внутреннем нагружении, моделирующих реакцию оболочек взрывных камер (ВК), посвящены работы [1—5], где обнаружены: эффекты «раскачки», связанные с взаимодействием мембранных и изгибных мод в конструкции; существенное увеличение деформаций вблизи мест расположения массивных фланцев и резкого изменения продольной жесткости оболочек (красвой эффект).

Анализируемые постановки, за исключением [1, 3], в значительной степени идеализированы, и вместо реальных ВК используются их модели. Рассматриваются достаточно тонкие оболочки с отношением радиуса к толщине $R/h > 20$ при центрально-симметричном расположении заряда ВВ и сведении к минимуму числа присоединенных масс и элементов, нарушающих симметрию конструкции. В результате в центральной части, наиболее удаленной от мест несовершенства оболочек, основная деформация достигается за счет радиальных колебаний, частота которых определяется диаметром оболочки [6]. Эффекты «раскачки» и концевые приводят к двух-трехкратному увеличению максимальных деформаций, но при этом все волновые процессы проходят на фоне свободных радиальных колебаний.

Для реальных ВК ситуация намного сложнее из-за отклонений конструкции от идеальной схемы: толстостенные оболочки, массивные фланцы и

© В.В. Сильвестров, А.В. Пластинин, Н.Н. Горшков, О.И. Стояновский, 1994.

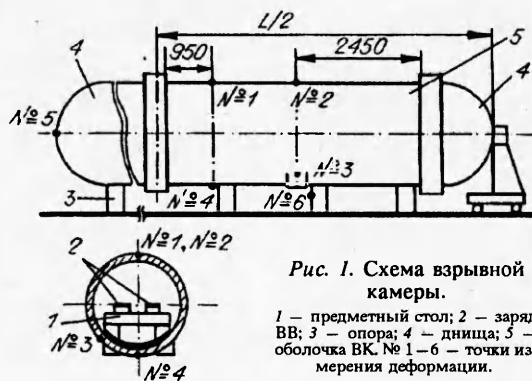


Рис. 1. Схема взрывной камеры.

1 — предметный стол; 2 — заряд ВВ; 3 — опора; 4 — днища; 5 — оболочка ВК. № 1-6 — точки измерения деформации.

крышки на торцах, наличие предметных столов, входных окон и пр. Теоретический анализ таких устройств требует учета трехмерных эффектов и построения нетривиальных механических моделей. На сегодняшний день только прямое экспериментальное исследование отклика конструкции на импульсное воздействие может дать ответ на вопрос, какой спектр колебаний возбуждается и какие моды являются

основными, амплитуда которых и определяет требования к прочности камеры.

Данная работа связана с рассмотрением этих вопросов для цилиндрической взрывной установки КВГ-16, изготовленной КТИГИТ СО РАН. Установка предназначена для взрывного упрочнения стрелочных железнодорожных переходов и представляет собой толстостенную цилиндрическую ВК оригинальной конструкции (рис. 1). Внутренний диаметр оболочки $D = 1600$ мм, толщина стенки $h = 80$ мм ($R/h \sim 10$), изготовлена из Ст. 20. Внутри камеры — удлиненный (~ 10 м) массивный предметный стол для размещения упрочняемых конструкций, днища камеры полусферические. Одно из них — крышка камеры, связанная с устройством загрузки. Она запирается при помощи байонетного гидравлического зажима. Общая длина оболочки $L = 12,5$ м. Камера рассчитана на максимальную массу ВВ 16 кг (по тротиловому эквиваленту) при удельной нагрузке не более 2 кг на метр длины, т.е. предназначена для использования линейных зарядов.

Опыты проводились при заводских испытаниях установки КВГ-16. Последовательно поставлены пять экспериментов при подрыве в камере заряда пластического ВВ ЭВП-11 массой $M = 1,4, 8, 16$ и 20 кг по тротиловому эквиваленту. Заряд располагался на оси камеры на поверхности отрезков железнодорожных рельсов, установленных на предметном столе, и выполнялся в виде системы параллельных линейных зарядов, подрываемых одновременно. Длина заряда составляла от 2 до 8 м, т.е. полное время детонации $\sim 0,3 - 1,1$ мс не превышало четверти периода основных колебаний камеры с частотой $f \sim 80 - 400$ Гц, обуславливающих максимальный вклад в деформацию элементов ВК. Таким образом, режим нагружения камеры импульсный [6], и на величину максимальных напряжений может оказывать влияние взаимодействие различных мод.

Деформация измерялась всего в шести точках — в четырех точках на цилиндрической части камеры: № 1, 4 — в плоскости, проходящей через центр заряда ВВ, № 2, 3 — в плоскости, проходящей через центр половины оболочки (№ 1, 2 — над, а № 4 — под предметным столом, № 3 — вблизи ввода внутрь ВК гидравлического подъемника стола), № 5 — в полюсе одного из днищ, расположенного по направлению распространения детонации, и № 6 — на одной из шести опорных рам установки (см. рис. 1). В точках 1, 2, 4 наклеены розетки КФ5Р1-5-200, ориентированные для измерения окружной ϵ_φ и продольной ϵ_z деформаций; в точке 3 — розетка КФ5Р4-10-200 для измерения $\epsilon_\varphi, \epsilon_z, \epsilon_{45}$; в точке 5 — мембранный датчик КФ5М-20-200 для измерения радиальной составляющей деформации ϵ_r ; в точке 6 на опоре — датчик КФ5П1-5-100 для измерения вертикальной составляющей ϵ_x . Использовалась 8-канальная тензостанция на основе крейта КАМАК и быстродействующих АЦП 10/1, управляемых при помощи микрокомпьютера. Время регистрации при интервале дискретизации $\Delta t = 64$ мкс составляло 0,256 с (4 Кб отсчетов). Точность измерения ϵ не хуже 5 %.

Результаты измерений деформации. На рис. 2 приведены зависимости $\epsilon(t)$ в некоторых характерных точках ВК (вверх от нулевой линии — сжатие,

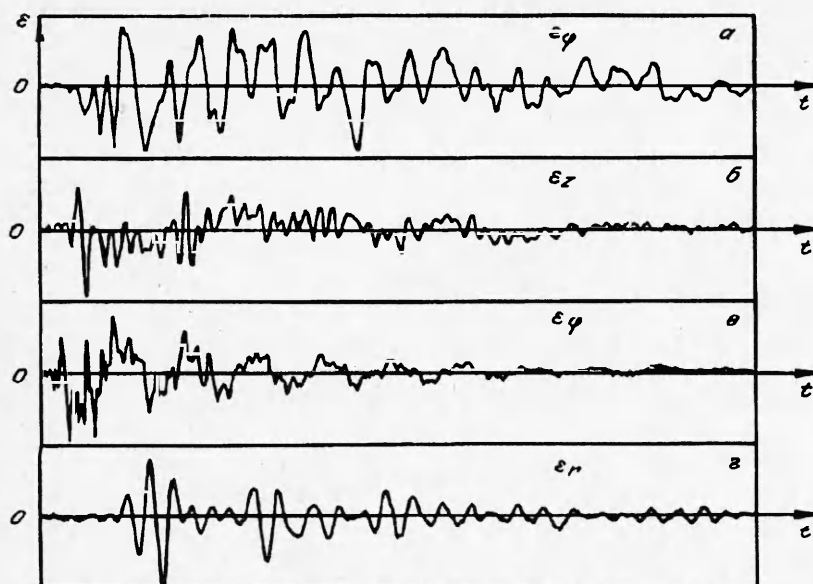


Рис. 2. Профили $\varepsilon(t)$.

M , кг: а, б — 16, в, г — 20; точки: а — 2, б, в — 1, г — 5. Длина развертки, мс: а, б — 50, в — 128, г — 32. Цена деления по вертикали, $\mu\varepsilon$: а — 800, б — 400, в, г — 950.

вниз — растяжение). По вертикали — деформация в микродеформациях ($1 \mu\varepsilon = 10^{-6}$). Отметим сложную частотную структуру сигналов, максимумы деформации достигаются далеко не в первом цикле колебаний, последние трудно назвать симметричными (рис. 2, а). Определялись максимальные значения деформаций в течение всего интервала наблюдений. Абсолютные максимумы: $\varepsilon_\varphi = 910 \mu\varepsilon$, $\varepsilon_z = 560 \mu\varepsilon$ в точке 4 при $M = 20$ кг. В среднем максимум осевой деформации в ~ 2 раза меньше, чем для окружной (рис. 2, б). На интервале $\sim 35 - 50$ мс видно общее затухание всех мод колебаний (рис. 2, в). Эффекты типа биений с характерным циклическим изменением амплитуды [3, 4] за счет взаимодействия гармоник с близкими частотами в явном виде не проявляются. Сигналы представляют собой сумму ряда гармоник с существенно различными частотами и амплитудами. Только в полюсе камеры сигналы аналогичны наблюдаемым на более простых моделях ВК (рис. 2, г). При $M = 20$ кг в полюсе имеет место значительное увеличение радиальной деформации ε_r до $940 \mu\varepsilon$ (при $M = 8$ кг — $250 \mu\varepsilon$), а характер колебаний указывает на наличие резонансного эффекта типа эффекта «бича» из-за сложения цуга волн, распространяющихся по оболочке [3]. На опоре ε_x растет, но не превышает 0,03 % при максимальной массе ВВ.

Принципиальных изменений в поведении элементов ВК при увеличении M не происходит, хотя интенсивность процесса деформации, естественно, растет. Определенное ограничение значений ε_φ , ε_z при росте массы ВВ связано, по-видимому, с увеличением массы ВВ за счет его длины. Отметим, что ограничение для ε_z выражено более явно, чем для ε_φ . Это связано, как будет показано ниже, с тем, что основная деформация для ε_φ реализуется за счет трех низкочастотных гармоник, одна из которых отсутствует в спектре ε_z -сигнала.

Результаты расчета механических напряжений. Выполнены два варианта расчета механических напряжений с учетом реальной фазы всех сигналов (для стали принималось $E = 210$ ГПа, $\nu = 0,29$, $\rho = 7,8$ г/см³): для одноосного напряженного состояния и для плоского напряженно-деформированного состояния, когда оси φ и z считаются главными. В точке 3 проведен расчет для плоского напряженно-деформированного состояния, для которого

текущее положение главных осей и соответствующие им главные напряжения σ_{\max} , σ_{\min} вычисляются с учетом всех трех деформаций ϵ_{φ} , ϵ_z , ϵ_{45} [7]. Рассчитывались эквивалентные напряжения, соответствующие условию текучести по Мизесу: $\sigma_{\text{экв}} = \sqrt{\sigma_{\max}^2 + \sigma_{\min}^2 - \sigma_{\max}\sigma_{\min}} < \sigma_T$, где σ_T — предел текучести.

Аналогично [8] переход от одноосной модели к плоской приводит к увеличению максимальных значений σ_{φ} в точках 1—4 не более чем на 30 %, максимальных σ_z от 15—60 % в точках 1, 2, 4 до 100—170 % в точке 3, т.е. учет двумерности более существен для точки 3 вблизи ввода гидropодъемника. По абсолютным максимумам всегда $\sigma_{\varphi} > \sigma_z$. Учет в точке 3 возможного отклонения направления главных осей от направлений φ и z на угол $\alpha > 0$ приводит практически к тем же значениям σ_{\max} , что и σ_{φ} при $\alpha = 0$, но появляется возможность расчета максимальных сдвиговых напряжений $\tau(t) = -0,5 [\sigma_{\max}(t) - \sigma_{\min}(t)]$. Они важны при практической оценке несущей способности оболочки ВК, так как обычно расчет на прочность при сдвиге производят по пониженным значениям допустимого касательного напряжения, которое для стали принимается примерно в 2 раза меньше σ_T . Для рассматриваемой ВК $\tau < 70$ МПа и, как в [8], $\tau < \sigma_T / 4$.

Значимой разницы между величинами деформации в точках 1—4 нет. Можно говорить только о тенденции увеличения деформации в точках 1, 4 по сравнению с точками 2, 3, т.е. вблизи усиливающего бандажа, и в целом о более высоких значениях в точке 4. Поэтому нет оснований для выделения результатов для каждой из точек 1—4 в отдельности. На рис. 3 приведены максимальные значения напряжений от массы ВВ на оболочке (усреднено по точкам 1—4), в полюсе камеры и на опоре. Флажки ошибок для σ_{φ} , σ_z в данном случае не ошибка измерения, а максимальный разброс по датчикам в точках 1—4. В качестве средних значений для σ_{φ} и σ_z нанесены выборочные средние. Напряжения нигде не превосходят 200 МПа. При максимальной рабочей массе ВВ 16 кг максимальное напряжение 183 МПа, т.е. обеспечивается ~ 50 %-й запас прочности относительно предела текучести.

Аналогично [8] расчет эквивалентных напряжений приводит к величинам, меньшим максимальных σ_{φ} , так как вблизи абсолютных максимумов профили $\sigma_{\max}(t)$ и $\sigma_{\min}(t)$, во-первых, находятся в фазе, а во-вторых, одно из напряжений существенно меньше другого и не реализуется ситуация с $\sigma_{\max} \approx -\sigma_{\min}$, на возможность которой обращается внимание в [3].

Результаты спектрального анализа. Рассчитывалась спектральная плотность $G(f)$ для сигналов с тензодатчиков с использованием техники быстрого Фурье-преобразования [9]. Качественно $G(f) \sim \epsilon^2 / \Delta f$ есть скорость изменения квадрата деформации в частотной области. Длина временного окна выбиралась равной ~ 128 мс; к этому времени практически все колебания затухают, и дальнейшее увеличение длины не имеет смысла, оценка спектра от этого не улучшается.

Для «улучшения» оценки значений частот использовались два метода:

- 1) усреднение результатов оценки частот по набору реализаций, в качестве которых рассматривались сигналы со всех датчиков в отдельном опыте, измеряющих ϵ_{φ} , ϵ_z либо ϵ_{45} ;
 - 2) расчет по «перекрывающимся отрезкам»; для этого исходная реализация разбивалась на 3—7 отрезков длиной 1024—512 точек с 50 %-м перекрытием [9].
- Результаты расчета основных частот f_i автоспектра практически не зависели от точки измерения или массы ВВ, а для некоторых частот даже

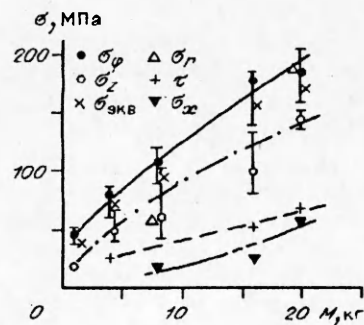


Рис. 3. Зависимость максимальных напряжений от массы ВВ.

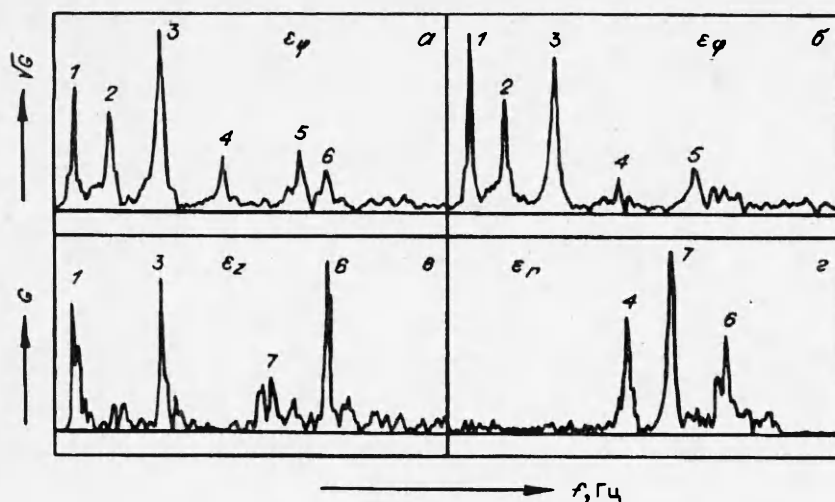


Рис. 4. Типичные спектры сигналов.
M, кг: а, в — 16, б, г — 20; точки: а, б — 2, в — 1, г — 5. Масштаб по горизонтали 1500 Гц.

от ориентации датчика по φ, z или g . Меняются только амплитуды спектральных линий. При переходе от φ - к z -сигналам изменяется немного набор основных частот и существенно уменьшаются амплитуды всех линий.

Характерные спектры сигналов при разрешении по спектру $\Delta f \approx 8$ Гц приведены на рис. 4. Представление о спектре колебаний и его повторяемости дают рис. 4, а, б, где для «выравнивания» величин по вертикали отложены значения $\sqrt{G(f)}$, так как амплитуды линий отличаются более чем в 20 раз (частоты f_3 и f_6). Выделяются 5—6 основных частот (Гц): $f_1 = 84 \pm 8$, $f_2 = 215 \pm 8$, $f_3 = 410 \pm 15$, $f_4 = 650 \pm 15$, $f_5 = 930 \pm 15$, $f_6 = 1040 \pm 30$.

Выборочные средние по всем φ -датчикам для амплитуд основных спектральных линий приведены в таблице. Влияние массы заряда ВВ на амплитуду линий не вызывает сомнений, положение датчика ε_φ -деформаций практически на параметрах линий не сказывается. Реально вся радиальная деформация оболочки определяется тремя гармониками в диапазоне 80—410 Гц, вклад гармоник f_5, f_6 в амплитуду сигналов менее 5% (эта оценка получена при восстановлении сигнала при помощи обратного Фурье-преобразования с исключением мод f_5, f_6). По мере увеличения массы ВВ «раскачиваются» прежде всего гармоники f_1 и f_3 (строка таблицы под чертой) и растет неравномерность в распределении энергии по спектру (последний столбец таблицы).

Значения частот f_5, f_6 близки к основной частоте свободных радиальных колебаний цилиндрической оболочки:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi R_c} \sqrt{\frac{E}{\rho}} = 966 \text{ Гц при среднем радиусе } R_c = 0,84 \text{ м.}$$

Оболочка толстостенная, $R_c / h = 10,5$. Возможно, что напряженно-деформированное состояние не плоское, а трехмерное. В этом случае по обеим поверхностям оболочки может распространяться независимая система волн, частоты которых будут определяться ее внутренним и внешним радиусами. Получим две гармоники с $f_{01} = 1015$ Гц и $f_{02} = 922$ Гц, близкими к наблюдаемым f_6 и f_5 .

Для гармоник $f_2 - f_4$ отношения частот близки к соотношению 1 : 2 : 3, и они могут являться различными модами одного колебания с основной частотой f_2 . Вероятно, это продольное осесимметричное колебание типа «раздутия» оболочки, когда на ее длине укладывается одна полуволна $\lambda / 2$. Тогда $\lambda \sim 2L \sim 25$ м и $f \sim c_0 / \lambda \sim 204$ Гц $\sim f_2$. Локальное уве-

$M_{\text{ВВ}}, \text{ кг}$	Амплитуда, $100 \mu\epsilon^2 \cdot \text{с}$						$A_{\text{max}}/A_{\text{min}}$
	f_1	f_2	f_3	f_4	f_5	f_6	
1	4	10	6	3	2	3	5
4	12	27	14	9	5	5	5
8	52	36	36	12	8	15	6
16	150	50	300	43	10	24	30
20	680	90	450	~24	~9	~15	77
	170	9	75	14	5	8	

Пр и м е ч а н и е. Под чертой приведены отношения максимальных амплитуд линий при $M = 20$ и 1 кг для каждой моды $\frac{A_{\text{max}}}{A_{\text{min}}}$ — отношения максимальной амплитуды линии к минимальной для фиксированного M .

личение жесткости оболочки на ее середине за счет утолщения стенки и усиливающего бандажа стимулирует развитие возмущения, при котором на длине оболочки укладываются две полуволны, соответствующая частота $\sim f_3$.

Менее определена природа самого низкочастотного колебания f_1 . По-видимому, причина появления этой моды — наличие массивного предметного стола в камере. Во-первых, стол можно рассматривать как своеобразный отсекающий, ослабляющий действие продуктов взрыва на нижний полуцилиндр оболочки, поэтому реализуется существенно неосесимметричное нагружение оболочки. Во-вторых, масса стола значительно превышает массу оболочки непосредственно под ним, т.е. появляются условия для заземления оболочки по ее образующей. Наконец, взрыв плоского заряда ВВ вообще характеризуется значительной несимметрией распределения динамического импульса по азимуту оболочки [10]. В результате может возникнуть колебание с неосесимметричным искривлением профиля центрального сечения оболочки. Простым образом оценить частоту подобных колебаний не удастся. Возможно, эта мода связана с колебаниями предметного стола на упругом основании (между столом и оболочкой находится слой резины толщиной ~ 3 см) [6].

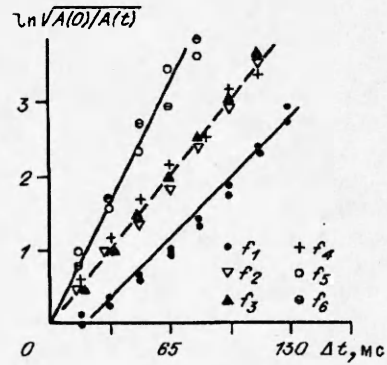
Основные особенности спектра для z -сигналов полностью отражены на рис. 4, в: имеет место более равномерное распределение энергии по спектру, и роль гармоник f_1, f_3 не столь значительна, как для ϵ_φ -сигналов; некоторые гармоники, например f_2, f_4 , практически не проявляются; амплитуда спектральных линий резко падает, и нет особой разницы в амплитудах мод с низкой и высокой частотой. Выделяются моды f_1, f_3, f_5, f_7 , но их амплитуды и значения частот «плавают» при движении по точкам измерения и при изменении массы ВВ. Отмеченные особенности z -спектров указывают на то, что система развивающихся при взрыве колебаний для установки КВГ-16 приводит прежде всего к радиальной деформации материала оболочки.

На рис. 4, г приведен спектр колебаний в полюсе камеры при $M = 20$ кг. Присутствуют только три линии с $f = 670, 840$ и 1040 Гц, которые повторяются и в опыте при $M = 8$ кг. Первая и последняя частоты совпадают с модами f_4, f_6 , обнаруженными при анализе ϵ_φ -сигналов, мода с $f_7 = 840$ Гц слабо проявляется в спектрах ϵ_z -сигналов (рис. 4, в). При попытке «улучшить» оценку значений частот методом «перекрывающихся» промежутков оказалось, что уже при смещении на 8 мс амплитуда двух наиболее интенсивных гармоник f_4, f_7 уменьшается в ~ 7 раз, а при сдвиге на 16 мс они исчезают совсем и основными становятся гармоники f_5, f_5 . Длительность ϵ_z -сигнала также мала и составляет ~ 8 мс, что существенно меньше длительности сигнала ~ 40 мс для наиболее интенсивной окружной деформации (см. рис. 2). Появление в спектре интенсивных, слабо проявляющихся на цилиндрической части гармоник, их исчезновение из спектра при $t > 16$ мс, малая длительность ϵ_z -сигнала — все эти особенности, возможно, являются

Рис. 5. Затухание отдельных мод.

следствием своеобразия деформирования оболочки в полюсе камеры из-за проявления нелинейного резонансного эффекта типа эффекта «бича».

Затухание колебаний для отдельных мод на интервале 0—128 мс оценивалось при помощи метода «перемещающегося временного окна» [8] при смещении $\Delta t \approx 16$ мс и разрешении по спектру $\Delta f \approx 8$ Гц для ε_p -сигналов в точке 2, наиболее удаленной от мест несовершенства оболочки, при $M = 16$ и 20 кг. На рис. 5 в полулогарифмических координатах приведены результаты по уменьшению относительной амплитуды спектральных линий в зависимости от временного сдвига Δt . По скорости затухания четко выделяются три типа гармоник: f_1 , $f_2 - f_4$ и $f_5 - f_6$. К моменту 128 мс в спектре остается только одна гармоника — частотой f_1 . Полагая, что затухание происходит по экспоненциальному закону $A_i(t) = A_i(0)\exp(-2t/\theta_i)$, можно определить θ_i :



f_i , Гц	85	210—650	930—1040
θ_i , мс	43	33 ± 2	21 ± 2
λ_i , %	27	5—15	5

Значения логарифмического декремента затухания $\lambda = 1/(\theta f)$, имеющего смысл степени ослабления амплитуды волны за один период колебания, составляют ~ 5 —27 % и растут при переходе к низкочастотным гармоникам. Как и для другой реальной ВК [8], λ_i почти на 2 порядка превышают значения декремента вязкоупругого затухания ультразвуковых колебаний для металлов, составляющие $\sim 0,1$ —0,7 % для $f \sim 1$ —20 кГц [11]. Повидимому, для реальных оболочек ВК декремент затухания определяется не частотой, а скорее амплитудой и характером возмущения, его геометрией. Возможные причины относительно сильного затухания колебаний оболочек ВК рассмотрены в [8]. Расчет λ на второй половине сигнала при $t \geq 128$ мс для моды f_1 приводит к величине 15 %, амплитуда сигнала при этом менее $50 \mu\epsilon$ (см. рис. 2, в). Складывается впечатление, что скорость затухания определяется в основном физической нелинейностью процесса деформирования, проявляющейся даже при малых деформациях [11], и может зависеть от амплитуды и формы колебаний.

Совокупность результатов спектрального анализа — значения частот, скорость затухания, влияние массы заряда ВВ на амплитуду отдельных спектральных линий — позволяет качественно разделить наблюдаемые моды по типу колебаний на три группы: осесимметричные радиальные и продольные, а также, предположительно, неосесимметричное колебание, связанное с использованием технологического заряда ВВ (плоский удлиненный заряд плюс массивный предметный стол).

Отметим, что оценка величины механических напряжений на оболочке для КВГ-16 по [6] невозможна, так как система возникающих колебаний далека от предположения, что основными являются осесимметричные радиальные колебания.

Выводы. Приведены результаты тензометрирования реальной взрывной камеры, предназначенной для взрывного упрочнения стрелочных железнодорожных переходов. Показано, что при увеличении массы ВВ в пределах рабочего диапазона средние напряжения линейно растут. Одна из особых точек конструкции — полюса днищ камеры. Локальные изменения жесткости, массы цилиндрической оболочки в центральной части камеры и в месте ввода гидравлического подъемника предметного стола не приводят к существен-

венному отклонению значений деформаций от средних, характерных для гладкой части камеры. Во всех точках цилиндрической оболочки окружные напряжения в ~ 2 раза превышают осевые. Ни в одной точке эквивалентные напряжения не превышают максимальных в окружном направлении. Сдвиговые напряжения в 3—5 раз меньше окружных.

Определен спектр собственных частот для установки КВГ-16. Подавляющий вклад в наблюдаемую деформацию вносят низкочастотные колебания с частотой ~ 80 —450 Гц, которые, предположительно, связаны с продольными осесимметричными колебаниями (200—450 Гц) и неосесимметричной формой колебаний с частотой ~ 84 Гц, обусловленной наличием массивного предметного стола.

Оценена скорость затухания отдельных гармоник. Показано, что разные моды затухают с различной скоростью. Значения декремента составили от 5 до 27 % на период, что существенно выше характерных значений, получаемых при ультразвуковых измерениях.

ЛИТЕРАТУРА

1. Nemeček J., Nykl F. A contribution to studies regarding the explosion chambers // Proc. of 2 Symp. "Explosive working of metals". — Marianske Lasne. — 1973. — V. 2. — P. 413—421.
2. Бузуков А.А. Особенности поведения стенок взрывных камер под воздействием импульсной нагрузки // ФГВ. — 1976. — 12, № 4. — С. 605—610.
3. Корпеев В.М., Адишев В.В. и др. Экспериментальные исследования и анализ колебаний оболочки взрывной камеры // Там же. — 1979. — 12, № 6. — С. 155—157.
4. Белов А.И., Клаповский В.Е. и др. Динамика сферической оболочки при несимметричном внутреннем импульсном нагружении // Там же. — 1984. — 20, № 3. — С. 71—74.
5. Володина Л.В., Зотов В.Е. и др. Динамика вязкоупругих сферических оболочек при внутреннем взрывном нагружении // Там же. — 1992. — 28, № 4. — С. 91—95.
6. Демчук А.Ф. Металлические взрывные камеры: Дис. ... канд. техн. наук. — Новосибирск, 1971.
7. Сухарев И.П. Экспериментальные методы исследования деформации и прочности. — М.: Машиностроение, 1987.
8. Сильвестров В.В., Пластинин А.В., Горшков Н.Н. Влияние окружающей заряд ВВ среды на реакцию оболочки взрывной камеры // ФГВ. — 1994. — 30, № 2.
9. Бендат Дж., Пирсон А. Прикладной анализ случайных данных. — М.: Мир, 1989.
10. Nemeček J., Nykl F. Определение параметров и воздействия взрыва плоских зарядов ВВ при их детонации в замкнутой цилиндрической камере // Proc. of 3 Symp. "Explosive working of metals". — Marianske Lasne. — 1976. — V. 2. — P. 495—510.
11. Белл Дж. Ф. Экспериментальные основы механики деформируемых твердых тел. — М.: Наука, 1984. — Ч. 1.

630090, г. Новосибирск,
ИГиЛ СО РАН

Поступила в редакцию 27/IV 1993

УДК 534.222.2 + 666.223

С.В. Першин, Е.А. Петров, Д.Н. Цаплин

ВЛИЯНИЕ СТРУКТУРЫ МОЛЕКУЛЫ ВВ НА СКОРОСТЬ ОБРАЗОВАНИЯ, ВЫХОД И СВОЙСТВА УЛЬТРАДИСПЕРСНЫХ АЛМАЗОВ

Зарегистрированы зависимости скорости детонации и электросопротивления продуктов детонации от начальной плотности 2,4-динитро-2,4-диазапентана. Исследования твердых продуктов детонации ДНП и его сплавов с гексогеном показали, что содержание в них алмаза, размер его частиц и микрокристаллитов значительно меньше, чем в случае сплавов тротила с гексогеном.

Детонационный синтез ультрадисперсных алмазов (УДА) входит в промышленное производство. Актуальным становится поиск новых эффективных взрывчатых веществ (ВВ). До последнего времени исследовались ВВ ароматического ряда [1]. Представляло интерес сравнить результаты этих работ

© С.В. Першин, Е.А. Петров, Д.Н. Цаплин, 1994.