

11. Аникин М. А., Кталхерман М. Г., Мальков В. М. и др. Зависимость параметров потока за сотовым блоком от угла раскрытия индивидуального микроопла // Газодинамика проточной части ГДЛ.— Новосибирск: ИГИМ СО АН СССР, 1987.— С. 65—78.
12. Бирюков А. С. Кинетика физических процессов в газодинамических лазерах // Тр. ФИАН.— 1975.— 83.— С. 13—83.
13. Британ А. Б., Левин В. А., Лосев С. А. и др. // Квант. электроника.— 1981.— 8, № 5.— С. 1002—1011.
14. Верховский В. П. Численный расчет плоских сверхзвуковых сопел с изломом контура. Таблицы координат сопел на числа  $M = 3-7$ : Тр. ЦАГИ.— Вып. 680.— 51 с.
15. Иванов В. Н. Исследование характеристик газодинамического лазера на продуктах горения углеводородно-воздушных смесей: Дис. ... канд. физ.-мат. наук.— М., 1978.— 112 с.
16. Булкин Ю. Н., Выскубенко Б. А., Кириллов Г. А. и др. // Квант. электроника.— 1981.— 8, № 6.— С. 1202—1207.
17. Евтюхин Н. В. Многокомпонентные активные среды газодинамического  $CO_2$ -лазера на продуктах сгорания С, Н, О, N-топлив: Дис. ... канд. физ.-мат. наук.— Черноголовка, 1980.

г. Москва

Поступила в редакцию 19/VI 1990

УДК 622.235.5

*А. В. Михалюк, Ю. А. Писарев, П. А. Паршук*

### ВОЛНОВЫЕ ПРОЦЕССЫ В ГРУНТАХ ПРИ ВЗРЫВАХ ГАЗОКУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ КАМУФЛЕТНОГО ДЕЙСТВИЯ

Приведены результаты изучения особенностей формирования напряженного состояния грунтового массива при взрывах газоккумулятивных зарядов. Показано, что по направлению действия газоккумулятивной струи имеет место увеличение амплитуд и длительности взрывных волн.

В работе [1] показано, что при взрывах трубчатых зарядов в воздухе в их полости формируется ударная волна (УВ), распространяющаяся вдоль осевого канала заряда со скоростью, в 1,65—1,75 раза превышающей скорость детонации. Это позволило предположить, а затем подтвердить экспериментально (при взрывах накладных зарядов такой конструкции [2]), что разрушающее действие трубчатого заряда в направлении оси капала значительно интенсивнее, чем для сплошного заряда той же массы и формы. В [1] обоснован кумулятивный механизм течения газа в канале, поэтому такие заряды предложено называть газоккумулятивными.

Усиление разрушающего действия вдоль оси газоккумулятивного заряда, по-видимому, связано с перераспределением энергии взрыва, излучаемой по различным направлениям, что должно найти отражение на амплитудных и временных параметрах взрывных волн. Ниже изложены результаты экспериментальной проверки этого предположения при взрывах газоккумулятивных зарядов камуфлетного действия в грунтовом массиве, представленном суглинками. Свойства грунтового массива в естественном состоянии, определявшиеся по стандартным методикам с помощью полевой лаборатории И. М. Литвинова (ПЛЛ-9), характеризовались следующими усредненными показателями: плотность минерального вещества 2710 кг/м<sup>3</sup>, плотность 1942 кг/м<sup>3</sup>, плотность скелета 1663 кг/м<sup>3</sup>, влажность массовая 16,80 %, влажность объемная 27,90 %, коэффициент пористости 0,63, пористость общая 38,65 %, пористость свободная 10,75 %.

Размер частиц, мм	Содержание в грунте, %	Размер частиц, мм	Содержание в грунте, %
>2	—0,2	0,05—0,10	—21,1
0,5—2	—1,2	0,01—0,05	—13,9
0,25—0,5	—18,9	0,005—0,01	—16,2
0,10—0,25	—17,7	<0,005	—10,8

В экспериментах использовали газокумулятивные заряды из ВВ малой плотности (аммонит 6ЖВ). Масса заряда принималась равной 0,4 кг из тех соображений, что масштаб взрыва должен допускать такое взаимное расположение измерительных преобразований (датчиков), которое исключало бы влияние их размеров на регистрируемый волновой процесс. ВВ размещали в инертном корпусе (картон) и подпрессовывали до плотности  $1,1 \cdot 10^3$  кг/м<sup>3</sup>. Конструктивные размеры зарядов принимали по рекомендациям работы [1]: диаметр заряда  $d_3$  вдвое превышал диаметр его внутреннего (газокумулятивного) канала  $d_0$ ; длина канала  $l = 15d_0$ . Из этих соображений  $l = 0,32$  м,  $d_3 = 4,3 \cdot 10^{-2}$  м,  $d_0 = 2,15 \cdot 10^{-2}$  м, в тротиловом эквиваленте средний эффективный радиус заряда  $r_3 = 0,039$  м. Заряды размещались на глубине, удовлетворявшей условию гарантированного камуфлета [3] и составлявшей 1,8 м.

Волновые процессы регистрировали по трем характерным направлениям  $i$ : вдоль действия газокумулятивной струи 1, в противоположном направлении 2 и перпендикулярно оси 3 заряда. Область измерений охватывала практически всю зону необратимого уплотнения грунта — от 16,8 до 35,4 радиусов заряда (в тротиловом эквиваленте). Измерения проводились по методике, достаточно надежной и широко применяемой при регистрации волновых процессов в грунтах [4]. В качестве чувствительных элементов использовали мембранные тензометрические датчики с фольговыми преобразователями типа КФ-5, предназначенными для регистрации динамических процессов. Промежуточное усиление сигналов датчиков осуществлялось с помощью усилителей типа «Топаз» (с блоками питания «Агат»); процессы регистрировались на светолучевых осциллографах Н-115 при скорости развертки 4,0—4,5 м/с. Для временной индикации процесса использовались генераторы стандартных сигналов, работавшие на частоте 1 кГц.

В каждой точке измерений устанавливали два датчика, регистрировавших нормальные радиальную и тангенциальную компоненты тензора напряжений. Возможную погрешность регистрации параметров взрывных волн оценивали по рекомендациям работы [5]. Максимально ожидаемая суммарная ошибка измерения амплитуд волновых процессов составляла 3,9—4,5 %. Возможность систематической градуировки рабочих преобразователей, контроля нуля моста, а также проведения непосредственно перед каждым экспериментом других операций, повышающих точность работы контрольно-измерительной аппаратуры, позволяла снизить суммарную ошибку регистрации динамического процесса до 1—1,5 % [5]. Влияние случайных ошибок, связанных с непостоянством свойств грунтового массива, сводили к минимуму планированием эксперимента с позиций математической статистики. Всего проведено 9 идентичных опытов с регистрацией параметров взрывных волн в 107 точках, что обеспечило получение необходимого массива данных для статистической обработки.

Чтобы исключить влияние особенностей геологического строения массива на общую картину развития волновых процессов, ориентацию заряда относительно дневной поверхности изменяли как в горизонтальной, так и в вертикальной плоскостях; соответственно изменялись и направления регистрации волновых процессов.

Анализ особенностей волновых процессов в грунтах при взрывах газокумулятивных зарядов проводился на основе следующих основных зависимостей:

- затухания с расстоянием от очага взрыва амплитуд главных нормальных напряжений (радиальных  $\sigma_r$  и тангенциальных  $\sigma_\theta$ );
- времен прихода взрывных волн  $t_0(r)$  и вступления фронта максимальных напряжений  $t_{\max}(r)$ ;
- изменения с расстоянием длительности взрывной волны  $t_+(r)$ .

Эти сведения позволяют в случае необходимости получить дополнительную информацию о параметрах волновых процессов (например, о времени нарастания давления  $t_n(r) = t_{\max}(r) - t_0(r)$ ), о средней скорости

Таблица 1

Номер опыта	Номер датчика	$\frac{r}{r_3}$	$t_0$ , мс	$t_{\max}$ , мс	$t_+$ , мс	$\sigma_r \cdot 10^{-5}$ , Па	$\sigma_\varphi \cdot 10^{-5}$ , Па	$i$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	1	34,5	4,0	8,0	23,0	1,50	—	1
	2	34,8	3,9	4,4	10,0	—	0,79	1
	3	33,2	3,3	6,0	13,5	0,70	—	2
	4	33,9	2,6	4,6	10,0	—	0,53	2
	5	34,1	3,5	6,0	13,5	2,66	—	3
	6	34,4	2,9	6,0	14,5	—	0,48	3
	13	16,9	1,0	1,5	14,6	17,45	—	3
	14	17,9	1,1	2,8	14,4	—	6,56	3
2	1	34,5	3,3	5,2	20,5	1,42	—	1
	2	34,5	4,1	—	20,0	—	0,65	1
	3	33,9	3,3	8,8	17,0	0,48	—	2
	4	34,4	3,2	5,2	17,0	—	0,12	2
	5	34,6	—	—	—	1,11	—	3
	6	34,3	3,2	6,2	14,5	—	0,63	3
	7	17,1	—	—	—	11,5	—	1
	8	17,2	—	—	—	—	4,80	1
	9	23,1	2,9	3,8	16,4	4,78	—	1
	10	22,9	3,1	4,0	16,6	—	0,91	1
	11	17,1	1,5	3,6	6,0	3,54	—	2
	12	17,3	0,8	4,0	3,6	—	2,56	2
	13	16,9	0,9	2,8	6,8	18,00	—	3
	14	16,9	1,2	2,9	6,1	—	5,37	3
3	1	33,9	2,1	5,1	21,7	1,36	—	1
	2	34,4	2,6	4,6	21,7	—	0,53	1
	3	34,4	1,6	4,6	14,5	0,96	—	2
	4	35,4	2,6	5,1	14,1	—	0,22	2
	5	34,6	2,8	5,6	17,8	2,04	—	3
	6	34,7	2,6	5,6	18,5	—	1,96	3
	7	17,2	1,4	2,2	11,0	—	8,02	1
	8	17,1	1,4	2,2	8,9	16,40	—	1
	9	22,9	1,8	4,5	13,8	4,58	—	1
	10	22,9	2,0	4,4	13,6	—	2,35	1
	11	17,3	1,5	2,8	12,8	4,26	—	2
	12	17,1	1,4	3,0	9,0	—	2,82	2
	13	17,1	1,3	3,4	12,8	2,3	—	3
	14	17,2	1,2	3,2	13,4	—	5,45	3
4	1	34,4	3,5	8,5	23,5	1,36	—	1
	3	34,5	3,2	7,0	17,0	0,40	—	1
	4	33,9	3,0	6,0	15,0	—	0,37	2
	5	33,9	3,0	7,5	31,0	0,83	—	2
	6	34,1	4,0	6,5	17,0	—	0,56	3
	7	17,1	1,1	2,0	10,6	—	6,56	1
	8	17,2	1,0	1,5	7,5	16,44	—	1
	9	22,8	1,5	3,2	11,3	5,56	—	1
	10	24,0	1,5	3,0	12,2	—	3,60	1
	11	17,1	1,1	2,6	11,0	5,92	—	2
	12	17,1	1,1	2,6	9,0	—	2,33	2
	13	16,9	1,6	3,6	8,8	17,9	—	3
	14	17,2	1,4	3,6	8,8	—	6,06	3
	5	1	34,5	2,0	7,4	24,0	1,38	—
2		34,4	2,5	7,0	15,5	—	0,24	1
3		34,4	2,0	5,8	17,5	0,58	—	2
4		34,3	2,0	5,5	12,5	—	0,44	2
5		34,5	2,5	5,0	16,5	2,25	—	3
6		34,1	2,7	6,0	9,8	—	0,53	3
7		17,1	1,9	3,4	6,0	—	7,80	1
8		17,3	1,9	3,6	8,0	17,70	—	1
9		23,4	2,0	5,4	15,2	5,33	—	1
10		22,9	2,2	5,4	14,8	—	2,03	1
11		17,1	2,5	4,0	14,4	5,60	—	2
12		17,2	1,6	3,6	15,6	—	2,40	2
14		17,0	1,2	—	8,0	9,02	—	3

Окончание табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	
6	1	32,5	—	5,9	14,0	1,15	—	3	
	3	23,1	1,6	7,6	9,9	1,94	—	2	
	4	23,0	1,7	8,5	9,8	—	0,92	2	
	5	34,6	4,7	9,8	14,0	0,90	—	2	
	6	34,0	3,9	7,7	9,0	—	0,15	2	
	7	16,9	3,0	6,6	11,5	—	6,90	3	
	8	16,8	2,6	3,0	12,6	7,55	—	3	
	9	23,7	3,6	4,3	12,0	4,76	—	3	
	10	23,4	2,0	4,2	13,6	—	1,46	3	
	13	17,2	2,0	3,0	9,6	3,99	—	2	
	14	17,3	1,6	3,4	9,0	—	1,81	2	
	7	1	34,5	2,6	9,0	20,2	1,61	—	3
		2	34,5	3,0	8,0	22,5	—	0,24	3
		3	23,2	2,0	7,3	10,0	2,35	—	2
4		22,8	3,0	7,5	14,5	—	0,90	2	
5		34,5	3,5	7,5	13,7	0,80	—	2	
6		34,1	4,0	7,2	12,7	—	0,57	2	
7		17,1	1,2	3,9	9,4	—	8,20	3	
8		17,3	1,6	3,7	10,2	14,80	—	3	
9		23,0	1,6	4,6	14,2	6,70	—	3	
10		23,4	1,6	4,8	13,2	—	3,14	3	
11		16,9	0,9	2,4	7,6	5,82	—	2	
12		17,0	1,6	2,2	9,2	—	2,80	2	
8	1	33,4	5,6	9,0	23,2	1,1	—	3	
	2	34,4	5,0	5,6	20,0	—	0,40	3	
	3	22,6	3,1	3,5	12,0	2,01	—	2	
	4	23,4	4,0	3,6	13,0	—	0,89	2	
	5	34,1	3,8	8,0	16,0	0,51	—	2	
	6	34,3	3,8	8,0	11,6	—	0,11	2	
	7	17,2	1,6	2,6	11,0	—	5,29	3	
	8	18,0	2,4	3,5	14,8	8,10	—	3	
	9	23,0	2,0	4,0	10,2	3,68	—	3	
	10	23,1	2,0	6,0	10,2	—	1,73	3	
	11	17,2	1,2	2,0	8,8	3,59	—	2	
	12	17,0	1,3	2,3	4,8	—	1,69	2	
9	1	34,5	3,2	6,7	17,4	1,26	—	3	
	2	34,5	3,2	6,6	17,4	—	0,25	3	
	3	23,1	2,0	4,0	11,0	1,68	—	2	
	4	23,0	2,1	4,0	14,0	—	0,89	2	
	5	34,4	3,3	6,0	18,0	0,63	—	2	
	7	17,2	1,7	4,6	9,0	—	5,03	3	
	8	17,2	1,8	4,4	9,8	10,80	—	3	
	9	23,0	1,9	4,9	14,4	4,00	—	3	
	11	17,1	1,5	4,3	6,7	4,82	—	2	
	12	17,0	1,6	2,9	6,7	—	1,69	2	

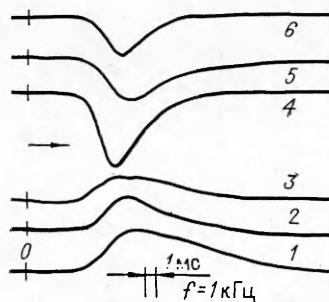
нагружения в импульсе давления  $\sigma(r) = \sigma(r)/t_n(r)$ , а также дать приближенную оценку распределения импульсов взрывных волн в окружающем пространстве  $I(r) = 0,5 \sigma(r)t_+(r)$ , так как форма импульсных возмущений близка к треугольной (см. осциллограмму опыта 5, на которой зарегистрированы показания первых шести датчиков (рис. 1)).

Значительное количество экспериментальных точек наблюдений и естественный разброс значений измеряемых величин существенно усложняют графическое представление указанных выше зависимостей, поэтому на некоторых рисунках точки не приведены, а даны лишь кривые, построенные методом наименьших квадратов. Для оценки рассеяния дискретных значений измеряемых величин в табл. 1 приведены результаты расшифровки осциллограмм всех экспериментов.

На рис. 2 показаны кривые, характеризующие затухание амплитуд взрывных волн с расстоянием от очага взрыва. Сплошные кривые пл-

Рис. 1. Характерная оциллограмма волновых процессов в грунтах.

0 — момент взрыва; 1—6 — номера датчиков; 1, 3, 5 —  $\sigma_r(t)$ ; 2, 4, 6 —  $\sigma_\theta(t)$ .



люстрируют зависимости  $\sigma_r(r)$ , штриховые —  $\sigma_\theta(r)$ . Номер кривой соответствует направлению, по которому производилось измерение. Из рисунка видно, что все анализируемые зависимости носят степенной характер:

$$\sigma_{r,i}(r) = A_i \left( \frac{r}{r_3} \right)^{-\alpha_i}, \quad \sigma_{\theta,i}(r) = B_i \left( \frac{r}{r_3} \right)^{-\beta_i},$$

где  $A$ ,  $\alpha$ ,  $B$  и  $\beta$  — экспериментальные коэффициенты;  $i = 1, 2, 3$  — характеристика направления. Полученные в результате математической обработки экспериментальных данных значения  $A$ ,  $\alpha$ ,  $B$  и  $\beta$  приведены в табл. 2.

Из анализа кривых видно, что силовые параметры взрывных волн, излучаемых в направлении действия газокумулятивной струи, значительно больше, чем в обратном направлении. Это свидетельствует о том, что наличие газокумулятивного канала в заряде приводит к перераспределению энергии взрыва в окружающем грунтовом массиве. Отношение одноименных главных напряжений в направлении действия газокумулятивной струи  $\mu$  в сторону торца заряда вблизи очага взрыва колеблется от 3 до 3,3. С увеличением расстояния от очага взрыва указанное отношение снижается, достигая на границе зоны уплотнения  $\sim 1,8$ — $2,0$ . Эти количественные оценки позволяют сделать два вывода. Во-первых, поскольку давление продуктов детонации на окружающую среду пропорционально квадрату их скорости, трехкратное увеличение амплитуды взрывной волны в направлении действия газокумулятивной струи косвенно подтверждает упоминавшееся выше увеличение скорости продуктов детонации в канале в 1,65—1,75 раза. Во-вторых, напряжения, генерируемые в массиве газокумулятивной струей, затухают быстрее, что обусловлено неравномерностью напряженного состояния массива вокруг очага взрыва газокумулятивного заряда. Так, если показатели затухания взрывных волн в направлении газокумулятивной струи изменяются в диапазоне 3,46—3,61, то для противоположного направления они составляют всего 2,72—2,79.

Как видно из рис. 2 и табл. 2, амплитуды взрывных волн в направлении газокумулятивной струи и в перпендикулярном направлении

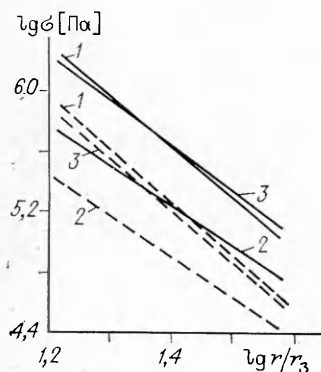


Таблица 2

$i$	$A$ , Па	$\alpha$	$B$ , Па	$\beta$	$\alpha_+ \cdot 10^3$ , с
1	$2,88 \cdot 10^{10}$	3,46	$2,00 \cdot 10^{10}$	3,61	6,55
2	$1,07 \cdot 10^9$	2,72	$6,45 \cdot 10^8$	2,79	5,25
3	$0,89 \cdot 10^{10}$	3,08	$1,58 \cdot 10^{10}$	3,57	4,40

Рис. 2. Распределение амплитуд взрывных волн по различным направлениям от очага взрыва газокумулятивного заряда.

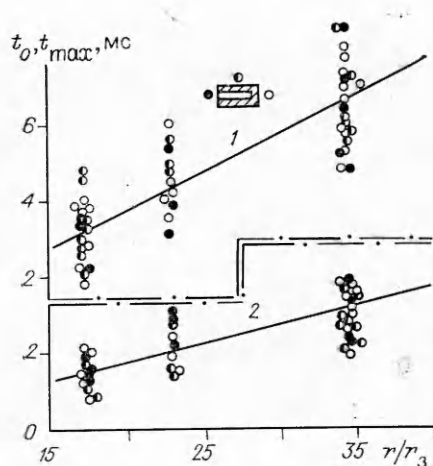


Рис. 3. Зависимости  $t_{\max}(r)$  (1) и  $t_0(r)$  (2) при взрывах газокумулятивных зарядов в грунтах.

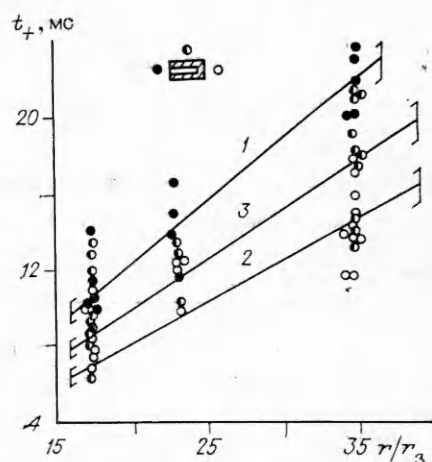


Рис. 4. Изменение длительности взрывных волн  $t_+$  с расстоянием от очага взрыва газокумулятивного заряда.

близки между собой, что, по-видимому, обусловлено геометрией фронта взрывной волны, излучаемой боковой поверхностью заряда.

Временные параметры взрывных волн также имеют некоторые особенности, обусловленные конструкцией зарядов. Разброс экспериментальных значений времени прихода взрывной волны и вступления фронта максимальных напряжений не позволил выявить зависимость этих характеристик от ориентации газокумулятивного заряда. Это отчетливо видно на рис. 3, где каждая точка соответствует усредненному значению временного параметра по показаниям двух датчиков, размещенных в данной точке грунтового массива. Рисунок свидетельствует о том, что скорость распространения взрывной волны не зависит от направления ее излучения относительно заряда. То же относится и к скорости распространения максимальных напряжений. Более того, в силу очевидной линейности (см. рис. 3) зависимостей  $t_0(r/r_3)$  и  $t_{\max}(r/r_3)$  можно сделать вывод о том, что в исследованном диапазоне расстояний скорости распространения взрывных волн и их максимумов постоянны. Это объясняется малой амплитудой взрывных волн на таких расстояниях, при которой нелинейностью механического поведения грунта допустимо пренебречь и считать взаимосвязь напряжений и деформаций в грунте линейной.

Количественная обработка результатов наблюдений, представленных на рис. 3, позволила построить зависимости

$$t_0 = 0,96 \cdot 10^{-4} \left( \frac{r}{r_3} - 1 \right), \quad t_{\max} = 2,00 \cdot 10^{-4} \left( \frac{r}{r_3} - 1 \right),$$

которые позволяют дать количественную оценку скоростям взрывной волны  $v_0 = 400 \div 440$  м/с и фронта максимальных напряжений  $v_{\max} = 190 \div 200$  м/с. Тот факт, что фронт максимальных напряжений отстает от фронта вступления взрывной волны, свидетельствует об изменении амплитудно-временной конфигурации волнового процесса по мере удаления от очага взрыва, что отмечалось во многих работах, посвященных действию взрыва в грунтах (например, [4, 6, 7]).

Время действия избыточного давления  $t_+$  во взрывной волне существенно зависит от направления ее излучения (рис. 4). Наибольшая длительность взрывной волны отмечается по направлению действия газокумулятивной струи, наименьшая — в противоположном. В исследованном диапазоне измерения параметров взрывных волн  $t_{+1}/t_{+2} \approx 1,5$ . Длительность волнового процесса в направлении, перпендику-

лярном оси заряда, хотя и превышает аналогичный параметр в направлении торца заряда, но все же значительно уступает длине волны по направлению действия газокумулятивной струи. Эта особенность действия газокумулятивного заряда достаточно устойчива (доверительные интервалы анализируемых зависимостей, составляющие  $\pm 11,4\%$  измеряемой величины при доверительной вероятности 0,9 и показанные на рис. 4 отрезками на концах прямых  $t_+(r)$ , не пересекаются для разных направлений излучения взрывных волн) и, по-видимому, свидетельствует о том, что газокумулятивная струя создает дополнительный подпор взрывной волне не только по амплитуде, но и во времени.

Аналогично  $t_0(r)$  и  $t_{\max}(r)$ , зависимость  $t_+(r)$  удовлетворительно аппроксимируется линейной функцией вида  $t_+ = a_+(r/r_3 - 1)$ , однако в этом случае экспериментальные коэффициенты  $a_+$  для разных направлений распространения волн различны. Их численные значения для условий проведения экспериментов даны в табл. 2.

На основании изложенного можно сделать вывод, что повышение эффективности механического действия газокумулятивного заряда обусловлено перераспределением энергии взрыва, отражающимся на формировании напряженного состояния окружающей среды: увеличении амплитуды взрывной волны, излучаемой в направлении истечения газокумулятивной струи, и длительности действия избыточного давления. Оба эти фактора способствуют усилению как уплотняющего (в грунтах), так и разрушающего (в скальных горных породах) действия взрыва, что может быть применено при совершенствовании технологий использования энергии взрыва в горной промышленности и других отраслях народного хозяйства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Мерзиевский Л. А., Титов В. М., Фадеев Ю. И. и др. Высокоскоростное метание твердых тел // ФГВ.— 1987.— 23, № 5.— С. 77.
2. Михалюк А. В., Писарев Ю. А. Механическое действие газокумулятивных зарядов в горных породах // Там же.— 1989.— 25, № 5.— С. 123.
3. Евстропов Н. А. Взрывные работы в строительстве.— М.: Стройиздат, 1965.
4. Вовк А. А., Замышляев Б. В., Евтерев Л. С. и др. Поведение грунтов под действием импульсных нагрузок.— Киев: Наук. думка, 1984.
5. Туричин А. М., Новицкий П. В. Проволочные преобразователи и их техническое применение.— М.: Энергоиздат, 1987.
6. Ляхов Г. М. Волны в грунтах и пористых многокомпонентных средах.— М.: Наука, 1982.
7. Действие крупномасштабных взрывов в массиве горных пород/Под ред. А. Н. Щербаня.— Киев: Наук. думка, 1974.— Ч. 1.

2. Киев

Поступила в редакцию 14/V 1990

УДК 620.178.7

*Е. Ф. Горбунов, А. Г. Иванов, В. А. Могилев, А. А. Пехтерев,  
А. Т. Плохин, А. А. Сиротов, В. Н. Софронов, Ю. И. Файков, Ю. А. Фатеев*

#### РЕАКЦИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КАМЕР НА ВНУТРЕННЕЕ ВЗРЫВНОЕ НАГРУЖЕНИЕ

В работе [1] показан существенный вклад массы бетона в несущую способность трехслойной взрывной камеры, когда бетон располагался между двумя цилиндрическими стальными обечайками. В настоящей работе приведены результаты экспериментального и численного изучения реакции взрывных камер, у которых бетон заполняет арматурный каркас стенки. Показана высокая стойкость бетона внутри арматурного каркаса к ударно-волновому нагружению, его существенный вклад в несущую способность взрывной камеры. Предложен метод оценки несущей способности камер, аналогичных испытанным.