

УДК 532.2

## КУМУЛЯТИВНЫЙ ЗАРЯД С ОСЕВЫМ КАНАЛОМ

А. В. Малыгин, Е. В. Проскуряков, М. В. Сорокин, В. М. Фомин\*

Новосибирское высшее военное командное училище (Военный институт),  
630117 Новосибирск

\* Институт теоретической и прикладной механики им. С. А. Христиановича СО РАН,  
630090 Новосибирск  
E-mail: mv\_sorokin@ngs.ru

Рассмотренкумулятивный заряд с осевым каналом. Подрыв заряда осуществлялся ударом кольцевой пластины, в результате чего происходило инициированиекумулятивного заряда одновременно во всех точках области, представлявшей собой кольцо. Определены материал и параметры инициирующей пластины (скорость, толщина, ширина, расстояние, на которое перемещается пластина), обеспечивающие стабильное пробитиекумулятивного заряда. Полученные результаты могут быть использованы при создании составного (например, “тандемного”)кумулятивного заряда “донно-головного” типа (первым срабатывает дальний от преграды заряд, а затем ближний).

**Ключевые слова:** инициированиекумулятивного заряда,кумулятивная струя, взрывчатое вещество, взрывное устройство, глубина бронепробития.

Для подрывакумулятивных зарядов (КЗ) обычно применяется точечное инициирование (капсюль-детонатор размещается в определенной точке на оси КЗ). Вкумулятивном снаряде ЗБК14М (калибр 125 мм) инициирование КЗ осуществляется пьезоэлектрическим взрывным устройством В-15 [1]. Пьезогенератор взрывателя расположен в головной части снаряда, капсюль-детонатор — в его донной части. Вкумулятивном снаряде ЗБКЗМ (калибр 100 мм) применяется головной взрыватель ГПВ-2 [1]. Импульс от взрыва детонатора взрывателя, расположенного в головной части снаряда, с помощью метаемого компактного элемента передается капсюлю-детонатору, расположенному в донной части снаряда.

Кумулятивный заряд “тандемного” типа состоит из двух последовательно срабатывающих КЗ. Существует две схемы размещения КЗ в “тандеме”. Наиболее распространена схема “тандема” “головодонного” типа, в соответствии с которой первым срабатывает ближний к преграде заряд, размещенный в головной части снаряда; затем через определенное время (время задержки), необходимое для срабатывания первого КЗ, инициируется второй КЗ, размещенный в донной части снаряда. Для инициирования второго КЗ возможно применение типовых взрывных устройств (В-15, ГПВ-2 и др.). При использовании схемы составного заряда “донно-головного” типа первым срабатывает дальний от преграды КЗ, размещенный в донной части снаряда. Кумулятивная струя (КС) первого КЗ проходит через осевой канал второго КЗ, размещенного в головной части снаряда, и создает пробой в преграде. Через определенное время, необходимое для срабатывания первого КЗ, инициируется второй КЗ, который повторно воздействует на преграду (углубляет пробой). Преимуществом схемы “донно-головного” типа является отсутствие песта и низкоскоростных частей КС первого КЗ на пути второго КЗ (в отличие от схемы составного заряда “головодонного” типа). Недостатками этой схемы являются сложность кольцевого инициирования второго заряда, наличие в нем осевого канала, необходимость отсечки низкоскоростных частей КС и песта первого заряда и др.

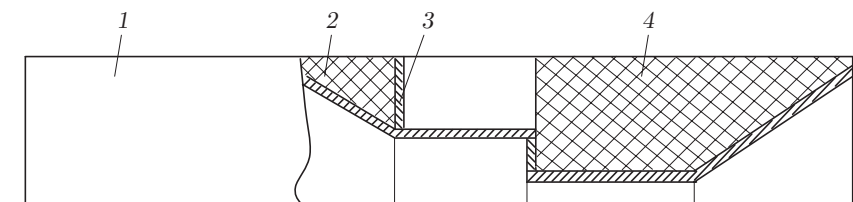


Рис. 1. Схема инициирования КЗ ударом пластины:

1 — имитатор первого КЗ “тандема”; 2 — заряд отсекаателя; 3 — инициирующая пластина (сталь); 4 — второй КЗ с осевым каналом (ВВ ТГ 40/60; медная облицовка с углом раствора, равным 50°)

Глубина пробития кумулятивного заряда при его инициировании ударом кольцевой пластины

Номер эксперимента	$\delta$ , мм	$a$ , мм	$v$ , км/с	$l$ , мм	$t$ , мкс	$h$ , мм	$\langle h \rangle$ , мм	$\sigma$ , мм
1	0	10	—	0	0	244; 241; 230; 264; 251	246	13
2	1	10	2,0	17	8,5	247; 238; 274; 219	245	23
3	1	10	2,0	30	15,0	230; 231; 230; 199; 264	231	23
4	1	10	2,0	40	20,0	105; 153; 192; 227	169	52
5	0	14	—	0	0	239; 246; 259; 254; 251	250	8
6	1	14	2,6	17	6,5	246; 261; 230; 270; 249	251	15
7	1	14	2,6	30	11,5	231; 254; 236; 248; 240	242	9
8	1	14	2,6	40	15,4	230; 161; 114; 187; 223	183	48
9	0	17	—	0	0	247; 252; 245; 263; 251	252	7
10	1	17	3,1	17	5,5	260; 265; 258; 273; 264	264	6
11	1	17	3,1	30	9,7	230; 279; 280; 275; 296	272	25
12	1	17	3,1	40	13,0	190; 250; 290; 226	239	42
13	2	10	—	0	0	235; 243; 251; 236; 237	240	7
14	2	10	1,6	17	10,6	222; 180; 211; 219; 214	209	17
15	2	10	1,6	30	18,8	149; 65; 110; 88; 240	130	69
16	2	10	1,6	40	25,0	181; 100; 59; 87; 152	116	50
17	2	14	—	0	0	228; 265; 247; 256; 241	247	14
18	2	14	1,8	17	9,4	229; 196; 223; 228; 230	221	14
19	2	14	1,8	30	16,7	149; 66; 241; 91; 114	132	68
20	2	14	1,8	40	22,2	191; 108; 69; 95; 159	124	50
21	2	17	—	0	0	234; 260; 252; 248; 252	249	10
22	2	17	2,2	17	7,7	221; 235; 228; 190; 224	220	17
23	2	17	2,2	30	13,6	155; 70; 247; 95; 115	136	69
24	2	17	2,2	40	18,2	186; 105; 64; 92; 158	121	50

Рассмотрено инициирование КЗ с помощью металлической пластины, метаемой зарядом отсекаателя [2]. Схема инициирования КЗ ударом пластины показана на рис. 1. Эксперименты проводились на модельных зарядах диаметром (калибром)  $d = 56$  мм, заряды взрывчатого вещества (ВВ) изготавливались из состава ТГ 40/60, использовалась медная облицовка с углом раствора, равным 50°. В КЗ имелся осевой канал диаметром  $0,2d$ , по которому проходила КС [3]. Расстояние от КЗ до преграды составляло два калибра, в качестве преграды использовалась бронева сталь средней твердости.

Результаты экспериментов по пробитию КЗ при различных параметрах инициирующей пластины приведены в таблице ( $h$  — глубина пробития КЗ;  $\delta$ ,  $a$  — толщина и ширина пластины;  $l$  — расстояние, на которое перемещается пластина;  $v$  — скорость лидирующей части пластины, определяемая с помощью рентгеноимпульсной съемки;  $t$  — время

полета пластины, оцениваемое по кинематической формуле через  $l$  и  $v$ ;  $\langle h \rangle$  — величина, осредненная по четырем-пяти значениям  $h$ ;  $\sigma$  — среднеквадратичное отклонение значения  $h$ ). Расстояние  $l$ , на которое перемещается пластина 3 (см. рис. 1), равно расстоянию между ней и зарядом 4. КЗ пробивает преграду стабильно при непосредственной передаче детонации от заряда 2 к заряду 4 (см. рис. 1). При увеличении расстояния  $l$ , на которое перемещается пластина, глубина бронепробития  $h$  сначала остается неизменной, а затем уменьшается. Предполагается, что уменьшение глубины пробития КЗ вызвано искривлением, разрушением пластины при движении и нарушением симметрии фронта детонационной волны (ДВ) в КЗ.

Существует оптимальное значение толщины пластины  $\delta = 1$  мм ( $0,02d$ ), при котором зависимость глубины пробития  $h$  от расстояния  $l$  является наиболее слабой (эксперимент 11). При толщине пластины  $\delta = 2$  мм глубина пробития  $h$  значительно меньше (эксперимент 19). По-видимому, это обусловлено расслоением пластины в результате откола. Если толщина пластины оптимальна:  $\delta = 1$  мм, а ширина пластины  $a = 14$  мм ( $0,25d$ ), то при увеличении расстояния, на которое перемещается пластина, до значения  $l = 30$  мм ( $0,5d$ ) глубина бронепробития  $h$  остается практически постоянной, а затем уменьшается.

Результаты экспериментов существенно зависят от начальной ширины пластины  $a$  (ср. эксперименты 5–8 и 9–12). С увеличением начальной ширины пластины  $a$  увеличивается расстояние  $l$ , при котором глубина бронепробития  $h$  не меняется. Для объяснения этого эффекта проводилось численное моделирование процесса метания пластины зарядом отсекающего (см. рис. 1) в двумерной постановке [4, 5] и с помощью инженерной методики [6, 7]. В результате расчетов получено качественное описание процесса метания пластины. Первоначально плоская кольцевая пластина при движении деформируется. Периферийные части пластины отстают от центральных вследствие наличия в метаемом заряде боковых волн разрежения. В результате формируется выпуклая в направлении движения лидирующая часть пластины. Результаты двумерных расчетов согласуются с экспериментальными данными, полученными в случае смещения пластины на расстояние, приближенно равное радиусу заряда, при скорости пластины менее 3 км/с. Результаты расчета с помощью инженерной методики согласуются с экспериментальными данными, полученными для лидирующей области пластины. С помощью инженерной методики [6, 7] рассчитывался радиус кривизны лидирующей части пластины в процессе ее перемещения при различных начальных значениях ширины пластины. При фиксированном значении  $l$  радиус кривизны лидирующей части пластины тем больше, чем больше начальная ширина пластины. Предполагается, что с увеличением радиуса кривизны пластины уменьшается степень ее разрушения, вызванного искривлением. Поэтому в экспериментах при большой начальной ширине пластины достигается большая глубина бронепробития.

Рентгенограммы металлической пластины при различном ее перемещении показаны на рис. 2. При движении пластина разрушается, что обусловлено отставанием ее боковых частей от центральных (искривлением пластины) и последующим их отрывом. Дополнительное разрушение пластины возможно в результате ее расслоения (откола). Предполагается, что нарушение симметрии пластины вызвано ее несимметричным разрушением.

Для контроля симметрии фронта ДВ проводилась скоростная фоторегистрация (в растровом режиме) фронта волны в различных сечениях заряда. Методика фоторегистрации фронта ДВ [8, 9] основана на засветке воздушного зазора по мере выхода в него фронта волны. Свечение в воздушном зазоре проецируется на фотопленку с помощью вращающегося зеркала через систему прямолинейных щелей. В результате на пленке получается “трехмерный” отпечаток фронта ДВ. В случае плоского фронта ДВ система щелей фоторегистратора проецируется на фотопленку в виде прямых равноотстоящих друг от друга линий. Если фронт ДВ искривлен, то линии на фотопленке также искривляются. По ве-

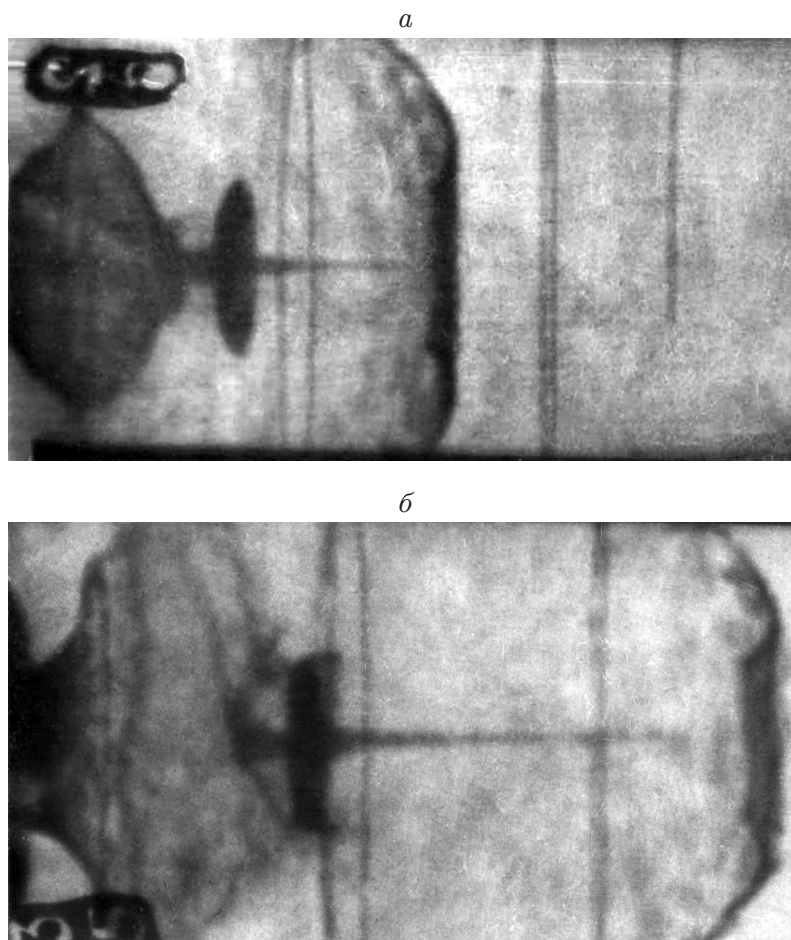


Рис. 2. Рентгенограммы формоизменения пластины толщиной  $\delta = 0,02d$  и шириной  $a = 0,18d$  при ее движении:  
 $a - l = 0,6d$ ;  $б - l = 1,1d$

личине смещения этих линий относительно начального положения определяется время  $t$  выхода ДВ в заданную точку выбранного сечения щели. В зависимости от степени размытости полос время  $t$  регистрируется с точностью до 30 нс. Полученные значения времени  $t$  интерполируются на всю поверхность заряда, и по этим результатам строится фронт волны при различных значениях  $t$ .

Хронограммы фронта ДВ вблизи вершины облицовки КЗ приведены на рис. 3. На рис. 3,а представлен симметричный фронт ДВ, которому соответствует стабильное пробитие КЗ (эксперимент 10). Рентгенограммы формирования КС из КЗ с осевым каналом, полученные при инициировании КЗ кольцевой пластиной, приведены на рис. 4. На рис. 3,б показан несимметричный фронт ДВ. В этом случае КЗ пробивает преграду нестабильно (эксперимент 4). Предполагается, что уменьшение глубины пробития КЗ вызвано несимметричным инициированием КЗ.

Определены материал и параметры инициирующей пластины (скорость, толщина, ширина, расстояние, на которое перемещается пластина), обеспечивающие стабильное пробитие преграды КЗ. Кумулятивный заряд с осевым каналом диаметром  $0,2d$  стабильно пробивает преграду при его инициировании стальной пластиной толщиной  $0,02d$  и шириной  $0,25d$  (расстояние между зарядами равно  $0,5d$ ). Результаты работы могут быть использованы при создании составного (например, “тандемного”) КЗ “донно-головного” типа.

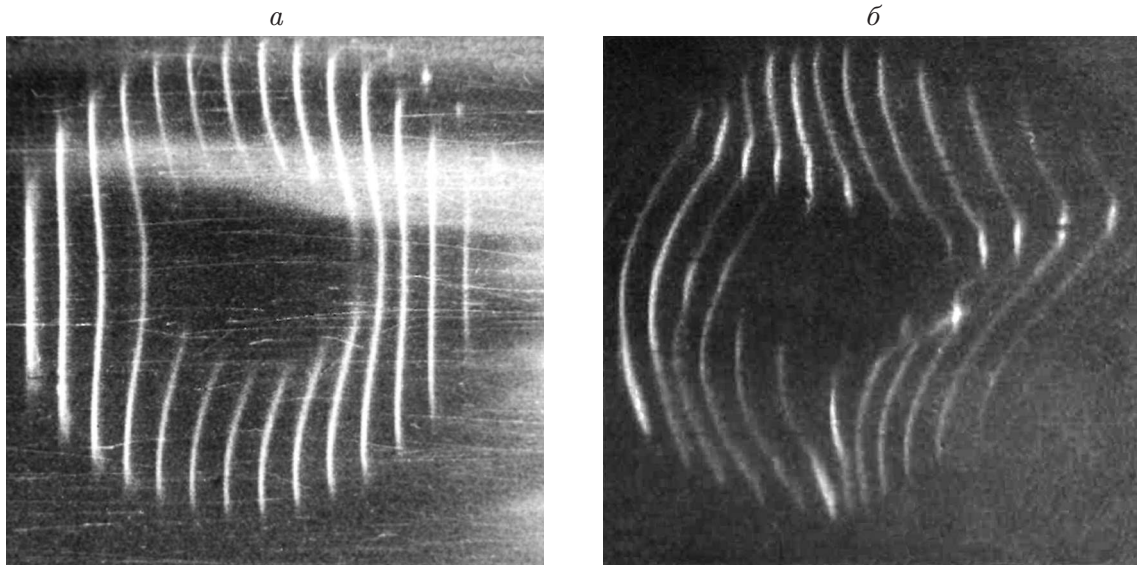


Рис. 3. Хронограммы фронта ДВ вблизи вершины облицовки КЗ при толщине пластины  $\delta = 0,02d$ :

*a* —  $a = 0,3d, l = 0,3d$ ; *б* —  $a = 0,18d, l = 0,7d$

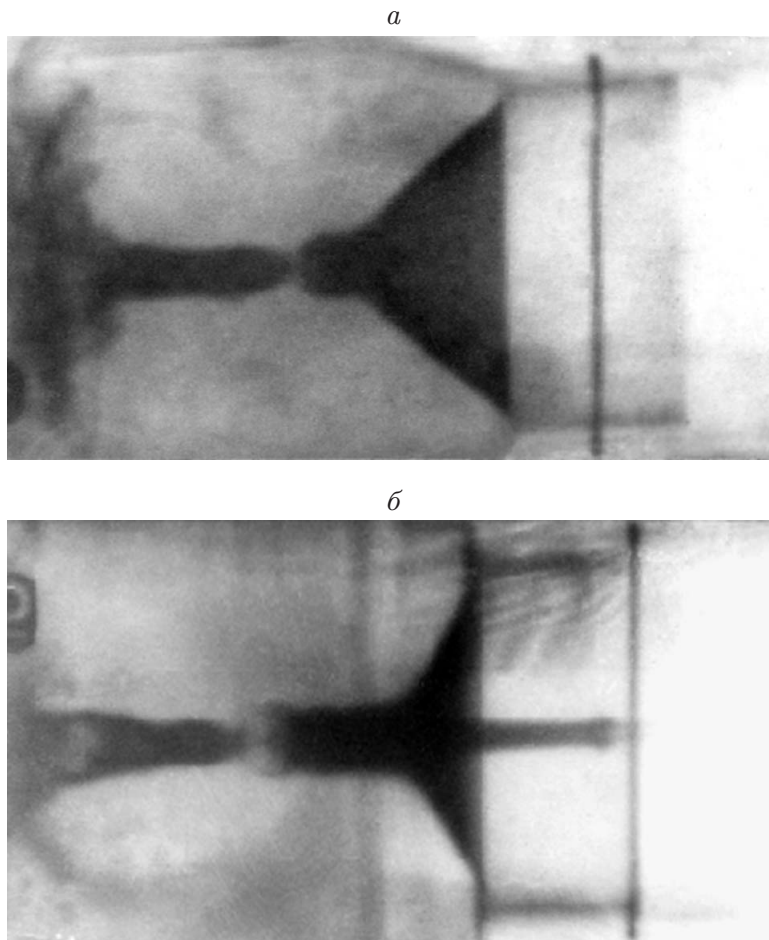


Рис. 4. Рентгенограммы КЗ с осевым каналом при его инициировании ударом кольцевой пластины ( $\delta = 0,02d, a = 0,25d, l = 0,5d$ )

## ЛИТЕРАТУРА

1. **Бабкин А. В.** Средства поражения и боеприпасы: Учеб. / А. В. Бабкин, В. А. Велданов, Е. Ф. Грязнов и др.; Под общ. ред. В. В. Селиванова. М.: Моск. гос. техн. ун-т им. Н. Э. Баумана, 2008.
2. **Малыгин А. В., Сорокин М. В., Фомин В. М., Юрченко В. В.** Отсекание кумулятивной струи // ПМТФ. 2009. Т. 50, № 5. С. 218–221.
3. **Проскуряков Е. В., Сорокин М. В., Фомин В. М.** Взаимодействие кумулятивной струи с преградой, имеющей осевое отверстие // ПМТФ. 2008. Т. 49, № 6. С. 13–16.
4. **Белоцерковский О. М.** Метод крупных частиц / О. М. Белоцерковский, Ю. М. Давыдов. М.: Наука, 1982.
5. **Фомин В. М.** Высокоскоростное взаимодействие тел / В. М. Фомин, А. И. Гулидов, Г. А. Сапожников и др. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 1999.
6. **Маринин В. М., Бабкин А. В., Колпаков В. И.** Методика расчета параметров функционирования кумулятивного заряда // Оборон. техника. 1995. № 4. С. 34–39.
7. **Физика взрыва:** В 2 т. Т. 2. 3-е изд., испр. / Под ред. Л. П. Орленко. М.: Физматлит, 2004.
8. **Дремин А. Н.** Детонационные волны в конденсированных средах / А. Н. Дремин, С. Д. Савров, В. С. Трофимов, К. К. Шведов. М.: Наука, 1970.
9. **Похил П. Ф.** Методы исследования процессов горения и детонации / П. Ф. Похил, В. М. Мальцев, В. М. Зайцев. М.: Наука, 1969.

*Поступила в редакцию 22/І 2010 г.,  
в окончательном варианте — 1/IV 2010 г.*

---