

мых условиях и растет при увеличении плотности излучения до предельной скорости детонации, обуславливая существование предела уменьшения времени работы навески ВВ. Кроме того, из экспериментальной зависимости критической плотности излучения от диаметра луча следует, что при больших размерах луча параметры начальной ударной волны постоянны, а в области малых размеров, соизмеримых с критическим диаметром заряда и с размерами зоны реакции, они возрастают.

Таким образом, анализ экспериментальных результатов подрыва тэна и азида свинца с позиций ряда возможных при этом физических процессов показал, что только тепловая теория инициирования может объяснить полученные факты. В этом случае световая энергия через поглощение слоем ВВ преобразуется в энергию ударной волны, являющуюся критерием инициирующей способности лазерного излучения в различных условиях.

*Поступила в редакцию  
14/III 1969*

#### ЛИТЕРАТУРА

1. А. А. Бриш, И. А. Галеев и др. ФГВ, 1966, 3, 2.
2. И. А. Галеев, Б. Н. Зайцев. Первый Всесоюзный симпозиум по горению и взрыву. Тезисы докладов. М., «Наука», 1968.
3. J. Roth. J. Chem. Phys., 1964, 41, 7.
4. Ф. А. Баум, К. П. Станюкович и Б. И. Шехтер. Физика взрыва. М., Физматгиз, 1959.
5. Н. Г. Басов, В. А. Бойко и др. ЖЭТФ, 1966, 51, 987.
6. Ф. Боуден, А. Иоффе. Быстрые реакции в твердых веществах. М., ИЛ, 1962.
7. Я. Б. Зельдович, Ю. П. Райзер. Физика ударных волн и высокотемпературных гидродинамических явлений. М., «Наука», 1966.
8. Ю. П. Райзер. УФН, 1965, 87, 1, 29.
9. Л. В. Келдыш. ЖЭТФ, 1965, 47, 1945.

УДК 662.215.5

### **ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ К УДАРУ ТВЕРДЫХ ВВ С УЧЕТОМ ПЕРЕДАЧИ ВЗРЫВА**

*И. С. Клочков, Л. С. Ильинская  
(Москва)*

Известно [1, 2], что при ударе по ВВ не всегда начавшееся под бойком взрывчатое разложение переходит в самораспространяющийся взрывной процесс; часто взрыв затухает и происходит как бы микро-взрыв. Оказалось, что ВВ существенно различаются по способности к распространению взрыва и, в частности, по вероятности передачи взрыва от сжатого ударом вещества окружающему.

Ниже описаны опыты по выявлению условий, определяющих вероятность передачи взрыва. На основании этих исследований разработан метод определения чувствительности к удару и проведено измерение чувствительности некоторых веществ.

### МЕТОДИКА ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТОВ

Использовались приборы с бойками диаметром 2, 5, 10, 20 и 40 мм. Схема прибора представлена на рис. 1. Он состоит из двух рабочих роликов: бойка и наковальни, двух направляющих втулок, стального кольца. Прибор устанавливается на стальной закаленный диск. Фактический диаметр площадки контакта роликов меньше их номинального диаметра на удвоенную величину фаски. В приборах с диаметром бойков 2 и 5 мм ролик-наковальня применяется большего, чем боек, диаметра — 10 мм. В остальных приборах диаметры обоих роликов равны. Сечение кольцевого канала примерно одинаково для всех приборов и составляет  $3 \times 3$  мм<sup>2</sup>. Испытание приборов, снаряженных исследуемым ВВ, производилось

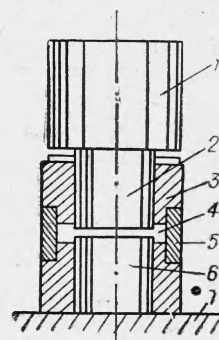


Рис. 1. Схема прибора.

1 — ролик; 2 — ролик-бок; 3 — направляющие втулки; 4 — взрывчатое вещество; 5 — кольцо; 6 — ролик-наковальня; 7 — диск.

на копре К-44-П с грузами весом 2, 5 и 10 кг и на большом копре аналогичной конструкции с грузом весом 20 кг.

Эффект удара определялся следующим образом. Если в результате удара все вещество прореагировало, кольцо раздробилось, на поверхностях деталей прибора имеются характерные следы пластической деформации (бризантный эффект), считали, что произошла детонация. Чаще передача взрыва в кольцевой канал не сопровождалась бризантным эффектом, хотя по силе звукового эффекта, определяемого на слух, разницы не наблюдалось. Кольцо при этом или увеличивалось в диаметре, или имело один-два разрыва. Этот случай считался полным взрывом. Часто возникший под бойком микровзрыв не передавался в кольцевой канал, хотя мог сопровождаться довольно сильным звуком. Отказы отмечались в тех случаях, когда на поверхности ВВ после удара никаких следов разложения визуально не обнаруживалось.

### ДИАМЕТР БОЙКА

Определялась частота передачи взрывов в приборах с бойками различных диаметров. Навеска ВВ в виде порошка помещалась в прибор и равномерно распределялась в кольцевом канале и между роликами. Для приборов с диаметром бойков 2 и 5 мм эта навеска составляла 0,05 г, 10 мм — 0,2 г, 20 мм — 0,4 г, 40 мм — 1,5 г. Энергия удара выбрана по возможности большей так, чтобы, с одной стороны, микровзрывы под бойком возникали регулярно, с другой стороны, не наблюдалось бы значительной остаточной деформации роликов. Таким образом была выбрана величина энергии удара на единицу поверхности поперечного сечения бойка, равная  $6,4$  кГ·м/см<sup>2</sup>. Уменьшение этой величины энергии примерно в 5 раз привело к уменьшению частоты взры-

вов для гексогена всего лишь на 10%, для тэна — на 50% (диаметр бойка 10 мм), поэтому в опытах имелся «запас» по энергии. Для прибора с диаметром бойка 40 мм энергия удара была меньше и составляла 40 кГ·м. Результаты опытов для некоторых ВВ приведены в табл. 1. Кроме мощных взрывчатых веществ, исследовались также перхлорат аммония и коллоксилин. Каждое значение частоты взрывов

Таблица 1

Процент взрывов ВВ в приборах с бойками различных диаметров

	Диаметр бойка, мм					Примечание
	2	5	10	20	40	
Азид свинца	100	—	—	—	—	Детонация
Тэн	0	2	70	—	—	Часто детонирует
Октоген	0	0	40	—	—	Полные взрывы с сильным звуком
Гексоген	0	0	10	100	—	
Тетрил	0	0	0	20	—	40÷80% локальных
Коллоксилин сухой в виде ваты	—	0	0	50	—	Горение медленное, без звуков
Тротил	0	—	0	0	0	Локальные 30÷80% без звука
Перхлорат аммония	—	—	0	0	0	100% локальных с сильным звуком

Примечание. Азид свинца испытывался на копре Велера с диаметром бойка 1,6 ÷ 1,9 мм.

получено из 10—20 ударов, за исключением тэна и гексогена на диаметре 5 мм. Для этих веществ произведено по 100 ударов. В табл. 1 приведены значения частоты полных взрывов. Характер полных и локальных взрывов отмечен в примечаниях.

Из таблицы следует, что для большинства испытанных веществ передача взрывов наблюдается только при диаметрах больше определенного, несмотря на то, что микровзрывы на меньших диаметрах возникают с большой частотой (как правило, не меньше 30%). Для тротила не удалось получить передачу взрывов при изменении диаметра бойка от 2 до 40 мм и соответствующих навесках ВВ. Очевидно, для получения взрывов тротила необходима большая величина диаметра бойка. Коллоксилин загорается от ударов. Передача горения в кольцевой канал наблюдалась при диаметре бойка, равном 20 мм. Горение в кольцевом канале протекает спокойно в течение 5—7 сек, звуковым эффектом не сопровождается. Перхлорат аммония не способен к передаче взрывов на диаметрах до 40 мм, хотя микровзрывы с довольно сильным звуком возникают во всех случаях с частотой 100%.

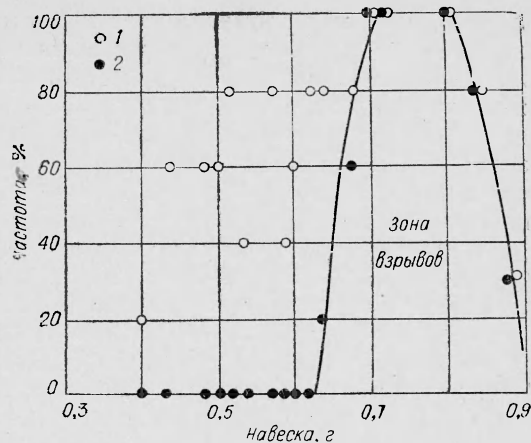
#### ПЛОТНОСТЬ ЗАРЯЖАНИЯ

На рис. 2 представлена типичная зависимость частоты возбуждения микровзрывов и частоты передачи взрывов от величины навески снаряженного в прибор ВВ при постоянном диаметре бойка. Каждое значение частоты взрывов получено из пяти ударов. Из рис. 2 следует, что вероятность передачи взрывов вначале растет с увеличением навески, проходит через максимум, затем падает. Рост числа взрывов наблю-

дается только при навесках, более какой-то определенной для данного диаметра бойка и данного взрывчатого вещества. Так, для тэна при диаметре бойка 5 мм эта навеска составляет 0,2 г, для тетрила

Рис. 2. Зависимость частоты возбуждения и передачи взрывов от величины навески ВВ. Вес груза 10 кг, высота удара 50 см, диаметр бойка 10 мм.

1 — возбуждение; 2 — передача.



при диаметре 10 мм — 0,6 г, для флегматизированного гексогена при диаметре 20 мм — 2 г.

### ЭНЕРГИЯ УДАРА

На рис. 3 приведена зависимость частоты передачи взрывов для октогена от величины навески при различных энергиях удара. Аналогичные зависимости наблюдаются для тэна, гексогена и других веществ. Из рис. 3 следует, что с увеличением энергии удара растет величина максимума и соответствующая ей навеска ВВ. Однако минимальная

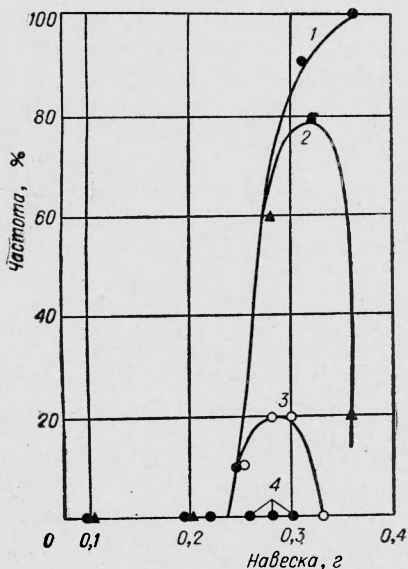


Рис. 3. Зависимость частоты передачи взрывов от величины навески для октогена при различной энергии удара. Вес груза 5 кг, диаметр бойка 5 мм.

Высота удара, см: 1 — 25; 2 — 15; 3 — 10; 4 — 7.

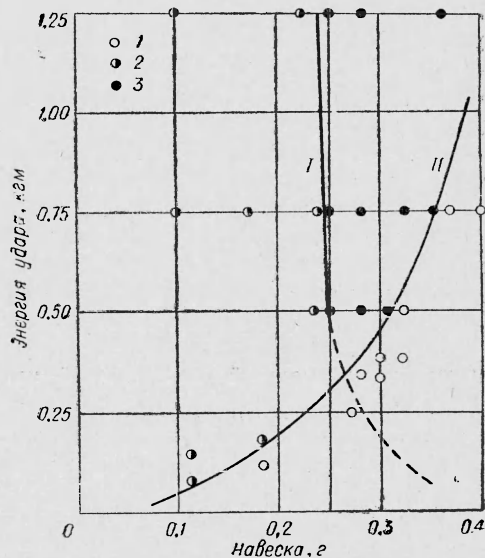


Рис. 4. Зависимость энергии удара, вызывающей передачу I и возбуждение II взрыва с частотой 10% от величины навески для октогена. Диаметр бойка 5 мм, вес груза 5 кг.

1 — отказ; 2 — взрывы под бойком; 3 — передача взрыва.

навеска, при которой начинаются взрывы, остается постоянной при увеличении энергии удара даже до значений, при которых разрушаются стальные закаленные ролики. Необходимо отметить то важное обстоятельство, что в области навесок, при увеличении которых процент взрывов падает, не наблюдается микровзрывов. Частота появления взрывов точно равна частоте возбуждения, в то время как в области роста процента взрывов частота возбуждения всегда больше частоты взрывов.

Более наглядно связь между величиной навески и энергией удара представлена на рис. 4. Здесь приведена зависимость энергии удара, вызывающей передачу взрывов с вероятностью 10% от величины навески. Область взрывов на графике лежит между двумя кривыми, одна из которых ограничивает область очагов горения с вероятностью более 10%, другая — область передач взрывов с той же вероятностью. Интересно отметить, что эти области не совпадают полностью даже при очень больших энергиях. Область передач взрывов ограничена прямой линией, что свидетельствует о независимости передачи взрыва от энергии удара в исследованном интервале.

#### ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТЬ ВВ С УЧЕТОМ ПЕРЕДАЧИ ВЗРЫВА

Из рис. 4 следуют некоторые практические выводы. Наиболее опасной областью воздействия на ВВ является область взрывов: здесь высоки и вероятность передачи взрывов и вероятность возникновения очага. Область очагов не представляет практической опасности: возникающие здесь взрывы локализируются под бойком и не передаются на весь заряд. Область передач представляет потенциальную опасность: здесь нет взрывов, пока нет очагов. Однако ничтожный очаг разогрева, который в практике может случайно возникнуть при попадании, например песчинки, уже может вызвать взрыв. Так, внесение под боек одной песчинки размером 0,5 мм вызывает увеличение частоты взрывов в области передач до 80%. Внесение такой же песчинки при той же энергии удара в области очагов вызывает только увеличение частоты возникновения микровзрывов, передачи взрывов не наблюдается. В этих условиях не удалось получить передачу взрывов и при увеличении размера песчинки до 1,5 мм.

Следует еще раз подчеркнуть, что положение границы области передач в широких пределах не зависит от энергии удара. При одной и той же навеске, равной 0,24 г, передача взрывов с одной и той же частотой происходит как при энергии 1,25 кГ·м, так и при энергии 0,5 кГ·м (диаметр бойка 5 мм). То обстоятельство, что энергия удара не играет той решающей роли в процессах передачи взрыва, как в процессах возбуждения,

Таблица 2  
Зависимость минимальной относительной плотности заряжания, при которой наблюдаются 10% взрывов, от диаметра бойка

ВВ	Диаметр бойка, мм				
	2	5	10	20	40
Тэн . . . . .	0,92	0,26	0,1	—	—
Октоген . . . . .	—	0,74	0,1	—	—
Гексоген . . . . .	—	0,81	0,1	—	—
Тетрил . . . . .	—	—	0,6	0,2	—
Тротил . . . . .	—	—	—	—	0,9
Перхлорат аммония . . . . .	—	—	—	—	>0,9

в широких пределах не зависит от энергии удара. При одной и той же навеске, равной 0,24 г, передача взрывов с одной и той же частотой происходит как при энергии 1,25 кГ·м, так и при энергии 0,5 кГ·м (диаметр бойка 5 мм). То обстоятельство, что энергия удара не играет той решающей роли в процессах передачи взрыва, как в процессах возбуждения,

несомненно должно учитываться при выборе параметров, определяющих чувствительность ВВ.

Граница области передач смещается при изменении диаметра бойка. При уменьшении диаметра бойка она смещается в сторону больших навесок, при увеличении — в сторону меньших. В табл. 2 приведены данные, характеризующие это смещение.

Очевидно, определение чувствительности взрывчатых веществ должно производиться с учетом параметров, определяющих возбуждение и развитие взрыва. В качестве таких параметров могут быть выбраны границы областей очагов и передач. Величина диаметра бойка, при которой передача взрывов происходит при малых навесках (в табл. 2 плотность заряжания 0,1), является как бы предельной, разграничивающей случаи использования ВВ на две категории: случаи с наличием безопасных областей (малые диаметры) и случаи, в которых безопасные области отсутствуют (большие диаметры). Для диаметров, меньше предельного, граница безопасности может быть охарактеризована величиной минимальной относительной плотности заряжания. Энергия удара, соответствующая точке пересечения линии очагов и линии передач, — минимальная энергия — характеризует верхнюю границу области безопасности (табл. 3).

Таблица 3  
Чувствительность ВВ с учетом передачи взрыва

ВВ	Предельный диаметр, мм	Минимальная относительная плотность заряжания	Минимальная энергия удара, кг·м·10 <sup>3</sup>
Тэн . . . . .	10	0,32	7,8
Октоген . . . . .	10	0,75	28
Гексоген . . . . .	10	0,83	54
Коллоксилин . . . . .	20	0,43	—
Тетрил . . . . .	20	0,63	200
Флегматизированный гексоген . . . . .	40	0,40	—
Тротил . . . . .	>40	0,90	4000
Перхлорат аммония . . . . .	>40	>0,90	—

Примечание. Коллоксилин горит без звука.

Поступила в редакцию  
14/III 1969

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. П. Боуден, А. Д. Иоффе. Возбуждение и развитие взрыва в твердых и жидких веществах. М., ИЛ, 1955.
2. А. Ф. Беляев, В. К. Боболев, З. И. Ратнер. Докл. АН СССР, 1945, 50, 303.