

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ
В ВОЗДУХЕ ПУТЕМ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ
НА РАСШИРЯЮЩИЕСЯ ПРОДУКТЫ ДЕТОНАЦИИ
КОНДЕНСИРОВАННЫХ ВЗРЫВЧАТЫХ ВЕЩЕСТВ
В БЛИЖНЕЙ ЗОНЕ ОТ ЗАРЯДА

П. В. Комиссаров, А. А. Борисов, Г. Н. Соколов

ИХФ РАН
г. Москва, Россия

Различные методы снижения параметров взрывной волны достаточно хорошо изучены и воплощены в ряде методик и локализирующих устройств. В основном, используются методики, направленные на механическое поглощение энергии сформировавшейся ударной волны или ее рассеяние за счет многократных отражений, причем, как правило, на некотором расстоянии от заряда. Для рассеяния энергии используются пены различной кратности на водной или полимерной основе [1–5]. Локализация взрывной волны в ближней зоне от заряда более целесообразна как по эффективности, так и по размерам взрывопоглощающего материала. Однако высокие параметры давления и скорости взрывной волны не позволяют использовать в ближней зоне традиционные материалы. В частности, пена на водной основе не подходит, так как имеет низкую плотность. Для взаимодействия с продуктами взрыва в ближней зоне необходима плотность преграды, по крайней мере, сравнимая по порядку величины с плотностью продуктов детонации в этой зоне. Для эффективного обмена энергией между продуктами детонации и преградой необходима также достаточная масса последней. Для решения задачи гашения взрывной волны следует обратиться к полимерным пенам, имеющим эластичную структуру достаточной жесткости. Однако наполнитель локализаторов типа «Фонтан», состоящий из полимерной пены с включениями воды, подходящий по плотности и массе, будет являться в таком случае источником вторичных осколков. Таким образом, чтобы нивелировать последний поражающий фактор, необходимо использовать взрывопоглощающую преграду, дифференцированную по составу и кратности в зависимости от расстояния до заряда и образующую несколько функциональных зон поглощения энергии.

Рассмотрим эти зоны подробнее. В области, непосредственно примыкающей к заряду, принимая во внимание тот факт, что течение продуктов в

этой зоне ламинарное, очевидно, необходимо расположить крупноячеистый материал с открытой пористостью и максимально возможной плотностью каркаса, который будет способствовать образованию неоднородностей на переднем фронте облака расширяющихся продуктов. Это необходимо для улучшения проникновения продуктов в более глубокие слои демпфирующего материала. В этой области локализатора будет наиболее оптимальным размещение связывающих в конденсированную фазу продукты детонации порошков на основе интерметаллидов [6]. Первая зона взаимодействия должна составлять порядка одного характерного размера заряда. После зоны неустойчивости следует размещать менее плотную насыщенную водой пену. Струи горячих продуктов, турбулизованные в первой зоне, будут проникать в такой материал, интенсивно смешиваясь с водой, и терять температуру. Кинетическая энергия движущихся продуктов будет рождать вязкопластические течения в каркасе пены при ее деформации и трансформироваться в тепло, выделяющееся при трении. Кроме того, многократные отражения на каркасе пены будут способствовать как снижению амплитуды волн сжатия, так и лучшему смешению продуктов с водой и, как следствие, снижению объема толкающих ударную волну газов. Таким образом, во второй зоне будут происходить основные демпфирующие процессы. По окончании взаимодействия продуктов с демпфирующим материалом разделенный на достаточно мелкие куски пеноблок будет разлетаться, образуя вторичные осколки, что является отдельным поражающим фактором. Для устранения этого фактора, а также для еще большего снижения энергии ударной волны необходима еще одна зона взаимодействия, в которой демпфирующий материал будет представлять собой мелкоячеистую низкоплотную пену. Вторичные осколки будут застревать в этом внешнем слое легкой пены и гасить свою кинетическую энергию за счет его деформации, а также резко возросшего аэродинамического сопротивления.

Для экспериментальной проверки эффективности действия локализатора взрывной волны, действующего по предложенной выше схеме, был проведен сравнительный тест. Сначала на ровной песчаной площадке был взорван заряд 500 г гранулола цилиндрической формы. Затем идентичный заряд был накрыт пенополиуретановым блоком с близкой к полусферической форме с распределенным составом — внутренний слой крупноячеистой пены толщиной до 5–10 см, средний слой пены с ячейкой 6–10 мм и включениями воды толщиной до 25 см и внешний слой, состоящий из легкой мелкоячеистой пены толщиной 8–10 см (рис. 1).

Геометрические размеры блока выбирались из соображения, что наибольшая эффективность гашения взрывной волны будет в случае, когда слой пены составляет порядка длины волны (см. выше).

Для изготовления пеноблока использовалась следующая технология. Вначале в подготовленной полусферической выемке, укрытой полиэтиленовой пленкой, формировалась сердцевина блока, состоящая из двух типов

пены. Потом был получен средний слой путем разбрызгивания состава «Аквидур»[®] [7] вместе с водой при температуре 70–90 °С. Затем после поднятия пены в центральную часть было добавлено некоторое количество «Аквидура»[®] без воды, который сформировал безводное крупноячеистое ядро, состоящее из толстостенного каркаса полиуретана. После полного отверждения пеноблок был покрыт быстроотверждаемой зимней монтажной пеной ТУТАН[™] STD с дополнительной обработкой паром для ускорения полимеризации и исключения появления крупных пузырей. В результате внешние слои были покрыты «шубой» из легкой пены без включений воды. Работы проводились при температуре воздуха около 0 °С. Суммарное время приготовления пеноблока составило 25 мин, из которых непосредственно на полимеризацию ушло не более 5 мин. Остальное время было потрачено на манипуляции с блоком. Блок с зарядом был установлен на стальной плите, равной по площади основанию пеноблока.

Расположение зарядов на площадке и размещение датчиков давления были одинаковыми в обоих тестах. В результате получены записи давления на различных расстояниях от заряда, представленные на рис. 2.

Записи демонстрируют значительное снижение амплитуды и импульса ударной волны в случае использования в качестве локализатора пеноблока. По записям давления были определены амплитуды избыточного давления на фронте ударной волны P_{\max} и времена прихода волны t_{sw} на датчики. Рассчитан тротиловый эквивалент взрыва по давлению $m_{\text{ТНТ}(P)}$ и временам прихода ударной волны на датчики $m_{\text{ТНТ}(t)}$. Результаты представлены в таблице.

Расчет ТНТ-эквивалента взрыва по давлению проводился по формуле Садовского [8]. Расчет ТНТ-эквивалента по временам прибытия ударной волны на датчики проводился с использованием методики и формулы (3), представленных в работе [9]. Во всех расчетах использовался коэффициент поглощения грунта 0,7. Для заряда, не покрытого пеной, оба метода оценки ТНТ-эквивалента демонстрируют схожие результаты. Некоторое завышение эквивалентной массы ТНТ для первого от заряда датчика связано с несферической формой заряда. Большее значение эквивалентной массы, определенное по временам прихода, объясняется косым падением ударной волны на датчик. ТНТ-эквивалент взрыва для заряда, покрытого пеной,

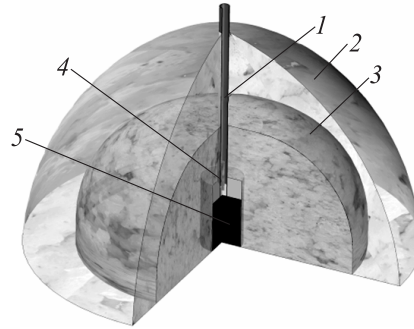


Рис. 1 Схема заряда, покрытого пеной: 1 — трубка электроввода; 2 — внешний слой легкой пены; 3 — внутренний слой пены с включениями воды; 4 — капсуль ЭД-8Ж, 5 — заряд КВВ

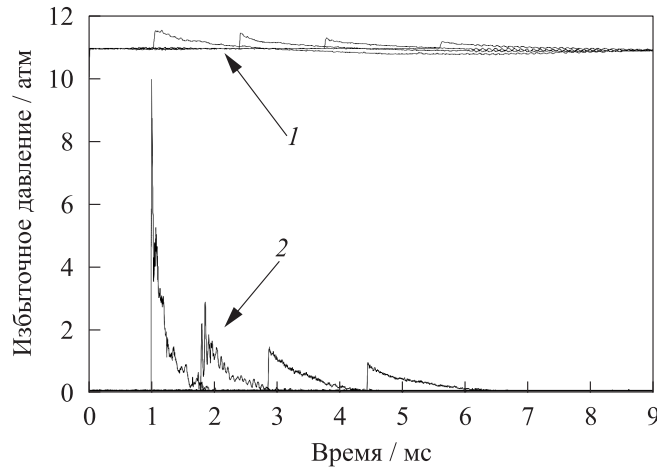


Рис. 2 Полученные профили давления ударной волны для заряда, покрытого пеной (1), и заряда, не покрытого пеной (2)

значительно ниже и составляет в среднем около 50 г. Вблизи заряда снижение эквивалента компенсируется некоторым увеличением длительности. На более дальних расстояниях эквивалент выравнивается до постоянного значения в 50 г. Превышение эквивалента в ближней зоне, посчитанного по временам прихода ударной волны, над значением, рассчитанным по формуле Садовского, объясняется, так же как и для предыдущего заряда, косым набеганием ударной волны на поверхность из-за сильного торможения в ближней зоне. Очевидно, что для ближней зоны будут более правильными значения, рассчитанные с использованием формулы Садовского.

Оцененные по кадрам скоростной видеосъемки скорости разлета вторичных осколков пеноблока снижаются со 150 м/с вблизи заряда до 20 м/с на

Результаты измерения параметров ударных волн

Заряд	R , м	t_{sw} , мс	P_{max} , атм	$m_{ТНТ(P)}$, кг	$m_{ТНТ(t)}$, кг
500 г гранулозола	1,053	0,65	9,8	0,58	0,46
	1,585	1,42	2,7	0,42	0,5
	2,096	2,5	1,4	0,4	0,44
	2,766	4,08	0,79	0,4	0,42
500 г гранулозола, покрытый пеной	1,053	1,7	0,6	0,015	0,085
	1,585	3,04	0,56	0,045	0,075
	2,096	4,42	0,36	0,05	0,05
	2,766	6,28	0,23	0,05	0,05

расстоянии 1,5 м. Таким образом, можно сделать вывод о том, что легкая внешняя оболочка является аэродинамическим щитом для вторичных высокоскоростных осколков внутренних слоев локализатора. При просмотре видеозаписи также отмечено отсутствие признаков движения ударной волны по поверхности в случае локализованного взрыва, в отличие от открытого заряда, при взрыве которого видно движение травы, отклоняемой ударной волной.

Таким образом, проведенный сравнительный эксперимент подтверждает высокую эффективность предложенного метода локализации взрыва в ближней от заряда зоне. Следует отметить, что изготовление блока-локализатора по предложенной схеме на месте его использования позволяет сконструировать дешевое компактное взрывоподавляющее устройство, пригодное для размещения в местах скопления людей, на транспорте и т. п.

Литература

1. Borisov, A. A., B. E. Gelfand, M. V. Kudinov, B. I. Palamarchuk, V. V. Stepanov, E. I. Timofeev, and S. V. Khomik. 1978. Shock waves in water foams. *Acta Astronautica* 5(11-12):1027–1033.
2. Raspet, R., P. B. Butler, and F. Jahani. 1987. The effect of material properties on reducing intermediate blast noise. *Appl. Acoust.* 22:243–359.
3. Raspet, R., S. Griffiths, J. Powers, H. Krier, T. Panczak, P. Butler, and F. Jahani. 1988. Attenuation of blast waves using foam and other materials. USA-CERL technical manuscript N-89/01. U.S. Army Corps of Engineers.
4. Woodfin, R. L. 2000. Using rigid polyurethane foams (RPF) for explosive blast energy absorption in applications such as anti-terrorist defenses. SANDIA Report, SAND2000-0958.
5. Kitagawa, K., K. Takayama, and M. Yasuhara. 2006. Attenuation of shock waves propagating in polyurethane foams. *Shock Waves* 15:437–445.
6. Комиссаров П. В., Борисов А. А., Соколов Г. Н. Снижение параметров воздушной ударной волны с помощью добавок, химически связывающих газообразные продукты детонации бризантных взрывчатых веществ до конденсированного состояния // Горение и взрыв / Под общ. ред. С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2014. Вып. 7. С. 155–160.
7. <http://www.akvidur.ru/>.
8. Садовский М. А. Механическое действие воздушных ударных волн взрыва по данным экспериментальных исследований // Физика взрыва. — М.: АН СССР, 1952. № 1.
9. Борисов А. А., Комиссаров П. В., Соколов Г. Н., Г. В. Каплюков Определение тротильных эквивалентов взрывов неидеальных взрывчатых систем // Горение и взрыв / Под общ. ред. С. М. Фролова. — М.: ТОРУС ПРЕСС, 2010. Вып. 3. С. 161–168.