

УДК 622.235.213

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РАБОТЫ ГАЗОДИНАМИЧЕСКОГО ИСТОЧНИКА ДАВЛЕНИЯ С ВЗРЫВНЫМ ИНИЦИИРОВАНИЕМ

С. И. Карачинский, О. А. Тимофеев

РФЯЦ, ВНИИ технической физики им. Е. И. Забабахина, 456770 Снежинск, niik@vniitf.ru

Приведены результаты экспериментального исследования параметров работы газодинамического источника давления с взрывным инициированием, в котором в качестве демпфирующей прослойки использован дымный порох.

Ключевые слова: источник давления, взрывное инициирование, пороховой заряд, детонация, дымный порох.

DOI 10.15372/FGV20230213

Газодинамические источники давления (ГИД) находят широкое применение в различных областях техники. В последнее время появилось много новых технических решений, направленных на расширение их возможностей и улучшение характеристик, в том числе за счет взрывного инициирования [1–4]. Исследованию протекающих при этом процессов посвящено значительное количество работ [5–8], и в частности работа [5], в которой изучалась эффективность ослабления бризантного действия взрывного инициатора на пороховой заряд с помощью демпфера из пенополистирола.

В работе [8] исследовались механизмы реализации низкоскоростных режимов детонации зерненого пироксилинового пороха на примере одноканального пороха ВТМ при его инициировании от промежуточного детонатора из листов пластического взрывчатого вещества (ВВ) на основе тэна, вызывающего низкоскоростную детонацию со скоростью, зависящей от толщины слоя инициирующего ВВ.

В настоящей статье приведены результаты экспериментального исследования параметров работы ГИД с взрывным инициированием [4], в котором в качестве демпфирующей прослойки использован дымный порох. Последний, как отмечено в статье [7], обладает рядом уникальных свойств, многие из которых до сих пор не имеют ясной интерпретации.

Ключевой в области исследования детонации дымного пороха следует признать работу [6]. В ней впервые обобщены результаты ранее проведенных исследований, а также с исполь-

зованием промежуточного детонатора реализован волновой процесс распространения взрывного превращения дымного пороха со скоростью 1350 м/с, который был определен как детонация. Вызвать детонацию в значительной массе дымного пороха детонирующим шнуром или стандартным капсюлем-детонатором № 8 оказалось невозможно, в том числе и в зарядах диаметром больше 100 мм. Переход горения дымного пороха в детонацию в любых условиях также признан малореальным.

В работе [7] приведены результаты опытов и численного моделирования режимов конвективного горения и детонации дымного пороха, практически подтверждающие выводы работы [6] о том, что процесс со скоростью 400 м/с есть конвективное горение. Расчетная идеальная скорость детонации дымного пороха при насыпной плотности составила 2100 м/с. Получить детонацию переходом от горения оказалось невозможным.

Таким образом, как следует из результатов описанных исследований, дымный порох при варьировании начальных и граничных условий детонирует со скоростью, не превышающей 2100 м/с, что подтверждает возможность использования его в ГИД с взрывным инициированием в качестве демпфирующей прослойки, предотвращающей нормальную детонацию основного заряда ГИД из пироксилинового пороха, и вместе с тем дает возможность изменять параметры его взрывного превращения в достаточно широких пределах за счет изменения параметров прослойки [4].

Основной задачей экспериментального исследования, описанного в настоящей статье, была оценка зависимости скорости взрывного

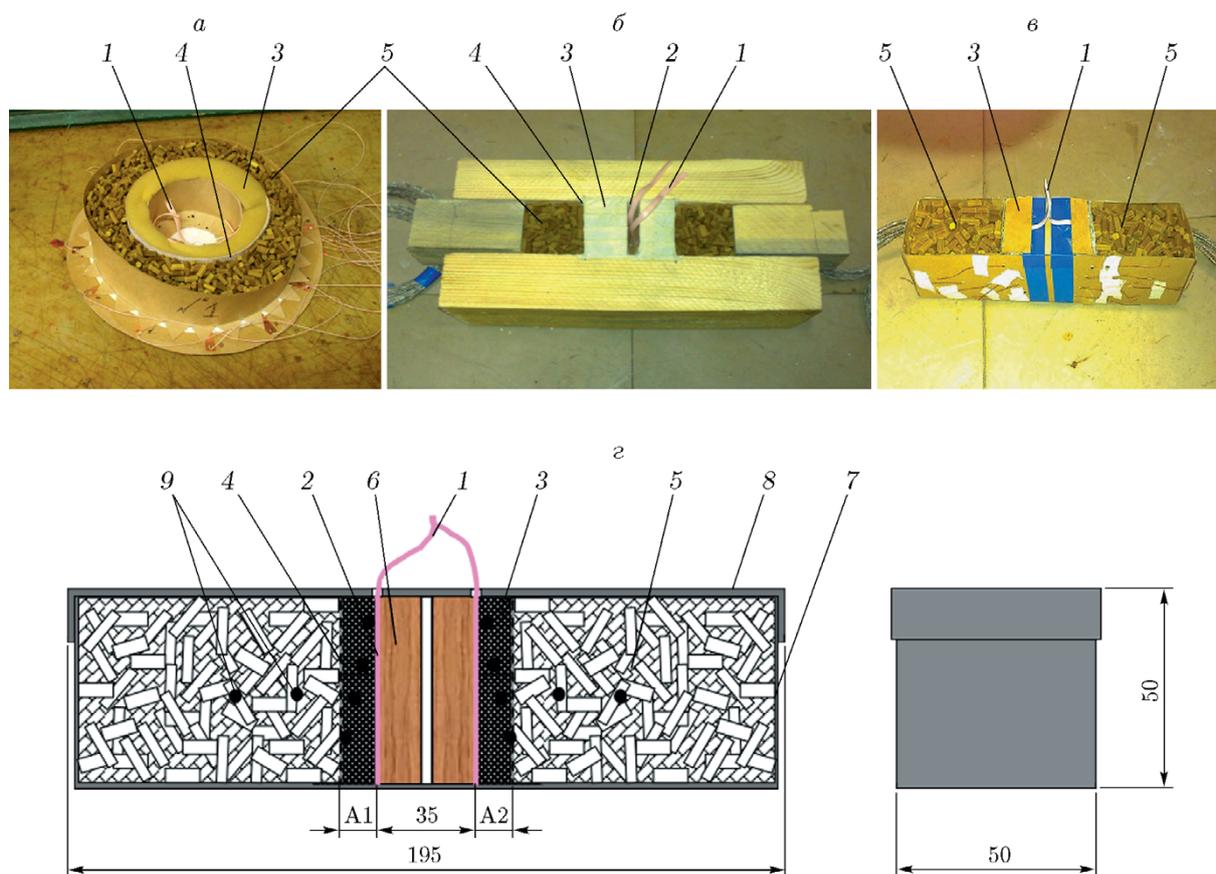


Рис. 1. Конструкция исследованных зарядов и постановка опытов:

1 — взрывопроводящий мостик, 2 — инициирующий заряд пластического ВВ, 3 — порох ДРП, на фото закрыт пороном (толщина прослойки A_1 , A_2), 4 — перфорированная перегородка из электрокартона, 5 — порох 7/14, 6 — деревянные проставки, 7 — корпус заряда из электрокартона, 8 — крышка корпуса, 9 — проволочные контактные датчики (черные точки); *a* — кольцевой заряд в оболочке из электроизоляционного картона, *б* — два квадратных заряда в корпусе из дерева, *в* — два квадратных заряда в оболочке из электроизоляционного картона, *г* — схема размещения датчиков в квадратных зарядах из электрокартона

превращения основного заряда ГИД из крупнозернистого многоканального пороха от толщины демфирующей прослойки из дымного пороха при инициировании последнего зарядом пластического ВВ на основе высокодисперсного тэна [9], а также оценка зависимости реализующегося при срабатывании ГИД давления от времени.

Исследования проводились с зарядами насыпной плотности из дымного пороха ДРП-1 с размерами гранул 0.4 мм и из пироксилинового пороха марки 7/14, которые засыпались в оболочки квадратного сечения из электроизоляционного картона и дерева, а также в оболочки кольцевой формы из электроизоляционного картона (рис. 1). При измерении скорости детонации квадратных зарядов в од-

ном опыте одновременно подрывались два заряда с прослойками пороха ДРП разной толщины. Собранные заряды устанавливались в толстостенный стальной цилиндр диаметром 300 мм, засыпавшийся кварцевым песком, при этом взрывопроводящий мостик выводился наружу через верхний, а измерительный жгут — через нижний срез цилиндра. Промежуточный детонатор из ленты пластического ВВ толщиной 1 мм инициировался в центре зарядов с помощью взрывопроводящих мостиков из того же ВВ от промышленного высоковольтного капсуля-детонатора ЭДВ-1.

Скорость детонации измерялась с использованием формирователя импульсов и регистратора на основе персонального компьютера с помощью фольговых и проволочных контакт-

Основные параметры исследованных зарядов

Форма заряда	Номер опыта	Диаметр (длина) заряда, мм	Толщина заряда, мм	Внутренний диаметр заряда, мм	Толщина прослойки ДРП-1, мм	
					A ₁	A ₂
Кольцевой	1–4	200	50	90	20	
Квадратный	5	75	50	—	10	15
	6				20	25
	7				15	25

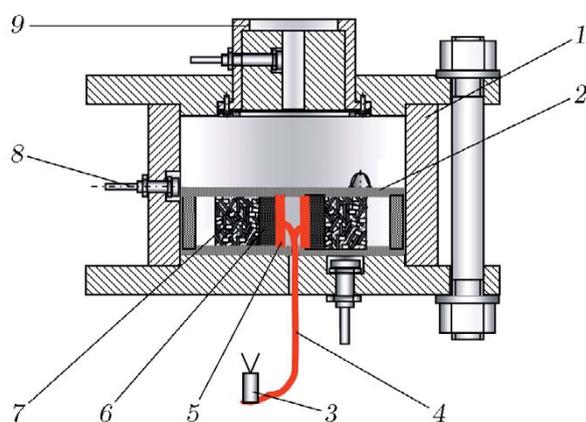


Рис. 2. Схема конструкции манометрической бомбы и кольцевых зарядов:

1 — корпус манометрической бомбы, 2 — корпус исследуемого кольцевого заряда, 3 — электродетонатор, 4 — взрывопроводящий мостик, 5 — иницирующая навеска пластического ВВ, 6 — дымный порох, 7 — пироксилиновый порох, 8 — датчики давления, 9 — мембранный узел манометрической бомбы

ных датчиков, размещавшихся с шагом от 5 до 20 мм непосредственно в квадратных зарядах пороха и с шагом от 2 до 11 мм на внутренней поверхности днища в кольцевых зарядах. Размеры поперечного сечения исследуемых квадратных зарядов 50 × 50 мм и толщина кольцевых зарядов 50 мм выбирались аналогичными толщине ГИД, применяемых для создания нагружающих импульсов давления на газодинамическом ударном стенде [10]. Исследование зависимости давления, реализующегося при срабатывании ГИД, от времени проводилось в манометрической бомбе, описанной в работе [11]. При этом толщина кольцевых зарядов, исследовавшихся в манометрической бомбе, во всех опытах также составляла 50 мм.

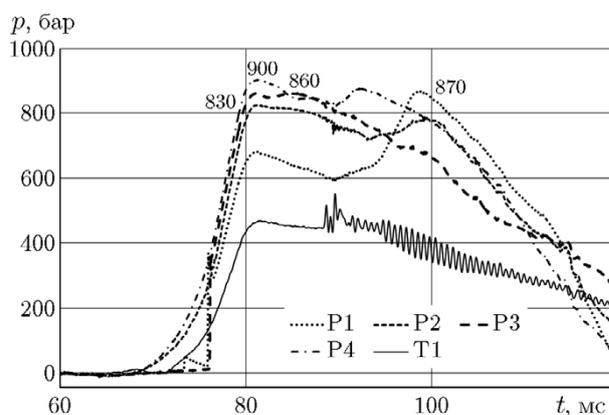


Рис. 3. Характерные зависимости давления от времени, реализуемые при срабатывании ГИД в манометрической бомбе в местах установки датчиков:

датчики P1, P2, P3, P4 размещены равномерно по периметру в средней плоскости манометрической бомбы, датчик T1 (тензометрический) размещен в той же плоскости на наружной поверхности корпуса манометрической бомбы

Для измерения давления продуктов детонации зарядов в манометрической бомбе использовались датчики давления T2000, установленные в корпусе бомбы в различных ее зонах (рис. 2), и аттестованный измерительный канал.

При задействовании электродетонатора детонационный импульс через взрывопроводящий мостик передавался промежуточному детонатору из пластического ВВ, а затем демпфирующему заряду дымного ружейного пороха, в котором, благодаря его свойствам, формировался низкоскоростной детонационный импульс, вызывающий низкоскоростную детонацию прилегающих слоев газогенерирующего заряда из пироксилинового пороха, переходя-

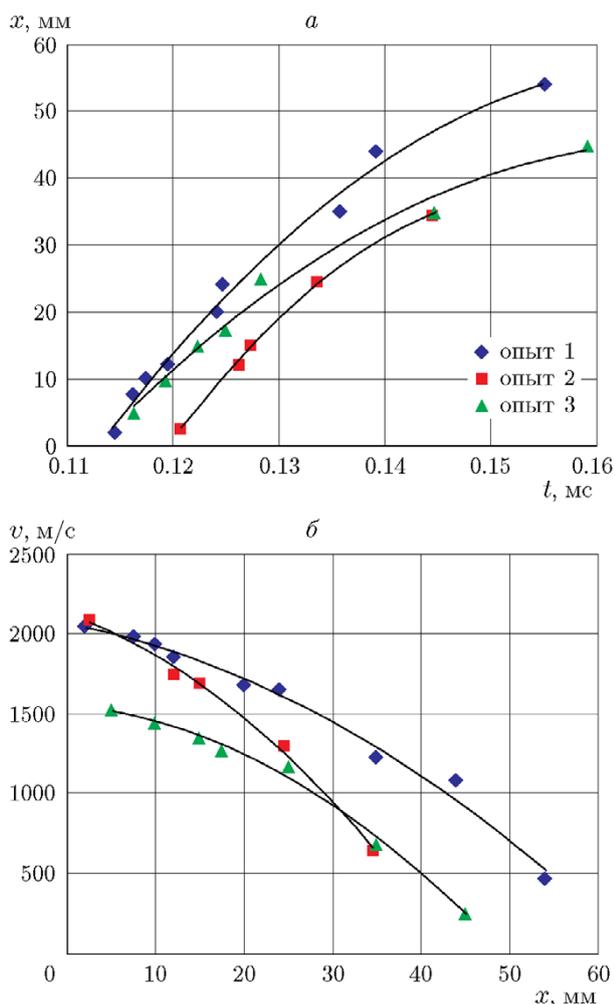


Рис. 4. Диаграммы движения фронта детонационной волны в пироксилиновом порохе кольцевых зарядов при толщине прослойки дымного пороха 20 мм

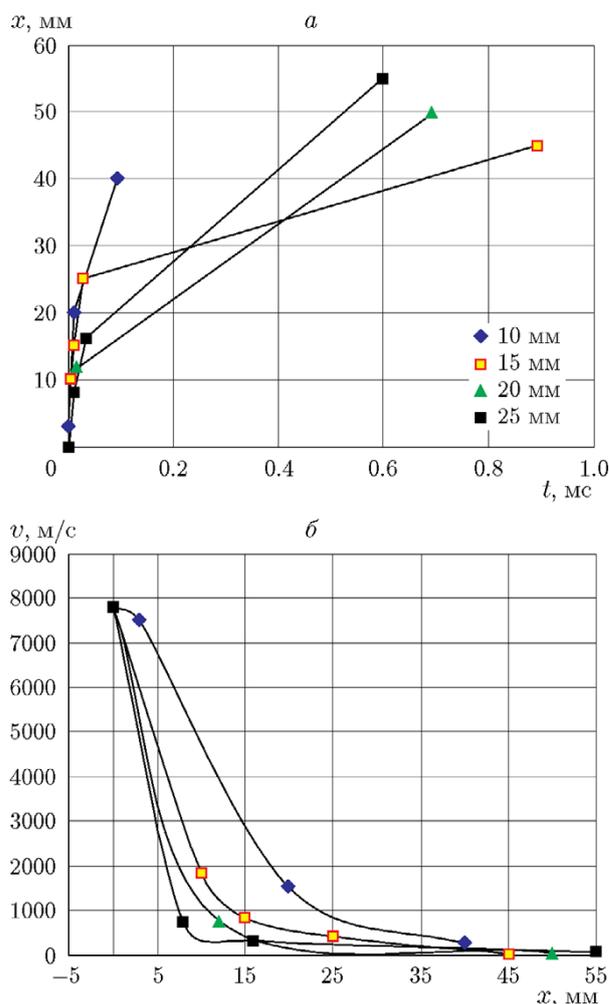


Рис. 5. Диаграммы движения фронта детонационной волны в квадратных зарядах при разной толщине демпфирующей прослойки из дымного пороха

щую в его стационарное горение.

Обобщенные сведения по постановке опытов приведены в таблице. На рис. 3 показаны характерные зависимости давления p от времени t , зарегистрированные с помощью датчиков давления в манометрической бомбе.

На рис. 4 представлены диаграммы движения фронта детонационной волны в пироксилиновом порохе кольцевых зарядов при толщине прослойки дымного пороха 20 мм (опыты 1–4), на рис. 5 — диаграммы движения фронта детонационной волны в квадратных зарядах при разной толщине демпфирующей прослойки из дымного пороха.

Несмотря на некоторую хаотичность срабатывания контактных датчиков в слое дым-

ного пороха, из полученных зависимостей скорости детонации от пути (см. рис. 5) видно, что на торце заряда пороха ДРП вблизи инициирующей навески пластического ВВ реализуется скорость фронта детонационной волны $v \approx 7800$ м/с. Затем в заряде ДРП на расстоянии $x = 10 \div 20$ мм, когда волна выходит на границу с зарядом пироксилинового пороха, скорость фронта уменьшается до значений $1500 \div 2000$ м/с, близких к уровню оцененной в работе [6] стационарной скорости детонации дымного пороха в прочной оболочке. Увеличение толщины демпфирующей прослойки пороха ДРП-1 приводит к соответствующему уменьшению скорости детонации при выходе на границу с основным зарядом.

В слое пироксилинового пороха, имеющего, как известно [12], скорость нормальной детонации $5\ 600 \div 7\ 800$ м/с, при этом возникает низкоскоростная детонация со скоростью $\approx 2\ 000$ м/с, характерная для насыпных зарядов значительной пористости [13], переходящая на длине $x = 35$ мм в стационарное горение, при котором замыкание как контактных, так и фольговых датчиков не происходит. В классической литературе [14] такой режим называют взрывным горением в детонационной волне, для возникновения которого требуется значительно меньшее, чем для детонации литых и прессованных ВВ, давление инициирования, в данном случае около 4 кбар (для сравнения то же давление у порошкообразного и прессованного тротила составляет ≈ 7 и 19.6 кбар соответственно).

Осмотр остатков зарядов, использовавшихся в опытах для измерения скорости детонации, показал наличие как полностью сгоревших, так и раздробленных, но не воспламенившихся зерен пироксилинового пороха, что указывает на существование обоих режимов взрывного превращения пироксилинового пороха в исследованных зарядах, а также на недостаточную прочность их оболочек. В манометрической бомбе непрореагировавших остатков пороха не обнаружено.

Несмотря на достаточно большой разброс измеренных значений скорости детонации, обусловленный в том числе повышенной шириной зоны химической реакции, свойственной порошкообразным и гранулированным ВВ, и разбросом базовых расстояний между контактными датчиками из-за несовершенства постановки измерений, характер полученных зависимостей скорости детонации слоев ГИД от времени хорошо коррелирует с представленными на рис. 3 зависимостями давления от времени, зарегистрированными при срабатывании ГИД в манометрической бомбе, а также с результатами исследований, описанными в работах [6, 7].

В целом результаты проведенных исследований параметров работы ГИД с взрывным инициированием подтвердили возможность и эффективность использования дымного пороха в качестве демпфирующей прослойки [4]. Вместе с тем, учитывая, что в ГИД с взрывным инициированием реализуются многостадийные многофакторные газодинамические процессы, параметры которых зависят в том числе и от конкретного конструктивного исполнения

ГИД, обусловленного его назначением, а также учитывая очевидную актуальность создания источников импульсного давления с повышенными характеристиками для различных областей их применения, проведенные исследования следует рассматривать как предварительные, требующие продолжения с применением современной регистрирующей аппаратуры и расчетно-теоретических методик моделирования.

Авторы признательны А. А. Завьялову и Д. В. Гараеву за помощь в оформлении результатов измерений.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пат. РФ RU2357181C1. Газодинамический источник давления / Бугаев А. В., Воробьев В. И., Кирюшкин И. Н. и др. — Заявл. 28.01.2008. — Оpubл. 27.05.2009.
2. Пат. РФ RU2135926C1. Газодинамический источник давления / Иванова О. В., Калмыков П. Н., Лапичев Н. В., Мартюшов Д. Е., Шляпников Г. П. — Заявл. 03.02.1998. — Оpubл. 27.08.1999.
3. Пат. РФ RU2135927C1. Газодинамический источник давления / Залесский В. В., Калмыков П. Н., Куликов С. В., Соколов О. А., Фатеев Ю. А., Шляпников Г. П. — Заявл. 02.03.1998. — Оpubл. 27.08.1999.
4. Пат. РФ RU2515655C1. Газодинамический источник давления / Карачинский С. И., Мальгин И. А., Тимофеев О. А. — Заявл. 21.09.2012. — Оpubл. 20.05.2014.
5. Бугаев А. В., Калмыков П. Н., Шляпников Г. П. Исследование внутренней баллистики источников давления с комбинированным (порох + ВВ) зарядом // Сб. докл. науч.-техн. конф. РАРАН, г. Саров, 2000. — С. 475–481.
6. Беляев А. Ф., Курбангалина Р. Х. Осуществление детонации дымного пороха // Журн. физ. химии. — 1964. — Т. 38, № 3. — С. 579–582.
7. Ермолаев Б. С., Беляев А. А., Слепцов К. А., Жарикова С. Ю. О режимах быстрого горения и неидеальной детонации дымного пороха // Горение и взрыв. — 2009. — № 2. — С. 98–101.
8. Ермолаев Б. С., Мартынюк В. Ф., Беляев А. А., Сулимов А. А. Низкоскоростные режимы детонации зерненого пироксилинового пороха // Хим. физика. — 2014. — Т. 33, № 6. — С. 64–72. — DOI: 10.7868/S0207401X1406003X.
9. Пат. РФ RU2671340C1. Пластичный взрывчатый состав / Воробьев М. А., Багаветдинов Н. Г., Карачинский С. И., Музыря А. К., Мытгарев С. В., Шакиров И. Р. — Заявл. 18.09.2017. — Оpubл. 30.10.2018.

10. Пат. РФ RU126133U1. Ударный стенд / Втулкин А. А., Комаров В. И., Карачинский С. И., Мальгин И. А., Рубашин А. В., Тимофеев О. А. — Заявл. 26.09.2012. — Оpubл. 20.03.2013.
11. Ахлюстин А. Э., Втулкин А. А., Карачинский С. И., Лежнев В. Б., Мальгин И. А., Проскурин А. В., Рубашин А. В., Телятников В. И., Тимофеев О. А. Манометрическая бомба для исследований параметров импульса давления комбинированных зарядов ВВ и порохов // XI междунар. конф. «Забабахинские научные чтения»: сб. матер. — Снежинск: РФЯЦ-ВНИИТФ, 2010. — С. 108.
12. Занегин И. В., Карачинский С. И. Детонационные и физико-химические характеристики артиллерийских порохов // Физика горения и взрыва. — 2001. — Т. 37, № 5. — С. 81–84.
13. Сулимов А. А., Ермолаев Б. С., Фотеенков В. А., Окунев В. А. Переход конвективного горения в низкоскоростную детонацию // XII Симпоз. по горению и взрыву. Химическая физика процессов горения и взрыва, 11–15 сент., Черногоровка, 2000. — С. 104–105.
14. Дубнов Л. В., Бахаревич Н. С., Романов А. И. Промышленные взрывчатые вещества. — М.: Недра, 1973.

Поступила в редакцию 19.01.2022.

После доработки 25.08.2022.

Принята к публикации 07.09.2022.
