

ОЦЕНКА МЕТАТЕЛЬНОЙ СПОСОБНОСТИ ФЛЕГМАТИЗИРОВАННЫХ ВВ

А.Н. Киселёв, Д.В. Кочутин, А.Ю. Гармашев, К.Ф. Гребенкин, О.В. Костицын,
А.В. Лебедев, К.М. Просвирнин, В.Н. Щербаков, А.Л. Жеребцов, К.М. Мирошкин,
И.А. Ахлюстин, Е.Б. Смирнов Н.Ф., Блинкова, Д.А. Варфоломеев, И.Э. Косолапов

РФЯЦ-ВНИИТФ, Снежинск, Россия

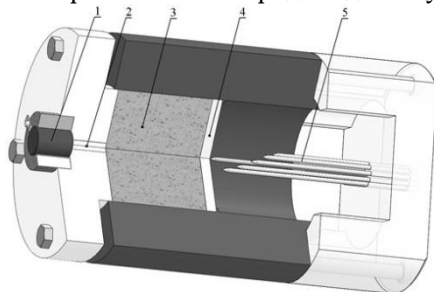
Постановка экспериментов по метанию пластин различными взрывчатыми веществами (ВВ) является очень распространённой для оценки энергетических параметров ВВ, а также для получения информации, необходимой для численного моделирования детонации. Так, для моделирования необходимо, в частности, знать уравнение состояния продуктов взрыва (ПВ), которое, в совокупности с параметрами Жуге, определяют изэнтропу расширения ПВ, проходящую через точку Жуге. Изэнтропа расширения ПВ определяет начальные параметры ударной волны и работу совершаемую расширяющимися ПВ, что определяет метательное действие ВВ.

Целью настоящей работы являлось экспериментально-численное исследование процесса метания стальной пластины зарядом флегматизированного ВВ на основе гексогена с содержанием инертной фазы ~10%. Экспериментально процесс метания пластины исследовался в условиях методики М-60, традиционно применяемой для оценки метательного действия ВВ. Расчеты проводились с применением программного комплекса ГРАД [1] по модели, учитывающей кинетику ПВ исследуемого ВВ [2,3].

Согласно методике М-60 [4], для регистрации скорости стальной пластины ($\varnothing 60 \times 5$) мм из нержавеющей стали марки 12Х18Н10Т, метаемой цилиндрическим образцом ($\varnothing 60 \times 50$) мм из ВВ, используется методика электроконтактных датчиков. В настоящей работе, помимо электроконтактной методики, дополнительно была применена «невозмущающая» радиоволновая методика.

Было проведено 3 опыта с применением радиоволновой методики и 5 опытов с применением электроконтактного метода регистрации.

На рисунке 1 представлена схема постановки опытов по регистрации параметров движения пластины (4) электроконтактными датчиками (5) в условиях методики М-60. Инициирование исследуемого образца ВВ (3) осуществляется при помощи прутка из пластифицированного ВВ ($\varnothing 5 \times 17$) мм (2), который в свою очередь задействуется от электродетонатора (1).



- 1 Электродетонатор
- 2 Пруток ($\varnothing 5 \times 17$) мм из ВВ
- 3 Исследуемый образец ВВ ($\varnothing 60 \times 50$) мм
- 4 Стальная метаемая пластина ($\varnothing 60 \times 5$) мм
- 5 Система электроконтактных датчиков

Рисунок 1. Схема экспериментального узла в постановке М-60 с использованием электроконтактных датчиков

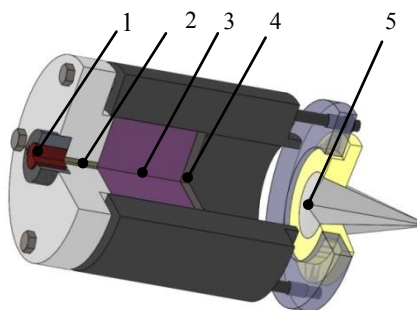
Для уменьшения влияния боковых волн разгрузки заряд ВВ помещается в толстостенный металлический корпус. Движущаяся под действием разлетающихся ПВ стальная пластина поочередно замыкает игольчатые электроконтактные датчики, находящиеся на удалении друг от друга, в результате чего регистрируется $x-t$ диаграмма движения пластины.

Использование системы электроконтактных датчиков имеет ряд недостатков, к которым относятся [5]:

- невозможность непрерывного наблюдения разгона пластины во всем диапазоне измерений;

- влияние регистрирующей системы на процесс движения пластины.

Регистрация процесса движения пластины с применением радиоволновой методики позволяет избавиться от вышеперечисленных недостатков. В настоящей работе для регистрации движения пластины был использован радиоинтерферометр с длиной волны зондирующего излучения 3 мм. Схема экспериментального узла представлена на рисунке 2.



- 1 Электродетонатор
- 2 Пруток ($\varnothing 5 \times 17$) мм из ВВ
- 3 Исследуемый образец ВВ ($\varnothing 60 \times 50$) мм
- 4 Стальная метаемая пластина ($\varnothing 60 \times 5$) мм
- 5 Антенна радиоинтерферометра

Рисунок 2. Схема экспериментального узла в постановке М-60 с использованием радиоинтерферометра

В качестве облучателя в антенно-фидерном тракте радиоинтерферометра использовался специально спроектированный для данной сборки конический облучатель. В эксперименте облучатель удалён от метаемой пластины на расстояние около 70 мм, а информативная база полёта пластины составляет около 60 мм.

Антенна обеспечивает фокусировку волнового пучка, необходимую для проведения регистрации движения пластины. Недосток радиоинтерферометрического метода - существенно большая площадь поверхности пластины, с которой осуществляется регистрация её движения волновым пучком, по сравнению с площадью поверхности, на которой производится регистрация системой электроконтактных датчиков. Фактически, зондирование производится (хотя и с различным распределением мощности) по всей поверхности пластины, что, учитывая двухмерность данной постановки, может сказаться на точности регистрации скорости её движения.

Обработка результатов радиоволновой методики выполнялась с помощью специального программного комплекса. Определялись $V-t$ и $V-X$ зависимости, описывающие движение пластины во времени и пространстве.

На рисунке 3 и 4 красными линиями представлены типичные $V-t$, $V-X$ диаграммы движения свободной поверхности пластины, полученные при измерениях с использованием радиоинтерферометра. Для сравнения на графики нанесены экспериментальные точки, полученные в пяти опытах с применением электроконтактного метода регистрации.

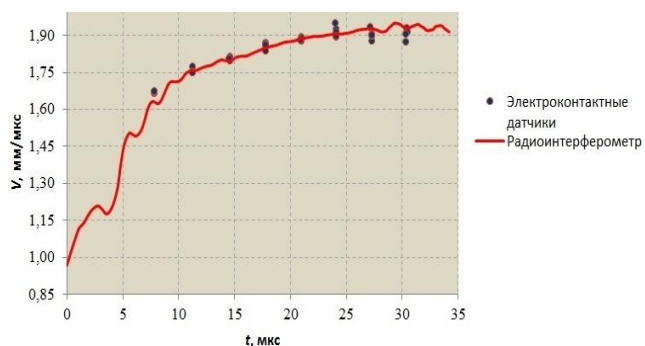


Рисунок 3. $V-t$ диаграмма движения пластины разгоняемой ПВ ВВ на основе гексогена

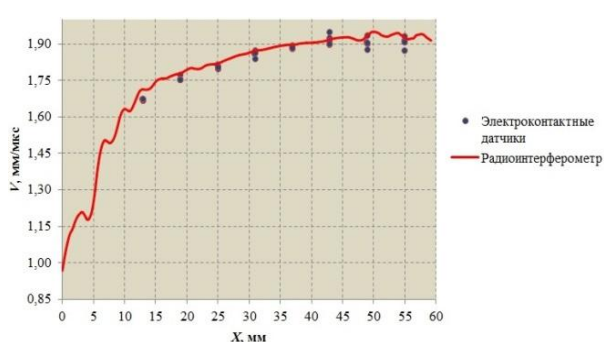


Рисунок 4. $V-X$ диаграмма движения пластины разгоняемой ПВ ВВ на основе гексогена

Зарегистрированные диаграммы показывают хорошее согласие экспериментальных данных, полученных двумя методами. Однако данные радиоволнового метода существенно более информативны. Из рисунка 4 видно, что по показаниям радиоинтерферометра на базе полета до 15 мм хорошо различим ступенчатый характер разгона пластины, вызванный циркуляцией ударных волн в метаемой пластине. На базе полёта 20-45 мм, где наблюдается плавное нарастание скорости движения, показания электроконтактных датчиков хорошо согласуются с данными радиоинтерферометрических измерений (значения скорости практически совпадают). Однако на базе полета более 45 мм показания электроконтактных датчиков показывают тенденцию к снижению скорости полета пластины, по всей видимости, вызванному её торможением об игольчатые датчики. Возникновение осцилляции скорости на базе более 52 мм, скорее всего, обусловлено вылетом пластины из корпуса экспериментальной сборки.

На рисунке 5 представлена начальная расчетная геометрия моделируемого эксперимента процесса метания пластины в условиях методики М-60.



Рисунок 5. Начальная расчетная геометрия моделируемого эксперимента

Детонация исследуемого ВВ моделировалась по модели [2,3], учитывающей кинетику в продуктах взрыва. Для решения задачи моделирования эксперимента в постановке определяемой методикой М-60 были учтены следующие условия:

1. Газодинамическое течение существенно двумерно. В процессе течения наблюдается сложная картина взаимодействия детонационной волны с отраженными от корпуса ударными волнами.
2. Для корректного описания экспериментальных данных необходимо учесть откольные разрушения и разлет корпуса.

Для стального корпуса использовалось уравнение состояния Ми-Грюнайзена с параметрами

$$\rho_0 = 7,8 \text{ г/см}^3, C_0 = 4,266 \text{ км/с}, n = 4, \gamma = 2,333, \sigma_{отк} = -4$$

Метаемая пластина из нержавеющей стали 12Х18Н10Т моделировалась табличным уравнением состояния материала. Откольное разрушение моделировалось по модели мгновенного откола.

В комплексе программ ГРАД для учета упруго-пластических свойств корпуса и пластины была использована модель Уилкинса, в которой предел текучести является функцией давления и удельной тепловой энергии:

$$Y = \min \left\{ (Y_0 + Y_1 \cdot P) \left(1 - \frac{E_t}{E_{pl}} \right)^{At}, Y_{max} \right\} \quad (1)$$

где $Y_0, Y_1, Y_{max}, E_{pl}, At$ – постоянные величины.

Параметры модели упруго-пластики приведены в таблице 1. Моделирование осуществлялось с применением расчетной сетки 0.2 x 0.2 мм.

Таблица 1. Параметры модели упруго-пластики для корпуса и пластины в комплексе ГРАД

ν	$Y_0, \text{ ГПа}$	Y_1	$Y_{max}, \text{ ГПа}$	At	$E_{pl}, \text{ кДж/г}$	$\sigma_{кр}, \text{ ГПа}$
0,28	0,45	1,0	1,5	0	0,277	4,0

На рисунке 6 представлена эволюция газодинамического течения в моделируемом эксперименте в различные моменты времени от начала инициирования. Цветовая заливка выполнена по шкале давления (ГПа).

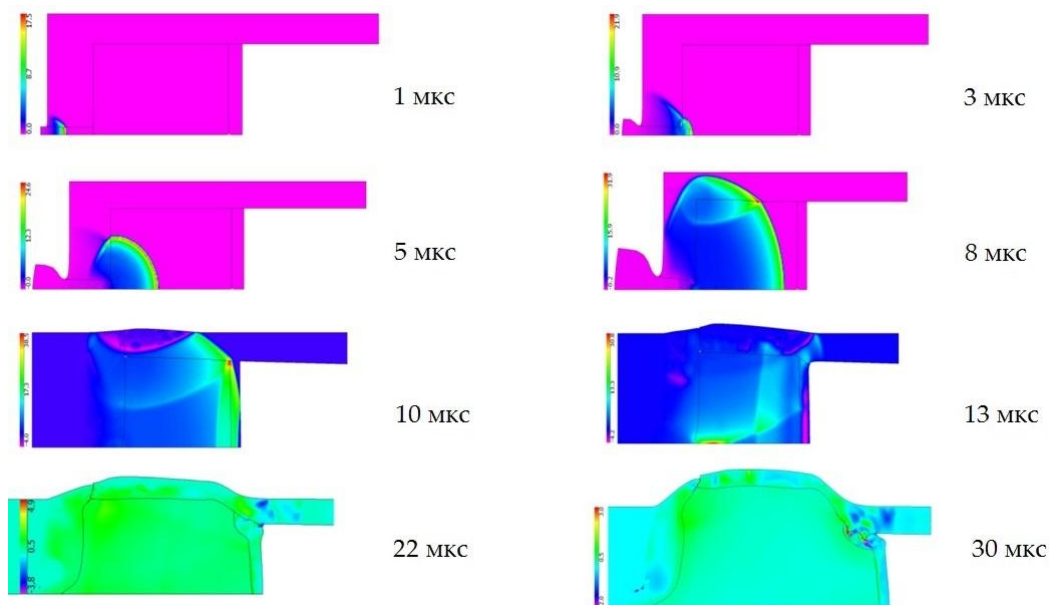


Рисунок 6. Картина развития газодинамического течения в различные моменты времени

На рисунке 7 представлен процесс откольного разрушения корпуса и смыкания отколов. Цветовая заливка выполнена по шкале плотности (г/см^3).

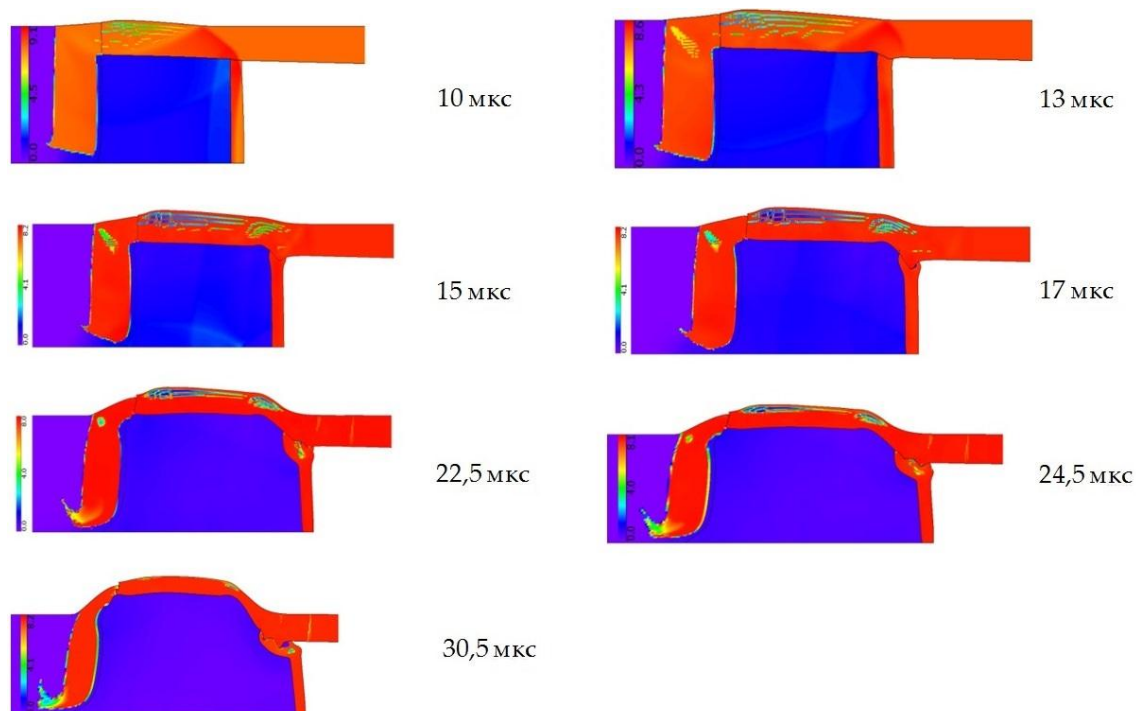


Рисунок 7. Картина откольного разрушения корпуса и смыкания отколов

На рисунке 8 и 9 в графическом виде представлены расчетные и экспериментальные зависимости скорости метаемой пластины (V) от времени (t) и координаты (X).

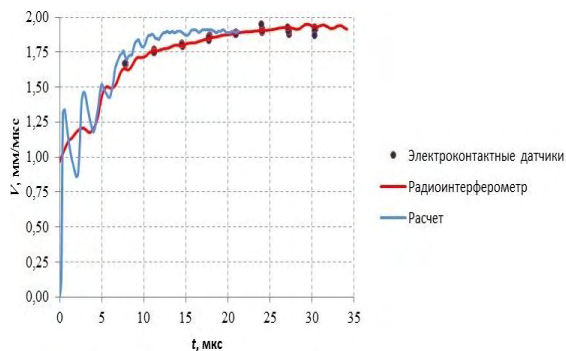


Рисунок 8. Зависимость скорости метаемой пластины от времени

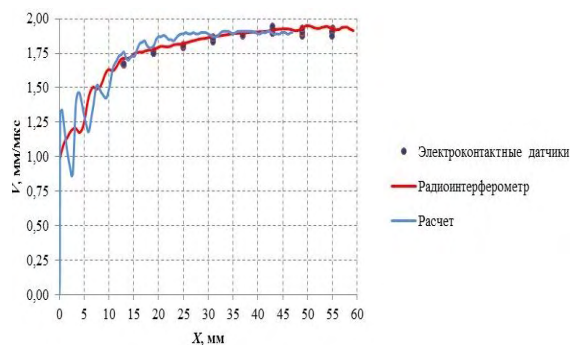


Рисунок 9. Зависимости скорости метаемой пластины от координаты

Представленные выше диаграммы скорости полета пластины показывают хорошее качественное согласие расчетных и экспериментальных данных. При этом отмечено несовпадение расчетных и экспериментальных осцилляций скорости пластины, как по времени, так и по амплитуде колебаний. По-видимому, это связано с «усреднением» этих параметров при регистрации радиоволновым методом, связанным с большой площадью зондирования в данной существенно двухмерной постановке.

Выводы

Хорошее качественное согласие расчетных и экспериментальных данных свидетельствует о корректности модели детонации флегматизированного ВВ. В расчете наблюдаются те же осцилляции скорости полета пластины, вызванные отражением УВ в самой пластине, что и в эксперименте. Некоторые отличия расчетной от экспериментальной скорости полета пластины могут быть связаны с недостаточно корректным выбором уравнения состояния материала пластины.

Для более корректного моделирования процессов откольного разрушения требуются более современные модели, учитывающие как кинетику откольного разрушения, так и компактирования.

Список литературы

1. Suchkov V.A., Shnitko A.S. Technique and set of programs GRAD for solution of nonstationary problems of continua mechanics. Third Joint Conf. of Comp. Mathematics, Los Alamos, NM, USA, January 23-27, 1995.
2. Варфоломеев Д.А., Гребенкин К.Ф., Жеребцов А.Л., Кочутин Д.В.// Сборник тезисов докладов XI Забабахинских Научных Чтений, Снежинск, 2012, стр. 67-68.
3. Варфоломеев Д.А., Гребенкин К.Ф., Жеребцов А.Л., Костицын О.В., Кочутин Д.В., Мащенко М.А., Смирнов Е.Б., Щербаков В.Н. Исследование профилей детонационных волн флегматизированного тэна. // Доклад на XVII международную конференцию “Харитоновские Тематические Научные Чтения”, 23-27 марта 2015г., г. Саров, Россия
4. Физика взрыва/ Под ред. Л.П. Орленко. // М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. – 656 с.
5. Методы исследования свойств материалов при интенсивных динамических нагрузках: Монография/ Под ред. М.В. Жерноклетова. // Саров: ФГУП РФЯЦ-ВНИИЭФ, 2003. – 403 с.