

УДК [533.6.011.72+534.222.2]::004.942

С.Л.Климович (5 курс, каф. ГАД)
П.А.Войнович, к.ф.-м.н., зам. дир. СПб Филиала МСЦ РАН

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВЫХ ПРОЦЕССОВ ПРИ ВЗРЫВАХ В ПОЛОСТЯХ НА ОСНОВЕ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Настоящая работа посвящена изучению развития и затухания волновых процессов при взрывах в замкнутых полостях с использованием методов численного моделирования. Интерес к данной задаче связан, в частности, с разработкой и совершенствованием устройств локализации взрыва [1].

Рассмотрим взрыв конденсированного взрывчатого вещества (ВВ) внутри сферической полости, ограниченной твердой стенкой радиусом R_0 . Газ внутри полости будем считать идеальным и совершенным с показателем адиабаты $\gamma = 1,4$. В качестве источника взрыва будем использовать модель мгновенного разрушения сферического сосуда радиусом $R_{\text{exp}} < R_0$, заполненного газом под высоким давлением; соответствующий сферический объем будем в дальнейшем называть «областью начального энерговыделения». Методические аспекты такого подхода подробно рассматриваются в работе [2]. Давление газа в области начального энерговыделения вычисляется исходя из соотношения:

$$E = (P - P_0)V / (\gamma - 1),$$

где E – выделившаяся в результате взрыва энергия, V – объем области начального энерговыделения, P – задаваемое начальное давление в этой области, P_0 – начальное давление окружающего газа, γ – показатель адиабаты. В наших расчетах показатель адиабаты газа внутри области начального энерговыделения задавался равным его значению для окружающего газа. Рис. 1 иллюстрирует постановку задачи и расположение точек регистрации профилей давления на стенке.

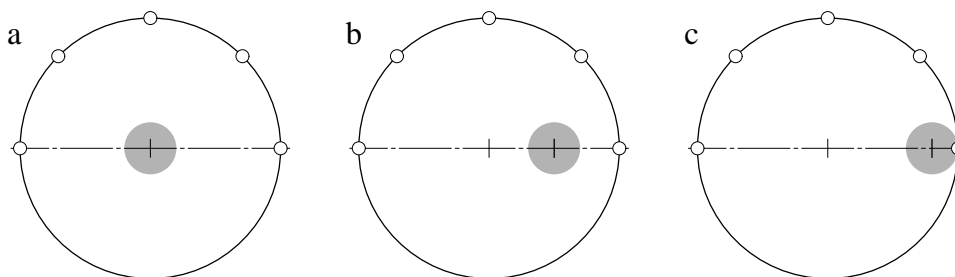


Рис. 1. Расположение области начального энерговыделения в полости.

При центральном расположении области начального энерговыделения (рис. 1а) задача обладает сферической симметрией и может решаться в квазиодномерной постановке. При смещении центра взрыва от центра полости задача становится существенно неоднородной, но сохраняет осевую симметрию и решается в рамках квазидвумерного подхода, когда течение газа рассматривается в одном из плоских сечений, проходящих через ось симметрии.

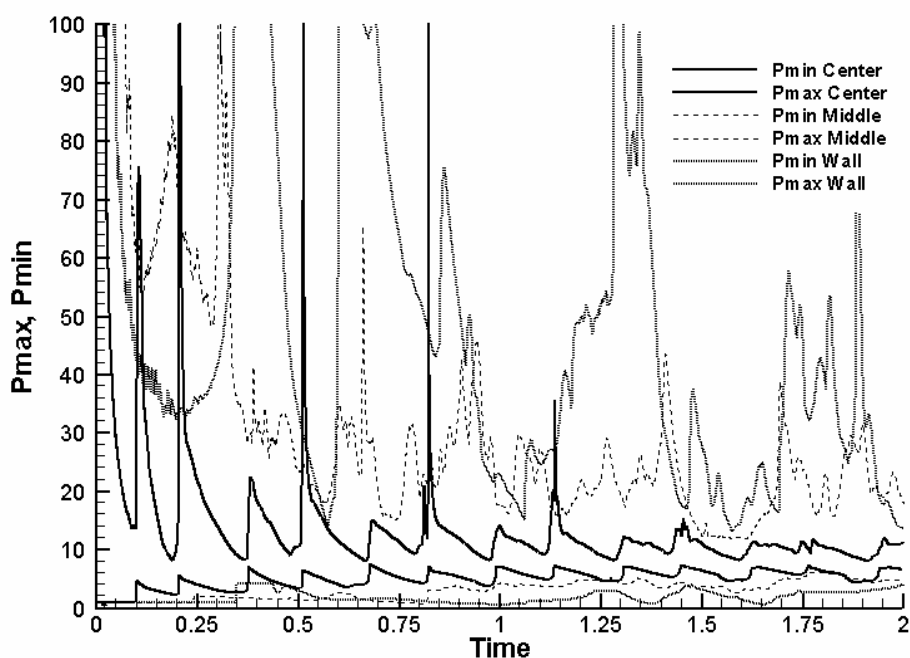


Рис. 2. Динамика максимального и минимального значений давления в объеме полости при центральном, промежуточном и крайнем положении источника взрыва.

Численный метод расчета основывается на использовании интегральных законов сохранения массы, импульса и энергии и подробно изложен в [3,4]. Во всех случаях использовалась явная монотонизированная схема Годунова повышенного порядка аппроксимации по пространству и времени, реализующая метод конечных объемов. При решении квазидвумерной задачи применялась динамически адаптирующаяся к решению неструктурированная сетка.

Для подтверждения точности численной модели был выполнен ряд тестовых расчетов с проверкой сходимости решения при измельчении сетки. Реалистичность использованной модели взрыва была подтверждена сравнением результатов тестовых расчетов с данными измерений профилей давления при открытых взрывах зарядов конденсированного ВВ.

При проведении расчетов взрыва в полости после каждого шага по времени фиксировались значения давления в нескольких точках на поверхности стенки полости, а также значения кинетической и внутренней энергии газа во всем объеме полости и достигаемые в ней экстремальные значения давления. Последние величины позволяют наглядно проследить процесс затухания волновых процессов, вызванных взрывом.

Проведенные расчеты показали, что развитие и релаксация волновых процессов в полости существенно зависят от положения центра взрыва. Чем дальше от центра полости располагается источник взрыва, тем медленнее идет процесс затухания. Это хорошо видно на рис. 2, где представлена динамика изменения величин максимального и минимального давления в объеме полости при взрыве 0,2 кг ТНТ.

Полученные в работе результаты позволяют с хорошей точностью предсказать динамические нагрузки на стенки полости при взрыве. Показано, что при выполнении инженерных расчетов локализаторов взрыва необходимо учитывать не только энергию заряда ВВ, но и его расположение в полости локализатора.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Б.Е.Гельфанд, М.В.Сильников. «Химические и физические взрывы», СПб.: Полигон, 2003.
2. D.V.Ritzel, K.Matthews. An adjustable explosion-source model for CFD blast calculations. 21st International Symposium on Shock Waves, Australia, July 20–25, 1997, Paper 6590.
3. С.К.Годунов, А.В.Забродин, М.Я.Иванов, А.Н.Крайко, Г.П.Прокопов. «Численное решение многомерных задач газовой динамики», М.: Наука, 1976.
4. А.А.Fursenko, D.M.Sharov, E.V.Timofeev, P.A.Voinovich. High-resolution schemes and unstructured grids in transient shocked flow simulation. In: «Lecture Notes in Physics», Springer-Verlag, vol. 414, 1993, pp. 250–254.