

## МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗРЫВА В ОГРАНИЧЕННОМ ПРОСТРАНСТВЕ С ПОМОЩЬЮ ANSYS AUTODYN

Ю.В. Захарова, Н.Н. Федорова

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки  
Институт теоретической и прикладной механики им. С.А. Христиановича  
Сибирского отделения Российской академии наук, Новосибирск, Россия*

В работе представлены результаты численного моделирования взрыва в закрытом помещении. Моделирование взрыва проведено с помощью программного комплекса ANSYS AUTODYN. Основной целью работы является исследование ударно-волновой структуры, возникающей вследствие взрыва, и оценка ее влияния на окружающие внутренние структурные элементы. Численное моделирование проведено при нормальных атмосферных условиях с варьированием массы заряда и геометрии внутреннего помещения. Полученные результаты расчета верифицированы с расчетными и экспериментальными данными, имеющимися в литературе.

Моделирование взрыва в закрытом помещении и предсказание последствий такого взрыва на сегодняшний день является актуальной задачей, поскольку количество взрывов в промышленных помещениях, а также в зданиях жилой застройки постоянно увеличивается. Возникновение взрыва в закрытом помещении с ограниченной вентиляцией или без неё может приводить к серьезным разрушениям внутри помещения. Степень разрушения зависит от расположения и мощности источника взрыва, геометрии внутреннего пространства, наличия открытых элементов, их размеров и расположения.

Исследования ударно-волновых воздействий на конструкции вследствие взрывов можно разделить на две категории: внешнее ударно-волновое воздействие, когда взрыв происходит в открытом пространстве и ударно-волновая структура зависит от взаимного расположения объектов, и внутреннее ударное волновое воздействие, происходящее в закрытом помещении с ограниченной вентиляцией. С точки зрения моделирования указанных процессов, второй тип взаимодействия является более сложным, потому что требует предсказания ударно-волновой структуры, возникающей вследствие многочисленного переотражения ударных волн от стенок. Основной целью данной работы являлось исследование ударно-волновой структуры, возникающей вследствие взрыва в закрытом помещении и оценка уровня давления, воздействующего на внутренние элементы помещения. Процессы деформирования и разрушения твердых тел под действием динамических нагрузок от взрыва на данном этапе не рассматривались.

Численное моделирование проведено в программной среде ANSYS Workbench с использованием расчетного кода ANSYS AUTODYN, который позволяет моделировать крайне сложные быстропротекающие процессы механики сплошной среды, такие как моделирование взрыва и распространение ударных волн в среде, поведение и отклик конструкции на внешнее динамическое воздействие, а также разрушение материала. Для описания заряда TNT в расчетах использовано уравнение состояния Jones-Wilkins-Lee (JWL):

$$p = A \left( 1 - \frac{\omega}{R_1 V} \right) e^{-R_1 V} + B \left( 1 - \frac{\omega}{R_2 V} \right) e^{-R_2 V} + \frac{\omega E}{V},$$

где  $V = \rho_0 / \rho$ ,  $A$ ,  $B$ ,  $R_1$ ,  $R_2$ ,  $\omega$  – эмпирические константы;  $E$  – внутренняя энергия в единице объема. Для воздуха ( $\rho = 1.225$  кг/м<sup>3</sup>;  $C_p = 1004$  Дж/кг·К;  $C_v = 716$  Дж/кг·К.) было выбра-

но уравнение состояния идеального газа. Все расчеты выполнены при нормальных атмосферных условиях  $P=101325$  Па. Для расчетов использована явная схема Годунова второго порядка точности. Шаг по времени  $\Delta t$  выбирался из условия устойчивости численного решения по числу Куранта. Параметры расчета соответствуют расчетным исследованиям [1]. Кроме того, в расчетах варьировалась масса заряда, а также геометрические параметры помещения в соответствии с экспериментальными данными [1].

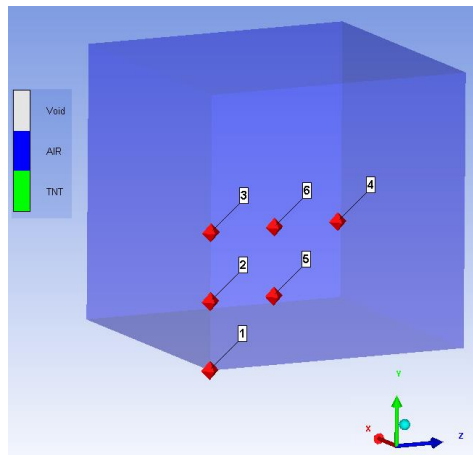


Рис.1. Схема расчетной области

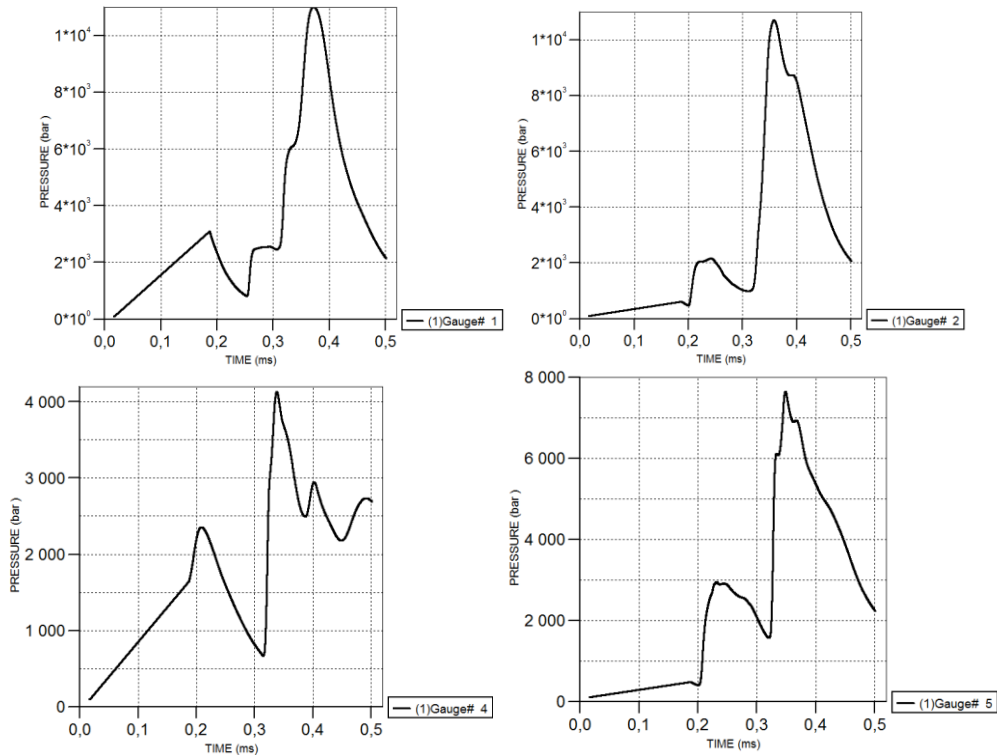


Рис.2. Распределение давления по времени в контактных точках на стене комнаты

Расчетная область представляла собой модель комнаты кубической формы с размерами 300×300×300 см, с установленным в середине комнаты взрывчатым веществом (TNT) размерами 21.7×21.7×21.7 см и массой 16 кг (рис. 1). Комната предполагалась полностью закрытой, без вентиляции. В ходе расчета контролировалась давление на стенке модели в контрольных точках 1-6, показанных на рисунке 1. В расчетной области была построена структурированная сетка с общим количеством ячеек 1200000.

По результатам расчета построены распределения давления по времени в измеряемых точках (рис.2.). Показано, что максимальный пик давления воздействующего на стенку комнаты реализуется в точке (5), Также показано, что за период времени 0.5 миллисекунд происходит повторное переотражение ударной волны от стенки комнаты, что приводит к появлению пиков в распределении давления.

Полученные предварительные результаты позволили оценить уровень давления воздействующего на поверхности. Далее планируется проведение расчетных исследований с моделью комнаты имеющей вентиляционное отверстие и сравнение результатов с экспериментальными данными.

Работа выполнена при поддержке следующих грантов:

- Министерства образования и науки РФ, проект № 211, ЗАДАНИЕ № 2014/140 на выполнение государственных работ в сфере научной деятельности в рамках базовой части государственного задания;
- Российского фонда фундаментальных исследований, грант №15-07-06581 А.
- Российского фонда фундаментальных исследований, грант №15-08-01723 А.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **V.R. Feldguna, Y.S. Karinski and D.Z. Yankelevsky** "Some characteristics of an interior explosion within a room without venting".
2. **V.R. Feldgun, Y.S. Karinski, I. Edri, D.Tsemakh and D.Z. Yankelevsky** «On Blast Pressure Analysis Due to a Partially Confined Explosion: I – Experimental studies and II - Numerical Studies», National Building Research Institute, Technion, Haifa, ISRAEL.