

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРАВЛЕННОГО ВЗРЫВА В ПРОГРАММНОМ ОБЕСПЕЧЕНИИ ANSYS AUTODYN

Налимов Кирилл Игоревич

студент, оператор научной роты, Военная академия связи, РФ, г. Санкт-Петербург

Ершов Александр Владимирович

начальник научного исследовательского отдела №4 Военная академия связи, РФ, г. Санкт-Петербург

MATHEMATICAL MODELING OF DIRECTIONAL EXPLOSION IN ANSYS AUTODYN

Kirill Nalimov

Student, Military academy of communications, Russia, Saint Petersburg

Aleksandr Ershov

*Head of the Scientific Research Center №4 Military academy of communications, **Russia, Saint Petersburg***

Аннотация. В данной статье описываются как 2-мерные и 3-мерные инструменты численного анализа могут применяться для математического моделирования взрывчатых веществ. Описаны возможности гидрокодов AUTODYN-2D и AUTODYN-3D с акцентом на моделирование взрывов и событий с участием взрыва.

Abstract. This paper describes how 2 and 3-dimensional numerical analysis tools can be applied to the simulation of high explosives. The capabilities of the AUTODYN-2D & AUTODYN-3D hydrocodes are described, with emphasis on the modelling of blast and explosive events.

Ключевые слова: 2D и 3D моделирование; быстропротекающие процессы; визуализация взрыва; математический расчет.

Keywords: 2 and 3-dimensional modelling; fast processes; blast visualization; mathematical calculation.

1. Обзор методов анализа

Целью данной статьи является показать примеры, в которых для моделирования взрывчатых веществ использовались программные инструменты для двумерного (2D) и 3-мерного (3D) численного моделирования. Статья посвящена конкретным тематическим исследованиям,

связанным с проблемами взрыва и взрыва, включая анализ эффектов нагрузки, отклика и взаимодействия структуры жидкости.

Проблемы с высокой взрывной нагрузкой и реакцией связаны с нелинейными переходными явлениями. Для обеспечения точной характеристики таких событий необходимо учитывать широкий спектр физических процессов. Инженер/ученый/дизайнер/оценщик несет ответственность за рассмотрение этих сложных взаимодействующих явлений с использованием ряда соответствующих методов.

Числовые программные средства предлагают альтернативный подход к явлениям фугасного взрыва и взрывным явлениям. Их преимущество в том, что они пытаются смоделировать всю физику явлений. Другими словами, они предназначены для решения первых принципов определяющих уравнений сохранения, которые описывают поведение системы.

2. Autodyn 2D и Autodyn 3D

Программы написаны в стандарте ANSI FORTRAN и C для переносимости. Эти программы постоянно и активно развиваются благодаря промышленным и академическим исследованиям и разработкам. Такие разработки в значительной степени обусловлены отзывами, полученными от пользователей.

AUTODYN-2D и 3D - это полностью интегрированные коды технического анализа, специально разработанные для нелинейных динамических задач. Они особенно подходят для моделирования воздействия, проникновения, взрыва и взрывных явлений [1], [2]. AUTODYN-2D и 3D - это явные коды численного анализа, иногда называемые «гидрокодами», в которых решаются уравнения сохранения массы, импульса и энергии в сочетании с описаниями материалов. Доступны альтернативные численные процессоры, которые можно выборочно использовать для моделирования различных проблемных областей. Доступные в настоящее время процессоры включают Lagrange, обычно используемый для моделирования сплошных сред и структур, и Euler для моделирования газов, жидкостей и больших искажений твердых тел. Возможность Эйлера позволяет учитывать многокомпонентный поток и прочность материала. Также был разработан быстрый однокомпонентный процессор Euler FCT с высоким разрешением, как в 2D, так и в 3D, для эффективного решения проблем взрыва. Кроме того, программное обеспечение включает процессор ALE (Arbitrary Lagrange Euler), который можно использовать для автоматического изменения зонирования искаженных сеток; алгоритмы зонирования ALE могут варьироваться от Лагранжа (то есть сетка перемещается вместе с материалом) до Эйлера (то есть сетка фиксируется в пространстве).

3. Примеры применения

Методы численного анализа могут быть использованы для моделирования широкого спектра взрывных явлений:

- Взрывы в воздухе, под землей, под водой и в других материалах;
- кумулятивные заряды, снос и перфорация нефтяных скважин
- формирование материалов, сварка, резка и уплотнение порошка
- другие типы боеголовок, такие как взрывчатые снаряды или осколки

Численный анализ примера описан в этом разделе.

3.1 Воздушный взрыв, направленный вдоль улицы

Чтобы проверить трехмерные расчеты взрыва, проведенные с использованием процессора Euler-FCT и средств переназначения в AUTODYN-2D и 3D, результаты ряда численных расчетов сравнивались с результатами мелкомасштабного эксперимента. План экспериментальной установки приведен на рисунке 1. Испытание проводится в масштабе 1/50

и, следовательно, представляет собой взрыв TNT массой 1000 кг в центре типичной уличной геометрии. Как показано, манометр был установлен на одной из сторон здания напротив конца улицы. Эксперименты были проведены Королевским военным колледжем науки, и дальнейшие подробности можно найти в [3].

На рисунке 2 показана числовая сетка, используемая для моделирования эксперимента. Эта модель использует две плоскости симметрии, чтобы уменьшить размер числовой сетки и, следовательно, время расчета, и с размером ячейки 10 мм на улице она содержала приблизительно 360 000 ячеек. Дальнейшие подробности экспериментов и численных расчетов можно найти в [4].

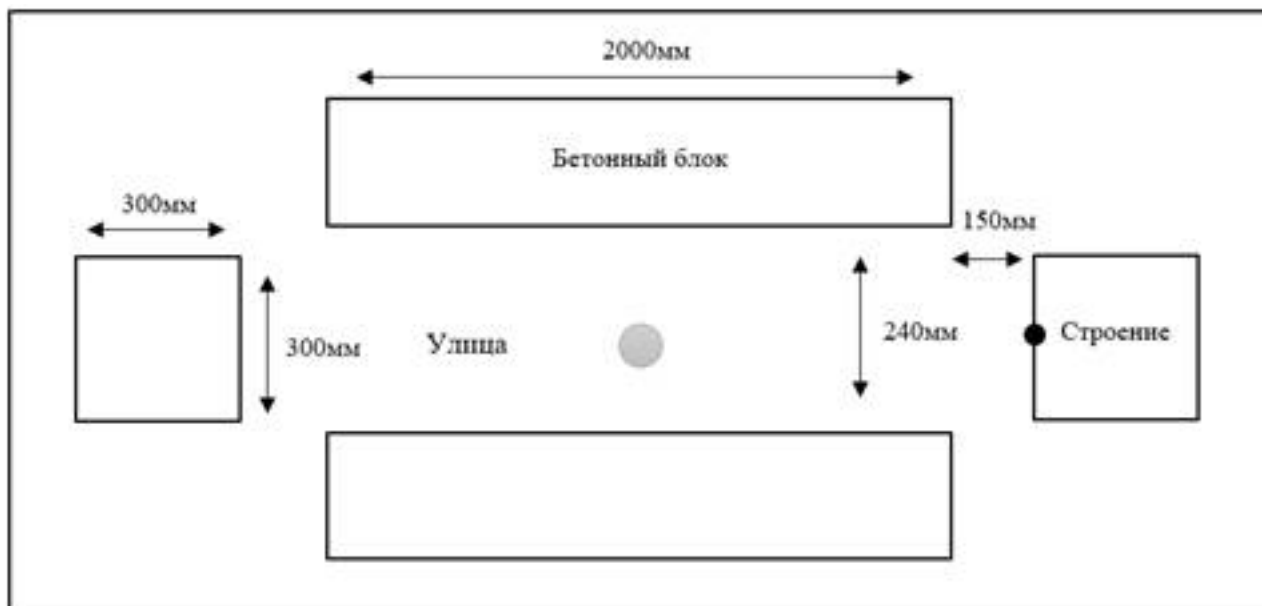


Рисунок 1.  - Заряд (20г эквивалента TNT);  - расположение датчика

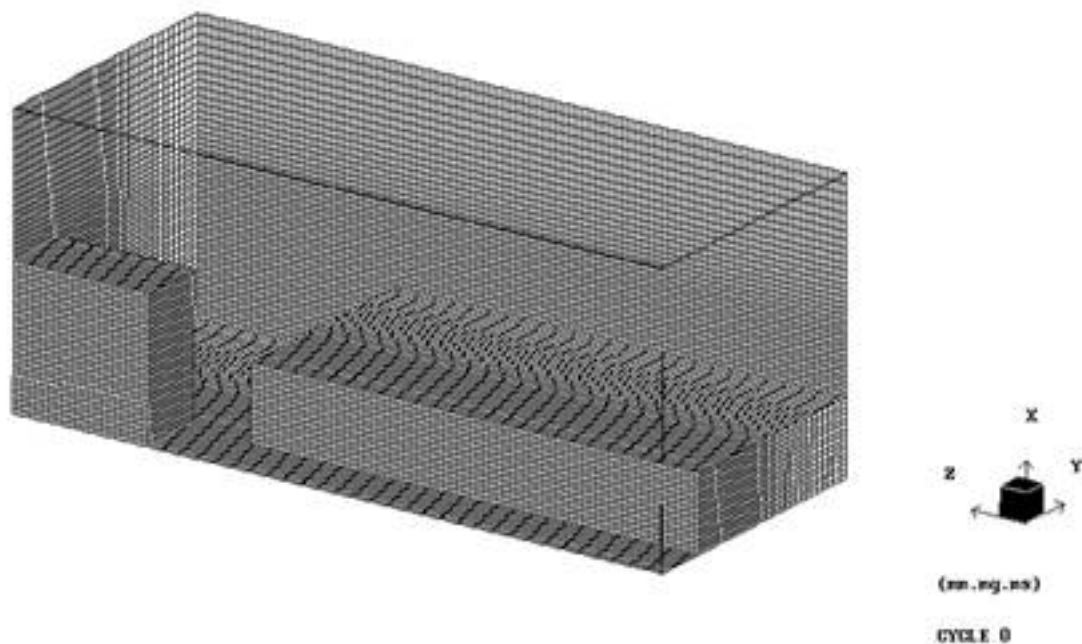


Рисунок 2. 3D Улица модели направленного

взрыва

Зависимость давления от времени на лицевой стороне здания напротив конца улицы показаны на рисунке 3. Двумерное приближение геометрии улицы приводит к значительному завышению пикового давления, в то время как полный трехмерный расчет хорошо согласуется с экспериментальными результатами. Временная история «Conwep» показывает эффект от использования простого аналитического расчета, который пренебрегает направлением взрывной волны по улице.

Эти расчеты показывают, что для сложной геометрии с взрывной волной, направленной вниз по улице только трехмерный численный анализ, включающий всю трехмерную геометрию задачи, дал хорошее согласие с экспериментальными результатами. Сравнение прогнозов взрывных волн, сделанных с использованием программы «Conwep» с экспериментальными результатами показала, что взрывная волна вдоль улицы вызвала сильное пиковое давление взрывной волны и импульс. Система защиты на основе этих взрывных нагрузок была бы небезопасной.

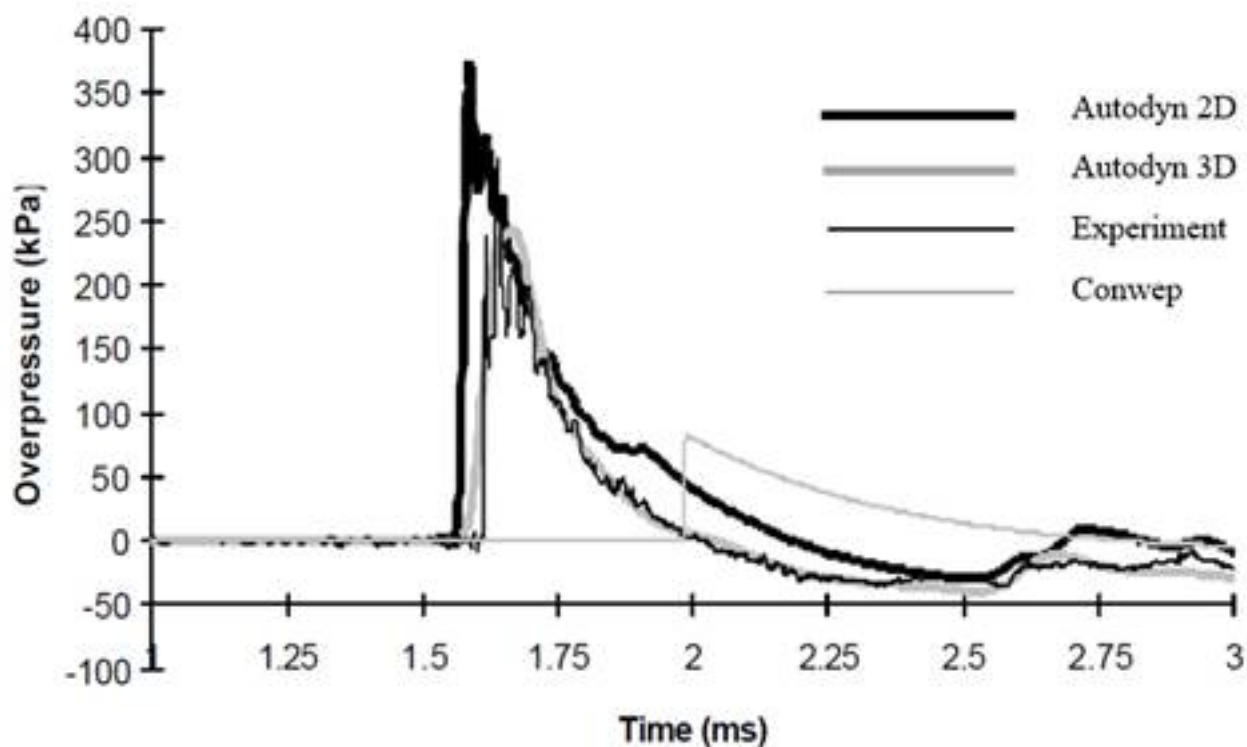


Рисунок 3. Зависимость давления от времени во время направленного взрыва в точке датчика

Список литературы:

1. N J Robertson, C J Hayhurst, G E Fairlie, «Численное моделирование воздействия и быстрых переходных явлений с использованием AUTODYN-2D и 3D», структурная механика в реакторной технике, IV Семинар, Берлин, Германия, август 1993.
2. N J Robertson, C J Hayhurst, G E Fairlie, «Численное моделирование явлений взрыва», Национальный журнал компьютерных приложений в технологии, часть 7, 316-329, 1994.
3. L J Feng, «Моделирование взрыва в городской местности», Крэнфилдский университет, Королевского военного колледжа науки, 1997

4. G E Fairlie, «Эффективный анализ взрывоопасной воздушной струи в сложной городской геометрии с использованием гидрокодов AUTODYN-2D и 3D, аналитические и экспериментальные методы», 15 международный симпозиум применения взрыва, сентябрь 1997.