УДК 004.045

Я.Н.ВЫХОДЦЕВ, *студент, 999fff@gmail.com*
Е.П.ИВАНЧЕНКО, *студентка, elena_iva@list.ru*
Г.А.КОЛТОН, *канд. физ.-мат. наук, доцент, hakolton@gmail.com*
Национальный минерально-сырьевой университет «Горный», Санкт-Петербург

I.N.VYKHODTCEV, *student, 999fff@gmail.com*
E.P.IVANCHENKO, *student, elena_iva@list.ru*
G.A.KOLTON, *PhD in phys.& math., associate professor, hakolton@gmail.com*
National Mineral Resources University (Mining University), Saint Petersburg

ВИЗУАЛИЗАЦИЯ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВЗРЫВНОЙ ВОЛНЫ С ВЫРАБОТКАМИ И ТВЕРДЫМИ ВКЛЮЧЕНИЯМИ

Произведена визуализация математической модели взаимодействия взрывной волны, распространяющейся в горном массиве, с выработками и твердыми включениями прямоугольной и эллиптической формы. Разработана программа, осуществляющая вывод входных данных на экран во времени с возможностью управления процессом визуализации.

***Ключевые слова*:** визуализация, взрыв, взрывная волна, поле напряжений, поле скоростей.

VISUALIZATION OF THE MATHEMATIC MODEL OF EXPLOSION, SPREADING IN A ROCK MASS WITH EXCAVATIONS AND SOLID INCLUSIONS

The mathematic model of explosion, spreading in a rock mass with excavations and solid inclusions was visualized. The program displays the input data with the ability to control the process of visualization.

***Key words*:** visualization, explosion, blast wave, stress fields, velocity fields.

В настоящее время вычислительная техника позволяет обрабатывать большие объемы данных. Однако анализировать такой объем информации вручную нецелесообразно. В таком случае для представления данных в наглядной форме можно прибегнуть к визуализации. Мы используем визуализацию как корректный метод анализа на нескольких тестовых и реальных задачах.

Реализация визуализирующего пакета. Разработка визуализирующего пакета велась в объектно-ориентированной среде Borland Delphi с использованием мощнейшей библиотеки для графического отображения OpenGL. Выбор последней связан с

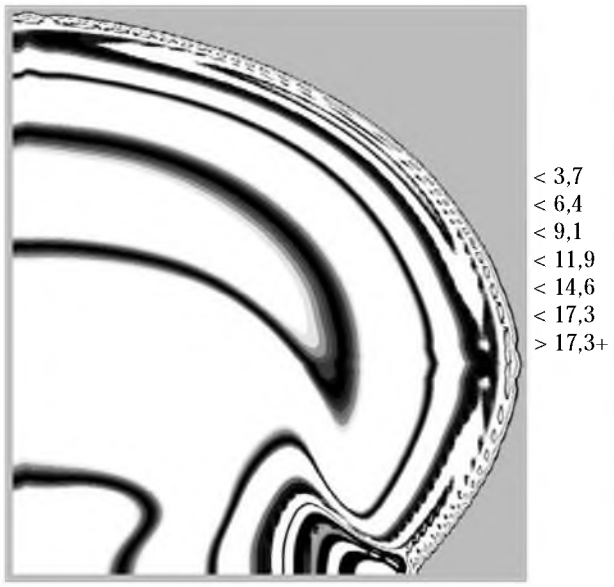


Рис.1. Точечный взрыв в атмосфере

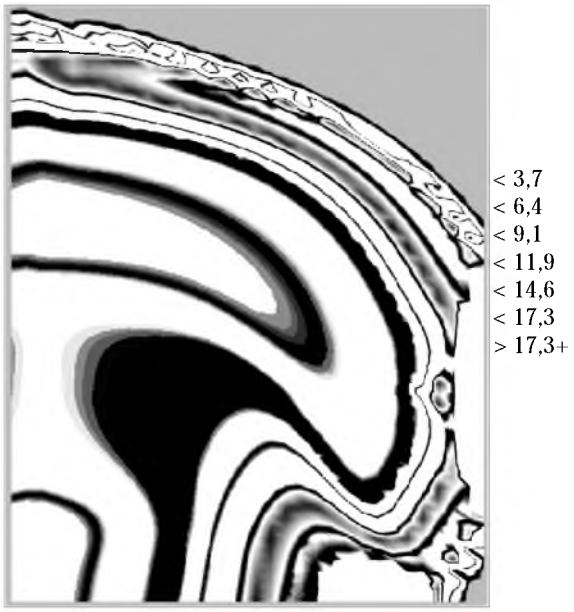


Рис.2. Взрыв внутри кругового цилиндра

тем, что она независима от языка программирования и платформы. Сегодня данный интерфейс используется в системах автоматизированного проектирования, компьютерных играх, визуализации в научных исследованиях, а также в стандарте HTML5.

Структура приложения:

- загрузка входных данных;
- инициализация графического режима;
- очередь отрисовки;
- управление процессом визуализации.

Для загрузки входных данных на обработку была написана динамическая библиотека. Плюсами динамической библиотеки являются независимый выбор языка программирования, а также независимая разработка, подразумевающая, что библиотека может быть изменена без вмешательства в основной код программы.

Во время инициализации графического режима задействуются возможности видеокарты. При этом подключается графический ускоритель видеокарты, буфер видеокарты и устанавливаются основные параметры отображения.

Очередь отрисовки состоит из двух тактов:

- содержимое первого буфера видеокарты отправляется на экран, следующее изображение формируется во втором буфере;
- содержимое второго буфера видеокарты отправляется на экран, следующее изображение формируется в первом буфере.

Для управления визуализацией имеются следующие возможности: ускорение, замедление и остановка процесса, изменение масштаба.

Примеры визуализации взрывов. 1. Точечный взрыв в атмосфере (рис.1). Точечный взрыв представляет собой тестовый пример, имеющий название в научной литературе «Точечный взрыв в атмосфере на заданной высоте от твердой поверхности». Рассматривалась замкнутая система основных уравнений газодинамики. На начальном этапе, т.е. до тех пор, пока можно пренебрегать противодавлением, расчет велся по формулам Л.И.Седова [1], на следующем этапе применялся численный метод интегрирования, а именно метод «Расщепления» С.К.Годунова [3].

2. Взрыв внутри кругового цилиндра (рис.2). Визуализация взрыва [2] внутри кругового цилиндра также является тестовым примером, использованным для иллюстрации и проверки возможностей разработанной программы.

3. Взаимодействие взрывной волны с выработками и твердыми включениями прямоугольной формы. Выработки обо-

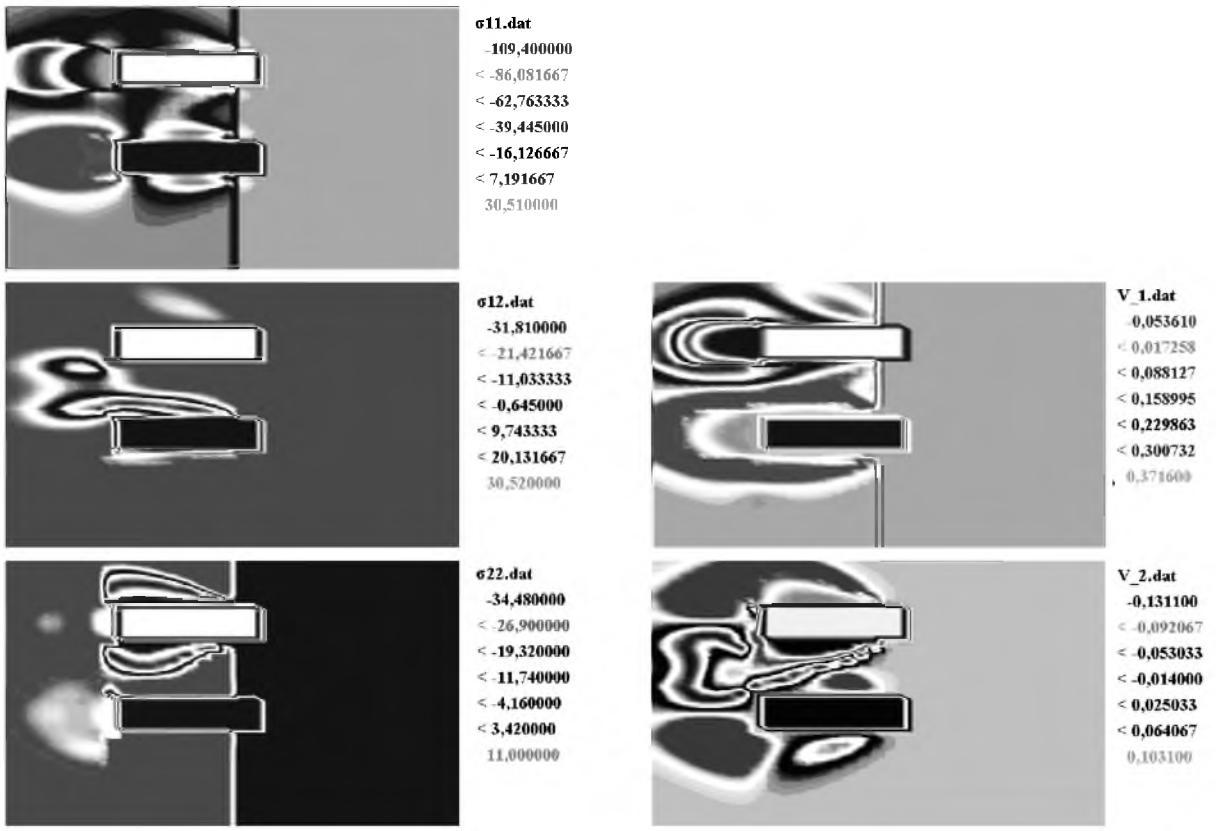


Рис.3. Взаимодействие взрывной волны с выработками и твердыми включениями прямоугольной формы

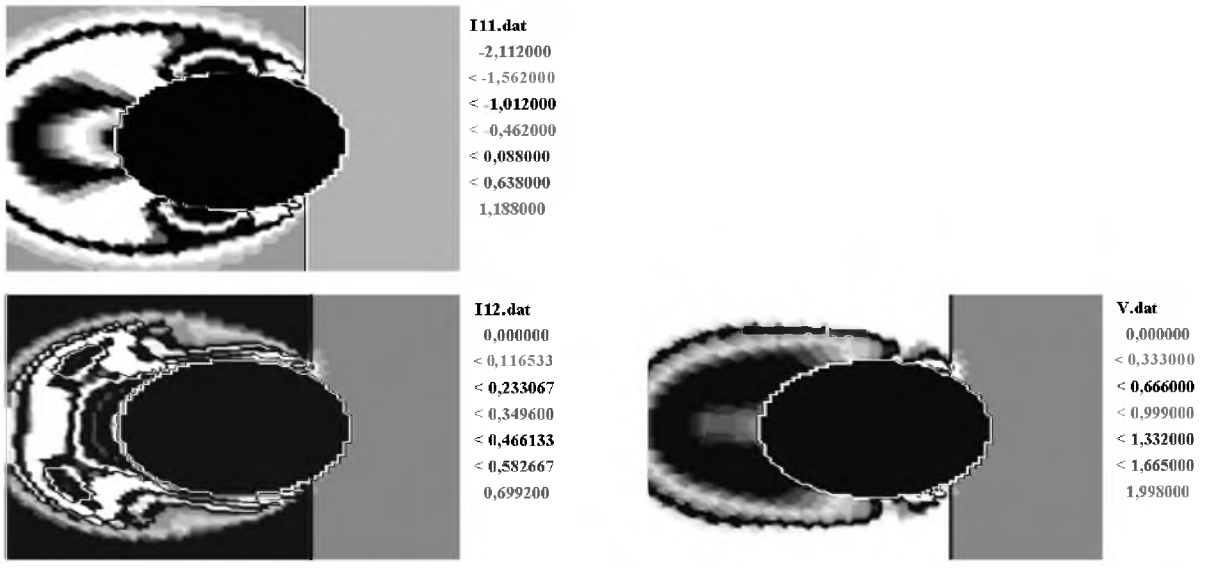


Рис.4. Взаимодействие взрывной волны с выработкой эллиптической формы

значены белым цветом, включения – черным (рис.3).

Компоненты тензора напряжений – σ_{11}, σ_{22}, σ_{12}; компоненты вектора скорости – V_1, V_2.

На рис.3 (поле напряжения σ_{11}) видно, что после взаимодействия с выработкой в обратном направлении появляется волна разряжения, а после взаимодействия с вклю-

чением – волна сжатия с двойной амплитудой. Аналогичный эффект наблюдается для поля скоростей.

4. Взаимодействие взрывной волны с выработкой эллиптической формы (рис.4).

Первый и второй инварианты тензора напряжений обозначим I_{11}, I_{12}; модуль скорости – V.

Для полей напряжений и проекций скоростей наблюдаются такие же эффекты, как и на прямоугольных выработках и включениях.

Таким образом, особенности поведения взрывных волн, их полей скоростей и напряжений, полученные в результате визуализаций, соответствуют опытным наблюдениям, из чего можно сделать вывод, что работа визуализирующего пакета является корректной и данный программный пакет может применяться при работе с выработками и включениями произвольной формы.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Коробейников В.П.* Задачи теории точечного взрыва в газах. М., 1985.

2. *Краснов М.* OpenGL. Графика в проектах Delphi. СПб, 2000.

3. Численное решение многомерных задач газовой динамики / С.К.Годунов, А.В.Забродин, М.Я.Иванов и др. М., 1976.

REFERENCES

1. *Korobejnikov V.P.* Problems in the theory of point explosion in gases. Moscow, 1985.

2. *Krasnov M.* OpenGL. Delphi graphics projects. Saint Petersburg, 2000.

3. *Godunov S.K., Zabrodin A.V., Ivanov M.I. et al.* Numerical solution of multidimensional problems of gas dynamics. Moscow, 1976.