

УДК 539.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССА РАСПРОСТРАНЕНИЯ УДАРНОЙ ВОЛНЫ ЧЕРЕЗ ЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ ПАКЕТ ИЗ МЕТАЛЛИЧЕСКОЙ СЕТКИ

© 2011 г. *Е.Г. Глазова¹, А.А. Дикий², В.Н. Куликов², С.С. Митрофанов¹, А.Н. Осавчук²*¹Нижегородский госуниверситет им. Н.И. Лобачевского²ФЦДТ «Союз», г. Дзержинский, Московская обл.

glazova@mech.unn.ru

Поступила в редакцию 15.06.2011

Приводятся результаты экспериментальных и численных исследований распространения ударных волн через цилиндрические пакеты плетеных металлических сеток при внутреннем взрывном нагружении. Эксперименты проведены для различных по массе цилиндрических зарядов и двух видов сеток, отличающихся размером ячейки. Численные результаты сопоставляются с экспериментальными данными.

Ключевые слова: ударная волна, плетеные сетки, газопроницаемость, деформация, эксперимент, схема Годунова.

Одним из эффективных способов ослабления нагрузки от воздействия ударной волны (УВ) является использование пакетов мелкоячеистых проволочных тканевых сеток, размещаемых перед преградой. В [1–4] дана оценка эффективности подобных многослойных экранов с точки зрения снижения газодинамических параметров проходящих через них УВ, причем в [4], в отличие от других работ, рассмотрены плоские пакеты сетки, которая считалась упругопластически деформируемой при ее сжатии в направлении, перпендикулярном к ее слоям.

В настоящей работе приведены результаты экспериментально-расчетных исследований процесса распространения УВ через цилиндрический пакет из плетеной металлической сетки при внутреннем взрывном воздействии.

Экспериментальные исследования

Оценка влияния преграды из металлической сетки (рабица) проводилась на основании сравнения параметров УВ на одинаковом расстоянии от точки подрыва свободных зарядов взрывчатого вещества (ВВ) и экранированных двумя типами пакетов из сеток (рис. 1).

Регистрация параметров УВ осуществлялась с помощью 2-х датчиков, расположенных на одном радиусе от заряда на расстоянии 0.2 м друг от друга. Расстояние R_1 до 1-го датчика составляло ≈ 1.5 м и незначительно изменялось в опытах. Масса заряда в опытах варьировалась и состав-

ляла 0.1, 0.2 и 0.6 кг. Пакет №1 – внутренний диаметр его цилиндра был равен ≈ 1.08 м, внешний ≈ 1.18 м, высота ≈ 1.5 м и состоял из 10 слоев сетки с размером ячейки 25 мм (проволока диаметром 1.5 мм). Пакет №2 – внутренний диаметр цилиндра был равен ≈ 0.77 м, внешний ≈ 1.0 м, высота ≈ 1.5 м и состоял из 21 слоя сетки с размером ячейки 20 мм (диаметр проволоки 1.5 мм). Данный цилиндрический пакет в обоих случаях располагался вертикально торцевой частью на сетке, используемой в 1-м пакете и состоящей из 8 слоев.

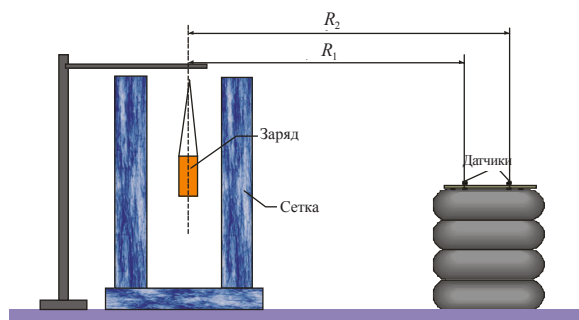


Рис. 1

Расчетные исследования

Предложена нелинейная математическая модель, описывающая взаимосвязанные двумерные процессы нестационарного деформирования плоских и цилиндрических пакетов металличе-

ких проволочных сеток и волновых процессов в поровом газе. Формулируются начально-краевые задачи, описывающие взаимодействие УВ с газопроницаемыми пакетами металлических плетеных из проволоки сеток с использованием обычных для подобных систем ряда допущений [5]. Рассмотрены среды из 2 взаимопроникающих континуумов: деформированный пакет сеток, как скелет двухфазной среды, и поровой газ, движущийся через него. Скелет среды полагается ортотропной средой, оси ортотропии которой совпадают с направлениями металлических проволочек и нормалью к плоскости слоев сетки. По направлениям вдоль проволочек скелет сопротивляется упругопластическому растяжению, но не сопротивляется сжатию, однако по нормали к слоям сетки, наоборот, сопротивляется сжатию, но не сопротивляется растяжению. Сдвиговыми напряжениями пренебрегается. Динамика порового газа описывается уравнениями газовой динамики с учетом стесненности проходных сечений и свободного объема скелета. Учитываются силы межфазного взаимодействия и теплообмен между скелетом и газом. Численное решение задачи проведено на основе схемы Годунова в эйлерово-лагранжевых подвижных разностных сетках с помощью вычислительного комплекса «UPSGOD». Разработаны алгоритмы контактного взаимодействия УВ с плоскими и цилиндрическими пакетами сеток. Постановка численного исследования процесса распространения УВ через цилиндрический пакет сеток №2 приведена на рис. 2 при взрывном нагружении от заряда ВВ с массой 0.2 кг, диаметром 40 мм, длиной 100 мм, расположенного на оси симметрии с центром в точке с координатами $r = 0, z = 90$ см (см. рис. 2).

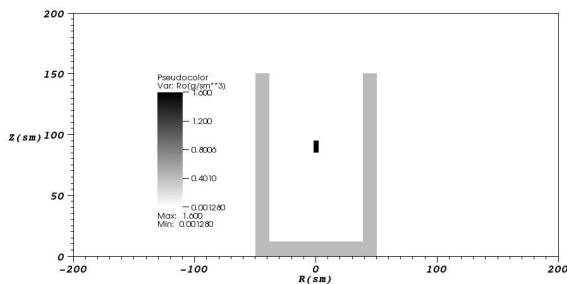


Рис. 2

Для данного расчета получена эволюция распространения через сетку волн сжатия от центра взрыва заряда к периферии, а также кинограммы процесса деформирования пакета сетки. В случае отсутствия преграды приведены поля давления от взрыва аналогичного по массе и размерам заряда ВВ.

На рис. 3, 4 приведены расчетные и экспериментальные кривые зависимостей избыточного давления от времени для рассмотренных выше вариантов (соответственно без преграды и с пакетом №2).

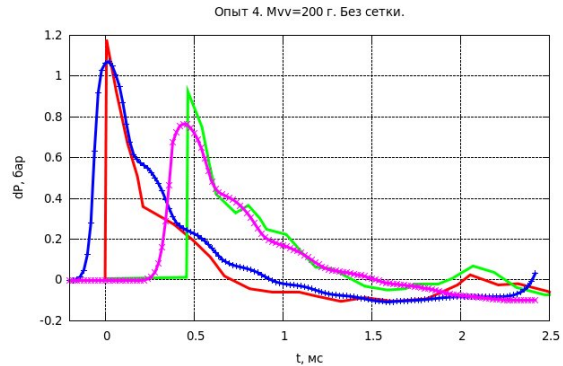


Рис. 3

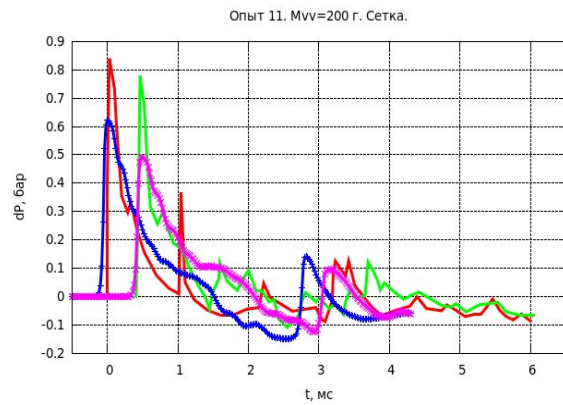


Рис. 4

Сплошной линией показаны экспериментальные кривые, линией с маркерами – численные результаты. Применяемая разностная схема приводит к некоторому сглаживанию пиковых значений давления и соответствующему размазыванию волновых профилей как при наличии, так и при отсутствии пакета сетки.

Тем не менее, относительный эффект снижения давления газа в проходящей ударной волне соответствует наблюдаемым в экспериментах. Таким образом, разработанная математическая и численная модели могут с успехом использоваться при решении подобных задач и оценки защитных свойств пакетов плетеных металлических сеток.

Авторы выражают благодарность А.В. Кочеткову и С.В. Крылову за помощь в расчетах.

Работа выполнена при частичном финансировании РФФИ (грант №09-08-00711а) и Программы поддержки ведущих научных школ России (грант №НШ-4807.2010.8).

Список литературы

1. Альтшулер Л.В., Кругликов Б.С. // ПМТФ. 1984. №5. С. 24–29.
2. Кругликов Б.С., Кутушев А.Г. // ФГВ. 1998. Т. 24, №1. С. 115–118.
3. Мельцас В.Ю., Портнягина Г.Ф., Соловьев В.П. // ВАНТ. 1993. Вып. 3. С. 26–31.
4. Абакумов А.И. и др. // Тр. ВНИИЭФ. 2006. №10. С. 16–30.
5. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред. Ч. 1. М.: Наука, 1987.

EXPERIMENTAL-COMPUTATIONAL STUDY OF THE PROCESS OF SHOCK WAVE PROPAGATION THROUGH A CYLINDRICAL PACKAGE OF METAL GRID*E.G. Glazova, A.A. Dikiy, V.N. Kulikov, S.S. Mitrofanov, A.N. Osavchuk*

The results of experimental and numerical investigation of the propagation of shock waves caused by internal explosive loading through cylindrical packages of woven metal grids are presented. The experiments were done for cylindrical charges of different masses and two kinds of grids varying in the mesh size. The numerical results are compared with the experimental data.

Keywords: shock wave, woven grids, gas permeability, deformation, experiment, Godunov's scheme.