

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ УДАРНЫХ ВОЛН СО СЛОЕМ ТЯЖЁЛОГО ГАЗА

И.А. Бедарев, В.М. Темербеков, А.В. Федоров

*Институт теоретической и прикладной механики
им. С.А. Христиановича СО РАН
630090, г. Новосибирск, Россия.*

Моделирование волновых процессов в многофазных средах является актуальным, так как оно связано со многими явлениями, происходящими в различных сферах производства и техники. Одной из таких проблем, является исследование взаимодействия проходящей ударной волны со слоем тяжелого газа или пыли. Данная задача представляет интерес как раз с точки зрения взрыво- и пожаробезопасности в угольных шахтах и на запыленных производствах, а также исследования возможности повышения интенсивности ударной волны за счёт применения нанометрических и микронных порошков высокоэнергетических материалов.

Целью работы являлся расчет модельных задач подъёма слоя тяжелого газа проходящей ударной волной в программном продукте ANSYS Fluent. В качестве математической модели использованы уравнения осредненные по Фавру уравнений Навье-Стокса для многокомпонентности газовой смеси. Численный метод в качестве аппроксимации по времени использует неявную схему второго порядка, а для аппроксимации по пространству – противопотоковую схему второго порядка точности. Для расщепления вектора потоков задействован метод AUSM.

Исследованы две задачи. В первой задаче рассмотрено распространение ударной волны вдоль слоя тяжелого газа. За основу первого расчета был взят эксперимент [1]. На рис. 1 показана схема испытательной секции, прямоугольного поперечного сечения 7,5 см на 4 см. Пристенный слой был создан с помощью прибора, который содержал емкость для закачки газа, покрытую пористой керамической пластиной, которая имела ширину в 4 см и длину 65 см. Емкость была наполнена газом (фреон-12) при избыточном давлении ~ 0,5 бар. Камера заполнялась в течение одной минуты - для достижения практически 100 % концентрации фреона и очистки пор керамической пластины от остаточного воздуха. Далее, клапан закрывался, а камера очищалась от загрязняющих газов. После очистки, клапан снова открывался, и емкость наполнялась газом до давления 150 кПа, в течение 2 сек, затем разрушалась диафрагма и ударная волна начинала своё движение. Для повышения точности эксперимента, все процедуры заполнения контролировались компьютером. В результате создавался тонкий слой чистого фреона (3 мм), затем его концентрация уменьшалась. Это было вызвано загрязнением остаточным воздухом в порах керамической пластины и процессом би-молекулярной диффузии. В итоге слой фреона имел длину 65 см и толщину 2 см, причём его концентрация не зависела от продольной координаты. Последние 20 см слоя можно было наблюдать через смотровое окно.

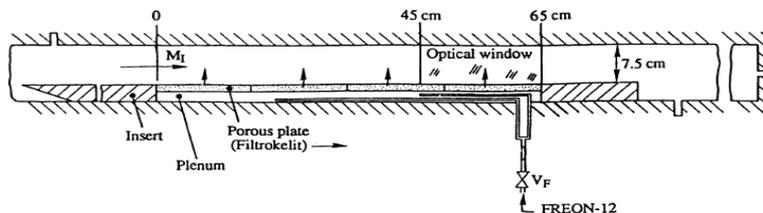


Рис. 1 Схема моделирования задачи подъёма слоя фреона 12.

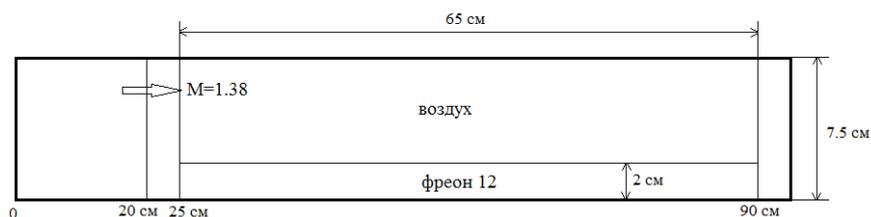


Рис. 2. Схема моделирования задачи подъёма слоя фреона 12.

На рис. 2 представлена схема моделирования. Так как концентрация фреона в слое распределялась не равномерно, было решено моделировать слой газа с различными способами распределения концентрации фреона по толщине слоя. Результаты каждого расчёта сравнивали с экспериментальными данными [1], в те же самые моменты времени.

На рис. 3 представлено сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования в два момента времени. На расчетных рисунках представлены поля плотности. Произведено 3 расчёта с различным распределением концентрации фреона в слое: заданное постоянным (б), изменяется линейно (в), изменяется по закону, близкому к гиперболическому тангенсу (г).

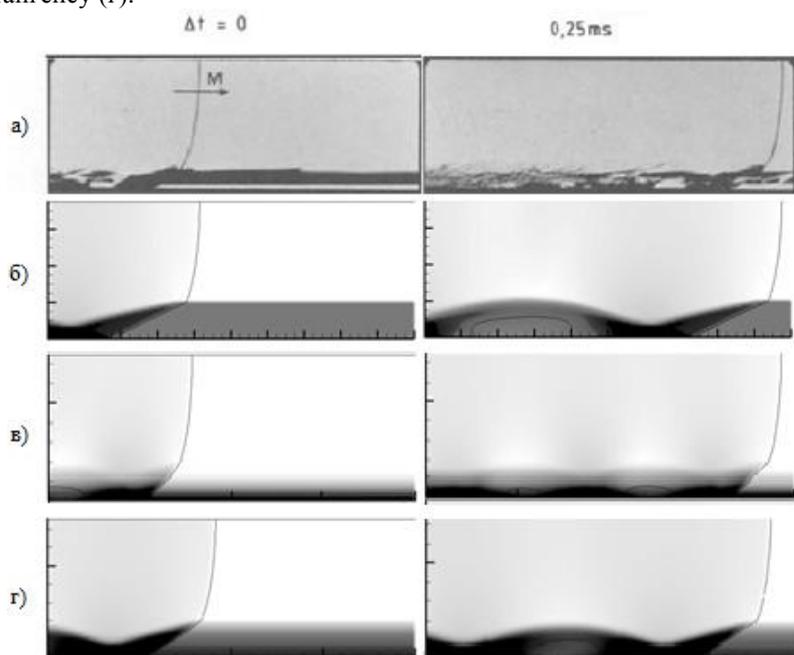


Рис. 3 Сравнение экспериментальных данных и результатов моделирования.

а) Результаты эксперимента. б) Распределение концентрации фреона по толщине слоя постоянно. в) Распределение концентрации фреона по толщине слоя изменяется линейно г) Распределение концентрации фреона по толщине слоя изменяется по закону, близкому к гиперболическому тангенсу.

Анализ результатов расчёта показал, что наилучшее качественное сходство с экспериментом было достигнуто при линейном распределении концентрации фреона по толщине слоя. Первый и третий варианты распределения тяжелого газа в слое показали близкие друг к другу расчетные картины.

Второй задачей являлось моделирование взаимодействия ударной волны с облаком модельного тяжелого газа, плотность которого была в 10 раз больше плотности воздуха, причем облако располагалось в канале с внезапным расширением. Такая постановка связана с проблемами повышения энергии ударной волны для задач метания. Схема моделирования представлена на рис. 4. На рис. 5 представлены результаты моделирования задачи взаимодействия ударной волны с облаком тяжелого газа с последующей ее дифракцией в виде поля плотности смеси в различные моменты времени. Показаны положения ударной волны в различные моменты времени: *а*) волна внутри канала; *б*) волна на выходе из канала; *с*) волна в расширенной области; *г*) полный тяжелого выдув газа.

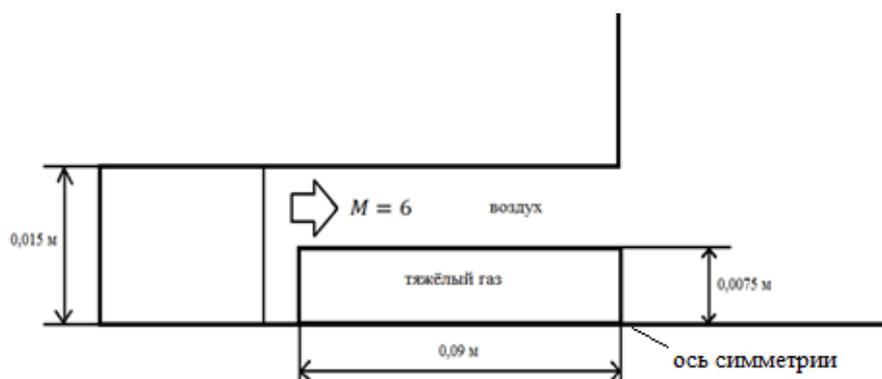


Рис. 4. Схема моделирования задачи взаимодействия ударной волны с облаком тяжелого газа.

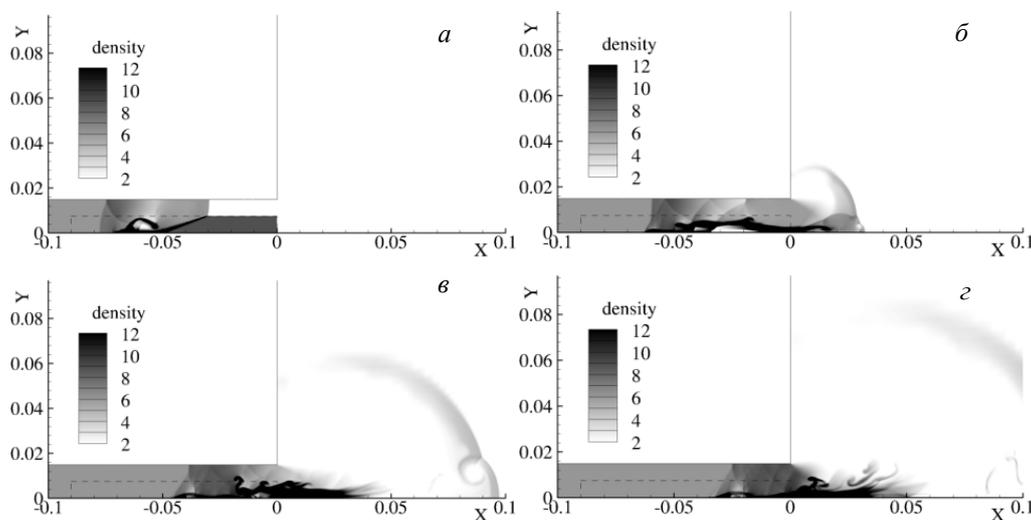


Рис. 5. Дифракция ударной волны. Поля плотности смеси воздуха и тяжелого газа.

На рис. 6 показаны поля относительной массовой концентрации воздуха в различные моменты времени. Видно, что в потоке за ударной волной происходит интенсивный разлет тяжелого газа и образуется своего рода «факел» (рис. 6г). Таким образом, в результате моделирования получен направленный выдув газа с высокими параметрами за ударной волной из канала в расширяющуюся область.

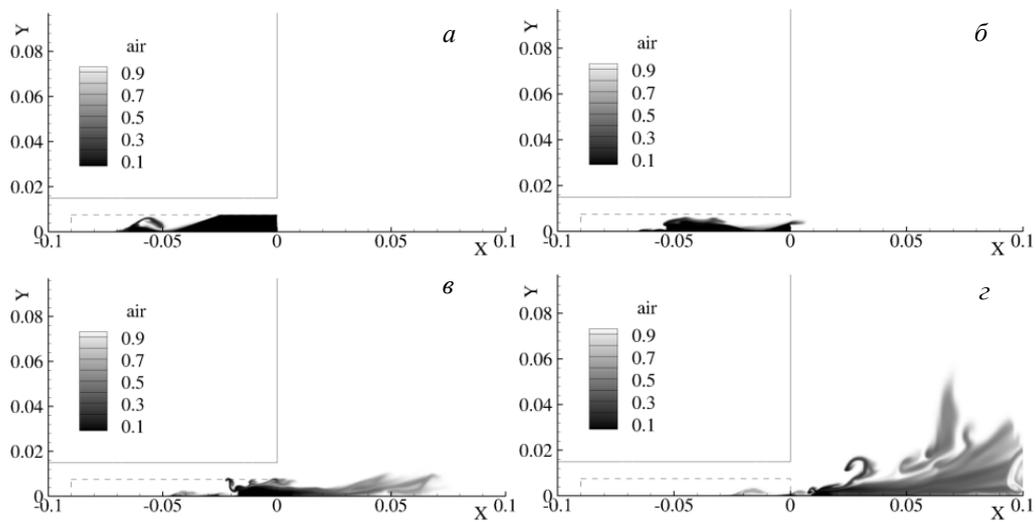


Рис. 6. Дифракция ударной волны. Поля относительной массовой концентрации воздуха.

Работа выполнена при поддержке грантов РФФИ № 15-08-01947, № 15-08-01723, Министерства образования и науки РФ, проект № 211, ЗАДАНИЕ № 2014/140.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Kuhl A.L., Reichenbach H., Ferguson R.E. Shock interaction with a dense-gas wall layer // Shock Waves J., Springer, Heidelberg, 1992, pp. 159—166