

Findings

1. Segmentation of explosive charge, i.e. dividing it into equal parts and separating them in the air space along the axis of the initial charge over distances of the order of the charge diameter is indeed a way to increase the parameters of an air explosion determined on the surface of the earth, compared to the explosion of a single explosive charge of total mass.
2. An increase in the explosion parameters of a segmented explosive charge is determined by the physics of the interaction of airborne hydrocarbons in the intercharged gaps, namely, the formation here at the initial times of dispersal of individual high-speed jets of explosion products moving in the radial direction parallel to the earth's surface and generating intensive hydrocarbons in front of them.
3. An increase in the explosion parameters of a segmented explosive charge does not manifest itself instantaneously, but after some time, after the air shock waves from the upstream charge segments reach the ground surface and interact with each other and the hard surface, which for this formulation of the problem occurred approximately in the middle region of distances from the center of an explosion $\sim (1 \dots 6)$ m. At large distances, the parameters of the explosion of all charges approach each other, since the total energy of the explosion remains constant in all calculation options.

References

1. T.F. Efremova A new dictionary of the Russian language. Sensible word-building. - M.: Russian language, 2000. - 2 t. - 1209 s.
2. Pat. 2679830 Russian Federation, MPK⁷ F42B 12/20, F42B 12/58. High-explosive ordnance / Menshakov SS, Okhitin V.N.; applicant and patent holder MSTU. N.E. Bauman. - № 2017146798; declare 12.28.2017; publ. 02.14.2019, Bull. No. 5

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ АДАПТИВНО-ВСТРАИВАЕМОЙ ДРОБНОЙ СЧЁТНОЙ СЕТКИ ПРИ ЧИСЛЕННОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ВОЗДУШНОЙ УДАРНОЙ ВОЛНЫ С ИЗЛОМОМ ГРАНИЦЫ ТЕЧЕНИЯ

А.Г.Иоилев^{1,2}, В.Ю.Колобянин¹, И.А.Свиридова¹, А.Л.Стадник¹

¹ РФЯЦ-ВНИИЭФ, Саров, Россия

² СарФТИ НИЯУ «МИФИ», Саров, Россия

В 2018г. в параллельной версии трёхмерной методики ЭГАК [1] были реализованы алгоритмы адаптивно-встраиваемых дробных сеток, аналогичные использовавшимся ранее в последовательной двумерной версии методики ЭГАК [2]. Использование автоматического дробления счётной сетки в нужной области (адаптивно-встраиваемой счётной сетки) потенциально позволяет снизить время счёта при сохранении точности. Более подробная сетка создается путём многоуровневого дробления исходной четырёхугольной (в двумерном случае) или шестигранной (в трёхмерном случае) сетки, называемой основной. Дробление ячеек выполняются согласно следующим принципам:

1. Способ дробления ячеек одинаковый на всех уровнях, новые (дочерние) ячейки получают отрезками, проведёнными через середины сторон (в двумерном случае) или рёбер (в трёхмерном случае) первоначальных (материнских) более крупных ячеек. Таким образом, при дроблении каждая материнская ячейка делится на четыре (в двумерном случае) или восемь (в трёхмерном случае) дочерние ячейки, другие методы дробления не допускаются.

2. Число уровней должно быть не больше 5 (то есть линейный размер минимальной ячейки может быть меньше основной в 32 раза).

3. Соседние ячейки могут отличаться не более чем на один уровень.

4. В памяти хранятся ячейки всех уровней дробления, в том числе и все материнские ячейки. Это позволяет каждую особенность считать на сетке своего уровня.

5. При проведении расчёта на дробной сетке задаются:

- тип особенности течения (контактная граница, ударная волна (УВ), компонент и т.д.), в окрестности которой дробится сетка;
- максимальный уровень дробления (свой для каждой особенности);
- ширина зоны дробления.

6. Создание новых дробных ячеек в окрестности особенности и уничтожение старых производится автоматически. При создании и уничтожении дробных ячеек из условия сохранения массы, импульса и внутренней энергии пересчитываются скорости, плотности, объёмные концентрации и удельные внутренние энергии компонентов.

Верификация была проведена на двух задачах о распространении плоской воздушной ударной волны (УВ):

- 1) задача о дифракции воздушной УВ при прохождении через угол 90° [3] (смотри рисунок 1);
- 2) задача о Маховском взаимодействии воздушной УВ с клином [4] (смотри рисунок 2).

Обе задачи были предложены в 1990-х годах для верификации двумерных газодинамических методик. Результаты расчётов первой задачи по 16 различным методикам опубликованы в [3], результаты расчётов второй задачи по 12 различным методикам – в [4]. Сравнение проводилось с результатами экспериментов на воздушных ударных трубах.

Расчёты проводились в плоской двумерной постановке на неподвижной эйлеровой сетке. В постановках обеих задач нет характерного размера. В расчётах за единицу длины (1 м) принималось расстояние, которое падающая УВ прошла после излома стенки (границы течения) на момент времени сравнения t^* ($t^*=t-t_0$, где t_0 – момент времени прохождения УВ излома границы течения). В задаче о прохождении УВ через угол 90° $t^*=2$ мс, в задаче о набегании УВ на клин $t^*=1.5$ мс.

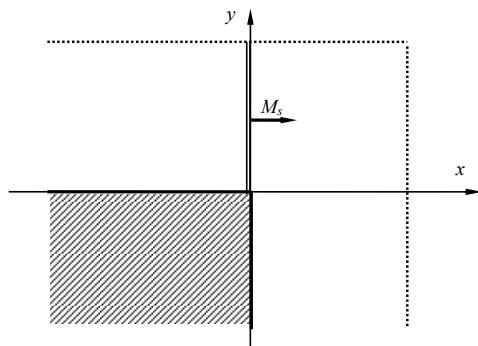


Рисунок 1. Постановка задачи о дифракции УВ при прохождении через угол 90° [3]

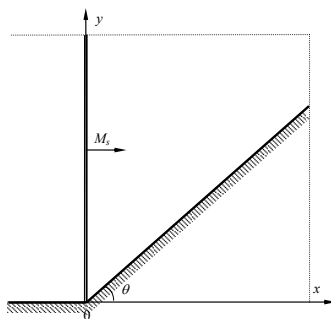


Рисунок 2. Постановка задачи о Маховском взаимодействии УВ с клином [4]

В расчётах прохождения УВ через угол 90° фиксированная или основная счётная сетка квадратная, в расчётах набегания УВ на клин – квадратная перед клином и трапециевидальная над

клином. Всего проведено по 5 расчётов: на фиксированной сетке с $N=100$, 200 и 400 ячеек на единицу длины и с дроблением 1 и 2 уровня с основной сетки с $N=100$. В расчётах с дроблением счётной сетки использовалось условие $P > 0.01$ МПа с одновременным выполнением условия $q > 0.05 \cdot P$, где P и q – давление и счётная вязкость; ширина зоны дробления – 5 ячеек.

Воздух в расчётах моделировался совершенным газом с показателем адиабаты Пуассона $\gamma=1.4$, перед падающей УВ давление $P_0=0.1$ МПа и плотность $\rho=1.26$ кг/м³, скорость падающей УВ $D=0.5$ и 0.666667 км/с в задачах о прохождении УВ через угол 90° и о набегании УВ на клин соответственно.

На рисунке 3 приведено поле давления и дробная счётная сетка 1 уровня на несколько моментов времени в расчёте задачи о дифракции УВ при прохождении через угол 90°, на рисунке 4 – поле плотности и дробная счётная сетка 1 уровня в расчёте задачи о Маховском взаимодействии УВ с клином $\theta=46^\circ$. Видно, как зона дробления счётной сетки движется вместе с ударными волнами и вихревой зоной глубокого разрежения за углом 90°.

На рисунке 5 приведена интерферограмма, полученная в эксперименте по прохождению УВ через угол 90° [3] (число Маха падающей УВ $M_s=1.5$), и поля и изолинии плотности из расчётов на соответствующий момент времени $t^*=2$ мс. Видно, что в расчётах получено хорошее согласие с результатами эксперимента не только по положению проходящей и дифрагированной ударных волн, волны разрежения и ядра образовавшегося вихря, но и по полю течения.

На рисунке 6 приведена интерферограмма, полученная в эксперименте по набеганию УВ на клин с углом $\theta=46^\circ$ [4] (число Маха падающей УВ $M_s=2.0$), и поля и изолинии плотности из расчётов на соответствующий момент времени $t^*=1.5$ мс. В расчётах получено хорошее согласие с экспериментальными результатами не только по положению проходящей и отражённой УВ, «ножки» Маха и тангенциального разрыва, но и по полю течения.

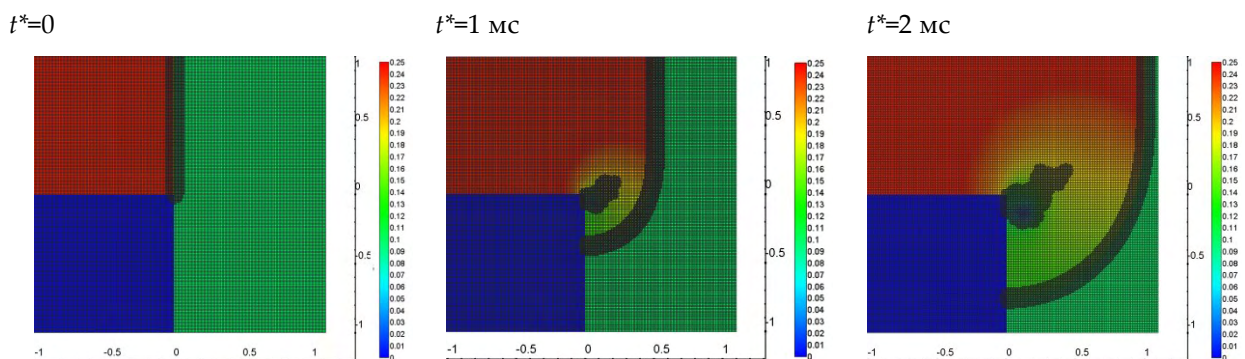


Рисунок 3. Поле давления и дробная счётная сетка 1 уровня в расчёте задачи о дифракции УВ при прохождении через угол 90°

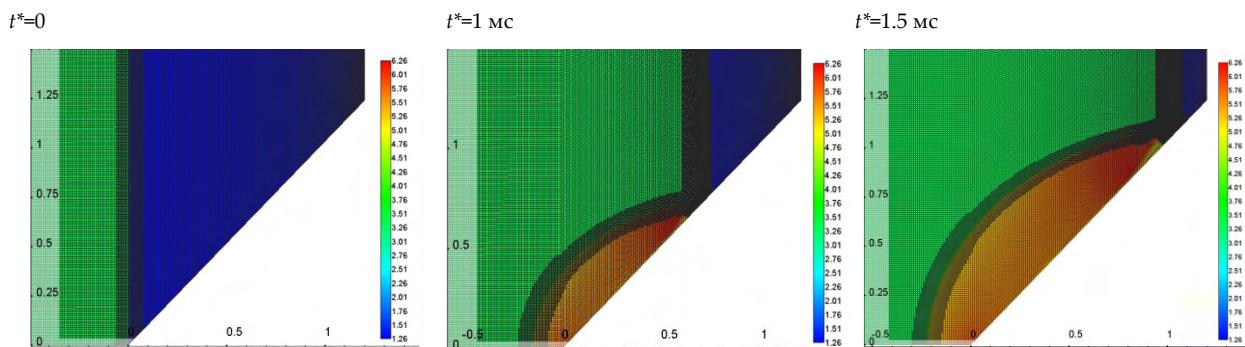


Рисунок 4. Поле плотности и дробная счётная сетка 1 уровня в расчёте задачи о Маховском взаимодействии УВ с клином $\theta=46^\circ$

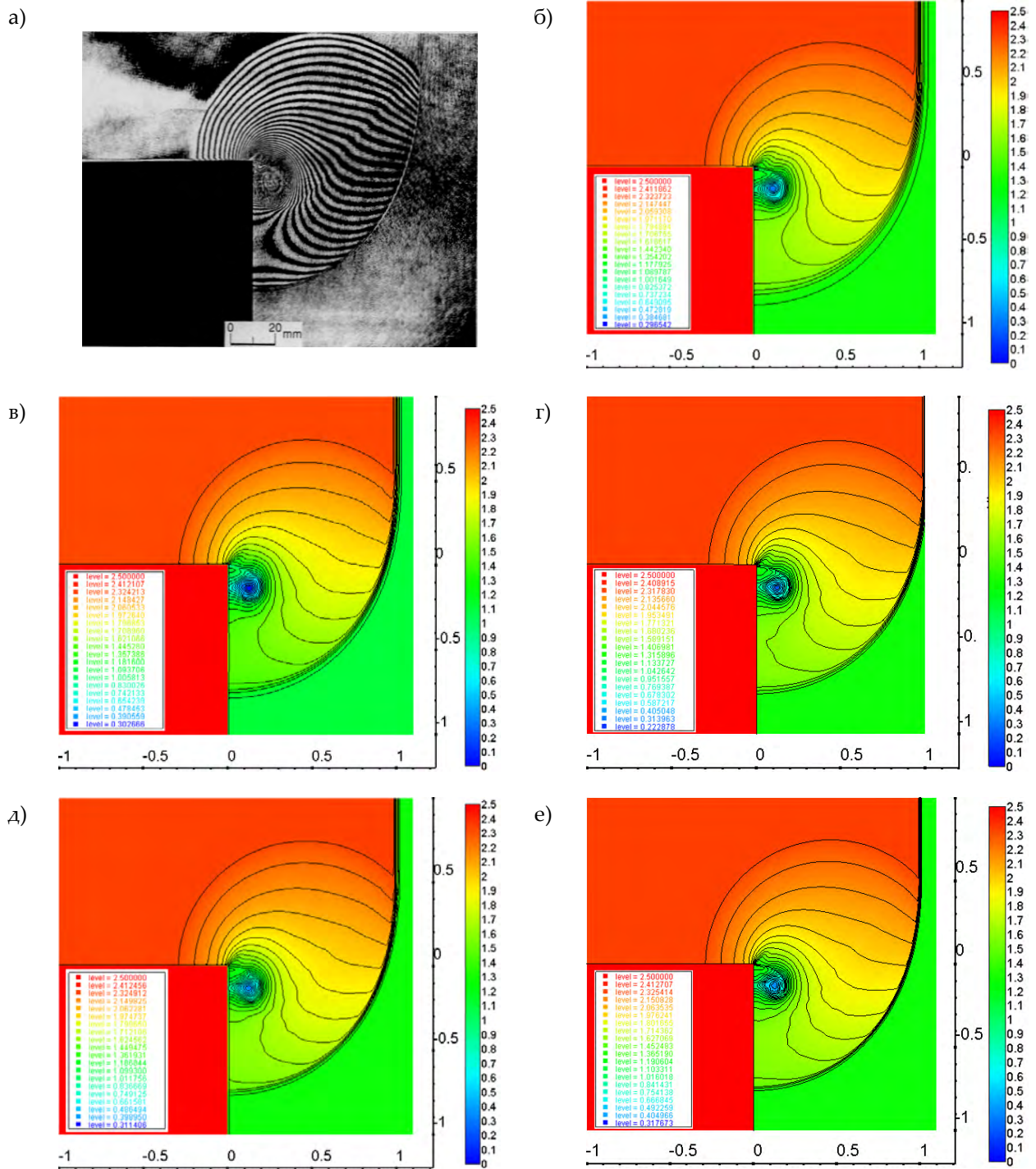


Рисунок 5. Экспериментальная интерферограмма (угол 90°) [3] (а) и поля и изолинии плотности на момент времени $t^*=2$ мс из расчётов на фиксированной счётной сетке с $N=100$ (б), $N=200$ (г) и $N=400$ (е) и на дробной сетке 1 уровня (в) и 2 уровня (д)

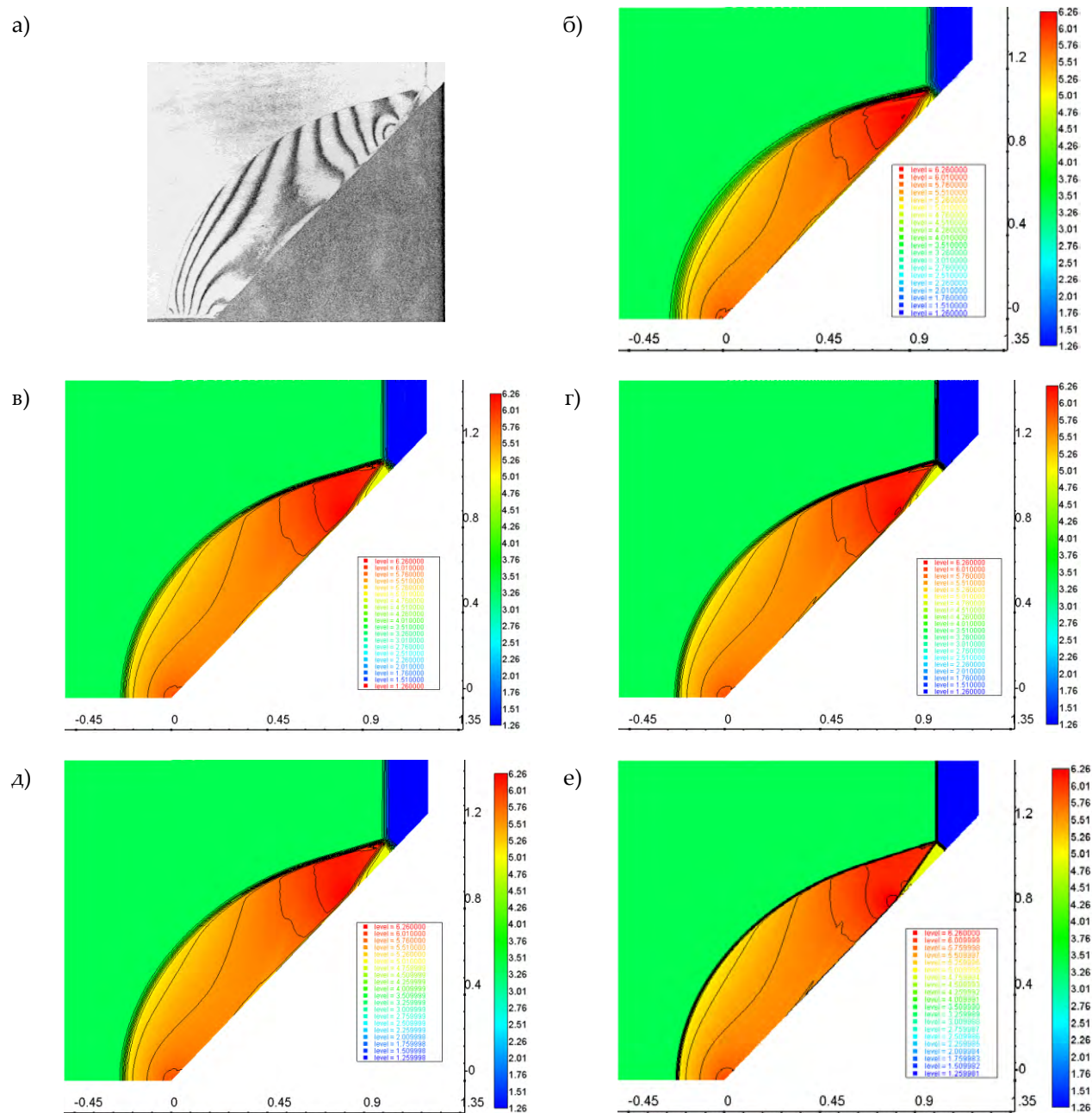


Рисунок 6. Экспериментальная интерферограмма (клин $\theta=46^\circ$) [4] (а) и поля и изолинии плотности на момент времени $t^*=1.5$ мс из расчётов на фиксированной счётной сетке с $N=100$ (б), $N=200$ (г) и $N=400$ (е) и на дробной сетке 1 уровня (в) и 2 уровня (д)