

## Численное исследование динамики кумулятивной детонации при изменении параметров оболочки пиропатрона<sup>1</sup>

Рыбакин Б.П.\* , Кравченко М.Н.\* \*\*, Садринов Д.Р.\*\*

\* МГУ им. Ломоносова, Москва

\*\* РГУ нефти и газа, Москва

Для быстрого и эффективного введения новой скважины в эксплуатацию необходимо создать качественную гидродинамическую связь скважина - пласт. Качество такой связи определяется созданием стабильного притока нефти и газа к скважине. Существует несколько способов создания такой связи, один из них это кумулятивная перфорация. В кумулятивном заряде, энергия взрывчатого вещества (ВВ), благодаря специальной форме корпуса, фокусируется и происходит формирование кумулятивной струи. На Рис. 1 представлен процесс деформирования лайнера и формирования кумулятивной струи.

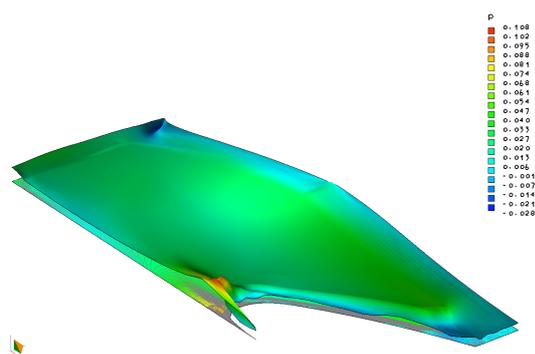


Рис. 1. Процесс формирования кумулятивной струи в пиропатроне

В данной работе исследуется процесс взрыва заряда ВВ в оболочке кумулятивного заряда с последующей деформацией и разрушением корпуса заряда, возникновением кумулятивной струи, проникающей через слои нескольких поверхностей: элемента поверхности корпуса перфоратора и стенки обсадной колонны скважины, и проникание в нефтеносный пласт. Изучается влияние формы пиропатрона на формирование кумулятивной струи и ее скорости [1], [2].

Для проведения исследований было использованы две различные формы пиропатронов. Толщина стенок пиропатронов была одинаковой, толщина лайнеров также совпадала. В качестве материала корпуса была выбрана сталь, лайнеры в обоих случаях были выполнены из алюминия.

Моделирование осуществлялось в двумерной лагранжевой осесимметрической постановке. На основе модифицированного метода Уилкинса [3] была построена, отлажена и протестирована программа решения и создана программа визуализации получаемых решений. Качество построенной сетки оптимизировались по нескольким параметрам. Для четырехугольной сетки были проведены оценки отношения минимального значения определителя матрицы Якоби, вычисляемого для каждого элемента, к максимальному элементу [4]. Кроме того была проведена оценка меры скошенности — отклонения от идеального угла. Меры гладкости, характеризующей изменение размеров соседних ячеек, вычисляются по формуле

$$q_s = \max_i \frac{S}{S_i} \quad (1)$$

где  $S$  - площади ячеек,  $S_i$  площади соседних ячеек. Кроме того, были исследованы отношения длин максимального и минимального ребра ячеек.

Созданный собственный программный код позволяет проводить численные эксперименты в широком диапазоне параметров, проследить в режиме реального времени все этапы развития процесса детонации внутри оболочного устройства с последующим деформированием оболочки пиропатрона и разрушения комплексной мишени. Численные имитационные расчеты дают адекватные результаты, качественно согласующиеся с лабораторными экспериментами. Были проведены многочисленные расчеты, в которых варьировались формы пиропатронов, материалы и углы наклона лайнеров. Проведенные исследования показали зависимость скорости движения кумулятивной струи от формы пиропатронов.

### Список литературы

- [1] Лойцянский Л.Г. Механика жидкости и газа. М.: Дрофа, 2003. 840 с.
- [2] КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВСКРЫТИЯ ПЛАСТА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КУМУЛЯТИВНЫХ ЗАРЯДОВ // Вестник кибернетики. 2018. Vol. 31, No. 3. P. 194–207.
- [3] Wilkins M. L. Computer Simulation of Dynamic Phenomena. Springer, 1999, 264 p.
- [4] Молчанов А. М., Щербakov М. А., Янышев Д. С., Куприков М. Ю., Быков Л. В. Построение сеток в задачах авиационной и космической техники. Учебное пособие. МАИ. 2013, 260 с

<sup>1</sup>Грант РФФИ 18-07-01303