

УДК 519.633.6

Метод опорных операторов для трехмерного моделирования процессов
флюидодинамики на высокопроизводительных системах

И.В. Гасилова¹, Ю.А. Повещенко¹, П.И. Рагимли¹

¹Институт прикладной математики РАН им. М.В. Келдыша

В настоящее время численное моделирование гидромеханических и теплообменных процессов получило широкое распространение и активно используется в фундаментальных и прикладных исследованиях. Благодаря быстрому развитию параллельных вычислительных средств появилась возможность проведения полномасштабных численных экспериментов в сложных, близких к реальным, областях на очень подробных вычислительных сетках больших размерностей. Это позволяет моделировать сильно разномасштабные физические процессы, что в свою очередь требует разработки стабильных и робастных численных методик заданного качества. Целью данной работы является разработка и развитие высокоточных численных методов решения уравнений флюидодинамики с учетом диссипативных процессов на нерегулярных сетках с реализацией на высокопроизводительных системах.

В рамках данной работы обсуждается развитие метод опорных операторов (МОО) [1] для его использования в трехмерном моделировании термогидродинамических процессов. МОО основан на построении сопряженных аппроксимаций основных дифференциальных операторов с использованием интегральных тождеств векторного анализа. Его достоинством является обеспечение численных решений гарантированного качества при использовании неструктурированных сеток общего вида. Метод примечателен также тем, что позволяет строить ротационно-инвариантные разностные схемы, что особенно важно при решении ряда задач напряженного деформирования сред, уравнений Навье-Стокса и т.п. с аппроксимацией твердотельных вращений (вихрей) с нулевой энергией деформации. Численная методика на основе МОО реализована в программного комплекса MARPLE3D [2]. Проведено тестирование и масштабирование разработанного программного обеспечения на модельных задачах [3], показана робастность и эффективность использованного алгоритма при многопроцессорном счете.

Разработанный программный модуль адаптируется для его использования при решении задач освоения месторождений с газогидратными отложениями. В работе рассмотрена система массово-энергетических балансов, описывающая динамику флюидов в пористой среде, содержащей газогидратные отложения, выведено диссипативное "гидратное" уравнение, определяющее «термодинамическую» эволюцию параметров

системы [4]. Проводится серия практических расчетов для Мессояхского газогидратного месторождения. На рисунке 1 представлены результаты трехмерного моделирования депрессионной воронки, образующейся у скважины газогидратного месторождения. Моделирование показывает эффект нарастания давления флюида вблизи скважины и позволяет установить наиболее важные факторы, определяющие динамику этого процесса.

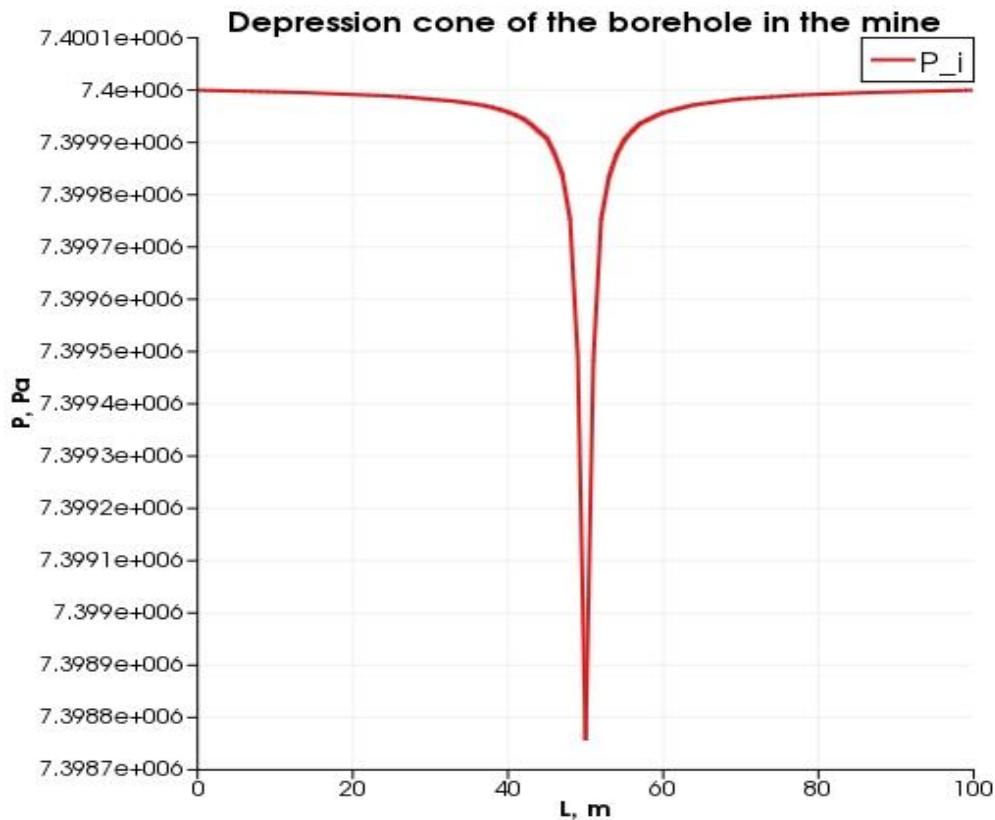


Рис. 1. Зависимость давления в пласте (Па) от расстояния до скважины (м)

Литература

1. A. A. Samarskii, A. V. Koldoba, Y. A. Poveshchenko, V. F. Tishkin, and A. P. Favorskii. Difference Schemes on Irregular Meshes. – JSC 'Kriteriy', 220027, Minsk, pr. F.Scoriny, 1999.
2. V. A. Gasilov and [et al.] The package of applied programs MARPLE3D for the modelling at high performance computers pulsed magnetically accelerated plasma // Preprint KIAM RAS No. 20, 125047, Russia, Moscow, 2011.
3. A. A. Samarskii and I. M. Sobol. The examples of the numerical computing of temperature waves // Journal of Computational Mathematics and Mathematical Physics, 3(4):702-718, June 1963.
4. Повещенко О.Ю., Гасилова И.В. [и др.] Об одной модели флюидодинамики в пористой среде, содержащей газогидраты // Математическое моделирование. – 2013. – Т. 25, № 10. – С. 32–42.