

## О возможности применения на GPU предобусловливателя AIPS в качестве альтернативы ILU(0) в задаче гидродинамического моделирования нефтегазовых месторождений

А.С. Добровольцев, М.А. Сохатский, А.В. Юлдашев

Уфимский университет науки и технологий

Трехмерное гидродинамическое моделирование нефтегазовых месторождений – ресурсоемкая задача, вычислительным ядром которой является решение систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ). В целях ускорения расчетов в индустриальные гидродинамические симуляторы внедряются оптимизированные методы решения СЛАУ, а также параллельные вычислительные технологии. Например, гидродинамический симулятор «РН-КИМ» [1], используемый в университете в целях обучения и научных исследований, имеет многопоточную версию для рабочих станций с многоядерными процессорами (CPU), а также адаптирован для работы на кластерных системах. Одним из новшеств является возможность ускорения гидродинамических расчетов за счет использования графических процессоров (GPU) на этапе решения СЛАУ.

Ранее проведенные исследования [2] показали возможность применения предобусловливателя AIPS, аппроксимирующего обратную матрицу на основе степенного разложения в ряд Неймана, в качестве альтернативы классическому алгоритму алгебраического многосеточного метода на первой ступени двухступенчатого предобусловливателя CPR [3]. Благодаря нетрудоёмкой процедуре построения, а также ориентированному на архитектуру CUDA параллельному алгоритму пакетного решения линейных систем с трехдиагональными матрицами, метод AIPS обеспечивает приемлемую масштабируемость процесса итерационного решения СЛАУ с двухступенчатым предобусловливателем на вычислительной системе с несколькими GPU.

На текущем этапе исследований рассматривается возможность применения предобусловливателя AIPS в качестве альтернативы методу ILU(0) – неполного LU-разложения без заполнения, который используется как одноступенчатый предобусловливатель либо на второй ступени CPR. Предпосылкой является то, что ILU(0) имеет низкий ресурс параллелизма и, несмотря на наличие модификаций, в том числе реализованных в оптимизированных библиотеках, например, cuSPARSE от NVIDIA, быстродействие ILU(0) на GPU зачастую «проседает» относительно CPU.

Проведена адаптация алгоритмов построения и применения предобусловливателя AIPS с учетом наличия мелкозернистой блочности (2x2, 3x3 или более в зависимости от используемой модели фильтрации) в структуре матриц, характерных для задачи гидродинамического моделирования нефтегазовых месторождений. В параллельном алгоритме пакетного решения линейных систем с трехдиагональными матрицами задействован метод блочной прогонки.

В итоге удалось достичь существенного ускорения при решении набора СЛАУ с размерностью от 2 до 18 миллионов на GPU NVIDIA A100 (CUDA Toolkit 11.8). Применение AIPS обеспечило снижение времени решения СЛАУ до 3.6 раз относительно ILU(0) в режиме одноступенчатого предобусловливателя, а также до 1.5 раз в качестве альтернативы на второй ступени CPR.

### Литература

1. Гидродинамический симулятор РН-КИМ. URL: <https://rn.digital/rnkim> (дата обращения: 01.02.2025).
2. Юлдашев А.В., Репин Н.В., Спеле В.В. Параллельный предобусловливатель на основе степенного разложения обратной матрицы для решения разреженных линейных систем на графических процессорах // Вычислительные методы и программирование. 2019. Т. 20, № 4. С. 444–456. DOI: 10.26089/NumMet.v20r439.
3. Wallis J.R., Kendall R.P., Little T.E. Constrained residual acceleration of conjugate residual methods // Proc. SPE Reservoir Simulation Symposium. 1985. Article SPE-13536-MS. P. 415–428. DOI: 10.2118/13536-MS.