

Методы декомпозиции для решения трехмерных задач трехфазной фильтрации жидкости на графических вычислительных системах

А.В. Цапаев

Учреждение Российской академии наук Институт механики и машиностроения Казанского научного центра РАН

Рассматривается трехфазная изотермическая фильтрация нефти, воды и газа, подчиняющаяся линейному закону Дарси. Считается, что пласт, нефть и вода несжимаемы и отсутствует массообмен между нефтяной и газовой фазой. Гравитационные силы не учитываются. Тогда справедлива следующая система уравнений:

$$\operatorname{div}(\mathbf{q}_w) + m\partial S_w / \partial t = 0,$$

$$\operatorname{div}(\mathbf{q}_o) + m\partial S_o / \partial t = 0,$$

$$\operatorname{div}(\rho_g \mathbf{q}_g) + m\partial(\rho_g S_g) / \partial t = 0,$$

$$\mathbf{q}_\alpha = -(f_\alpha k / \mu_\alpha) \operatorname{grad}(p), (\alpha = o, w, g).$$

Здесь $p = p(x, y, z)$ – давление, индексы “o”, “w”, “g” соответствуют нефти, воде и газу, \mathbf{q}_α – вектор скорости фильтрации фазы α , S_α – насыщенность пласта фазой α , $S_o + S_w + S_g = 1$, f_α – относительные фазовые проницаемости, k – абсолютная проницаемость, μ_α – динамическая вязкость фазы, ρ_g – плотность газа в пластовых условиях, m – пористость.

Для поставленной задачи разработаны два метода декомпозиции области. Первый метод – для определения поля давлений, второй – для определения поля насыщенностей. Декомпозиция сеточных систем уравнений по давлению и насыщенности основана на независимом решении уравнений на сгущающихся участках и новом типе согласования этих решений с решением на грубой сетке. Согласование для уравнений по давлению достигается за счет введения дополнительных грубых сеток на сгущающихся участках. Согласование для уравнений по насыщенности достигается за счет сочетания элементов явной и неявной схем.

На основе предложенных методов декомпозиции построены алгоритмы для решения задачи на графических вычислительных системах.

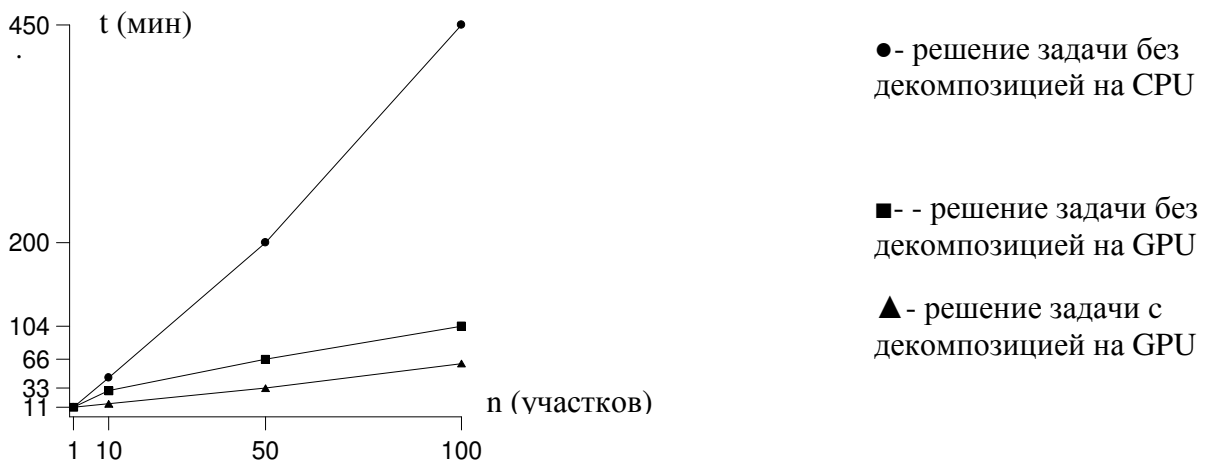


Рис.1. Время решения задачи с декомпозицией области по давлению и насыщенности на CPU и GPU