

УДК 519.633, 519.677

Математическое моделирование динамики распространения температуры в пласте с нагнетательной скважиной и трещиной гидроразрыва с помощью метода Галеркина с разрывными базисными функциями*

Масягин В.Ф.¹, Пескова Е.Е.¹

Национальный исследовательский Мордовский государственный университет¹

На сегодняшний день актуальной задачей является увеличение интенсивности нефтедобычи. Степень выработки запасов существенно зависит не только от правильного регулирования разработки с целью максимального извлечения остаточных запасов углеводородов, а также и от полноты и достоверности информации о пласте и скважине. Одними из важнейших источников информации являются гидродинамические исследования пластов и скважин. Но для более полного обеспечения информативности гидродинамических методов исследований скважины, особенно для скважин с гидравлическим разрывом пласта необходимо совместное рассмотрение гидродинамического состояния системы «скважина-пласт» с температурным полем или термометрией [1]. Методы термометрии скважин и пластов в значительной степени могут улучшить систему применяемых ныне различных вариантов разработки нефтяных и газовых месторождений в направлении увеличения нефтеотдачи пластов.

В работе рассматривались процессы фильтрации несжимаемой жидкости в слабосжимаемом коллекторе. Таким образом, для нахождения давления возможно записать параболическое уравнение [2]. После нахождения давления, а следовательно, и скорости фильтрации жидкости, температура находится из дифференциального уравнения конвективного переноса тепла.

Для решения уравнений диффузионного типа и уравнений конвекции-диффузии широко применяется метод Галёркина с разрывными базисными функциями или Discontinuous Galerkin Method (DGM) [3], который характеризуется высоким порядком точности полученного решения [4–8].

В настоящей работе представлен численный алгоритм для моделирования динамики температурного поля в системе «скважина-трещина-пласт» с использованием метода Галёркина с разрывными базисными функциями на разнесенных сетках [9]. Данный алгоритм реализован с использованием технологии параллельного программирования MPI [10]. Численный алгоритм верифицировался с помощью решения модельной задачи. Результаты показали адекватную картину изменения температурного поля для заданных начально-краевых условий, что говорит о применимости предложенного численного алгоритма для решения данного класса задач.

*Работа выполнена при поддержке гранта Президента РФ для молодых российских ученых — кандидатов наук (МК-2007.2018.1).

Литература

1. Малышев А.Г. и др. Анализ влияния технологических факторов и механических свойств горных пород на эффективность ГРП // В. кн. «Нефть Сургута». -М.: Нефтяное хозяйство. 1997. С. 224–237.
2. Васильев В. И., Васильева М. В., Никифоров Д. Я. Решение задач однофазной фильтрации методом конечных элементов на вычислительном кластере // Вестник Северо-Восточного федерального университета им. М.К. Аммосова. 2016. Т. 56, № 6. С. 31–40.
3. Cockburn B. An Introduction to the Discontinuous Galerkin Method for Convection - Dominated Problems // Advanced Numerical Approximation of Nonlinear Hyperbolic Equations Lecture Notes in Mathematics. 1998. Vol. 1697. P. 151–268.
4. Cockburn B., Shu C.-W. The Local Discontinuous Galerkin Method for Time-Dependent Convection-Diffusion Systems // SIAM J. Numer. Anal. 1998. Vol. 35, Issue 6. P. 2440–2463.
5. Kirby R., Karniadakis G. Selecting the Numerical Flux in Discontinuous Galerkin Methods for Diffusion Problems // Journal of Scientific Computing. 2005. Vol. 22. P. 385–411
6. Huang C., Stynes M. A direct discontinuous Galerkin method for a time-fractional diffusion equation with a Robin boundary condition // Applied Numerical Mathematics. 2019. Vol. 135. P. 15–29.
7. Pani A. K., Yadav S. An hp-Local Discontinuous Galerkin method for Parabolic Integro-Differential Equations // Journal of Scientific Computing. 2011. Vol. 46, Issue 1. P. 71–99.
8. Song L., Zhang S. Symmetric interior penalty Galerkin approaches for two-dimensional parabolic interface problems with low regularity solutions // Journal of Computational and Applied Mathematics. 2018. Vol. 330. P. 356–379.
9. Жалнин Р. В., Ладонкина М. Е., Масыгин В. Ф., Тишкин В. Ф. Решение задач о нестационарной фильтрации вещества с помощью разрывного метода Галеркина на неструктурированных сетках // Журнал вычислительной математики и математической физики. 2016. Т. 56, № 6. С. 267–279.
10. Жалнин Р. В., Масыгин В. Ф., Пескова Е. Е. Построение параллельного вычислительного алгоритма на основе разрывного метода Галеркина для решения задач конвективного теплообмена на разнесенных неструктурированных сетках // Журнал СВМО. 2018. Т. 20, № 4. С. 448–459.

MSC2010 65M60

**Mathematical modeling of the dynamics of temperature
distribution in a vertical well with hydraulic fracture
using the discontinuous Galerkin method**

V.F. Masyagin¹, E.E. Peskova¹

National Research Ogarev Mordovia State University¹