**Численное моделирование теплопереноса в неоднородных породах геотермальной циркуляционной системы**

***Сахаров Павел Сергеевич***

*Студент*

*Московский государственный университет имени М.В.Ломоносова*

*Физический факультет, Москва, Россия*

*E-mail:* [*sakharovp@mail.ru*](mailto:sakharovp@mail.ru)

В настоящее время растет интерес к проектам, связанным с использованием альтернативных источников энергии, в том числе геотермальной энергии [4,2]. Геотермальная энергия представляет собой тепло, находящееся в недрах Земли. По различным оценкам, этой энергии достаточно, чтобы обеспечить человечество на многие тысячелетия вперед [4], однако, на сегодняшний день добыча и использование тепла недр Земли в качестве источника энергии недостаточно развиты [2].

Всю геотермальную энергию можно разделить на две большие группы: гидротермальную и петротермальную. Гидротермальная энергия представляет собой тепло, заключенное в подземных флюидах (вода, газ, их смесь), которые находятся в естественных подземных коллекторах. Добыча таких ресурсов сравнительно проста, однако они составляют малую часть от всех геотермальных ресурсов. Петротермальная энергия представляет собой тепло, заключенное в непроницаемых или слабопроницаемых сухих горных породах. Эти ресурсы широко распространены, но их добыча требует построения более сложных систем [1,3].

Для добычи геотермальных ресурсов строятся геотермальные циркуляционные системы (ГЦС) [4], состоящие как минимум из двух скважин (нагнетательной и добывающей), между которыми движется теплоноситель, который выносит тепло недр на поверхность. В случае добычи петротермальных ресурсов между скважинами путем стимуляций увеличивается проницаемость пород либо впервые создается проницаемая область [1,3].

В настоящей работе рассматривается упрощенная двумерная модель тепломассопереноса в пласте между скважинами. Эволюция поля температуры происходит под влиянием двух механизмов: теплопроводности скелета горной породы и конвективного переноса тепла из-за текущего в порах породы теплоносителя. Скорость течения теплоносителя описывается уравнением Дарси. Перераспределение давления теплоносителя описывается с помощью уравнения неразрывности потока сжимаемой жидкости [5]. Решение полученной системы уравнения проводилось численно в среде GNU Octave. В работе изучалось влияние неоднородности проницаемости породы на эволюцию полей давления и температуры. Распределения неоднородностей в двумерной области было получено с использованием методов геостатистики. Показано, что пространственная неоднородность породы может сказываться на тепломассопереносе в ГЦС.

**Литература**

1. Гнатусь Н.А. Петротермальная энергетика России Основные тенденции в использовании невозобновляемых природных энергетических ресурсов // Технологии мира № 07(45) сентябрь 2012

2. Jialing Z., Kaiyong H., Xinli L., Xiaoxue H., Ketao L., Xiujie W. A review of geothermal energy resources, development, and applications in China: Current status and prospects // Energy 93 (2015) 466-483

3. Li, S., Wang, S., Tang, H. Stimulation mechanism and design of enhanced geothermal systems: A comprehensive review // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2022. V. 155 (111914)

4. Shyi-Min L. A global review of enhanced geothermal system (EGS) // Renewable and Sustainable Energy Reviews 81 (2018) 2902–2921

5. Zhihong L., Yulong Z., Qiliang C., Yu S. The injection-production performance of an enhanced geothermal system considering fracture network complexity and thermo-hydro-mechanical coupling in numerical simulations // Sci Rep 13, 14558 (2023).