

УДК 620.91:004.94

## Комп'ютерне моделювання температурного поля термальної води в пористому пласті

І. Е. Фуртат<sup>1</sup>, О. М. Кравчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна, i.e.furtat@gmail.com

<sup>2</sup>студ. НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського», м. Київ, Україна, o.m.kravchuk@ukr.net

*Анотація.* У даній статті представлені результати комп'ютерного моделювання температурного поля термальної води в пористому пласті. Дослідження проводились за допомогою програмного забезпечення SolidWorks Flow Simulation. У роботі описана методика побудови геометричної моделі та розрахункової сітки. Для верифікації відсутності значного впливу теплопровідності пласти на розподіл температури термальної води проведені додаткові дослідження. Отримані графічні залежності розподілу температури при заданих параметрах та умовах експлуатації показали, що з часом відбувається «втягування» температурного поля в напрямку підйомних свердловин. Встановлено, що ефективність даної геотермальної циркуляційної системи погіршується через 24 роки. У подальших дослідженнях буде проведено зіставлення отриманих даних з результатами чисельного моделювання. Результати можуть бути використані при вдосконаленні технології видобутку та використання геотермальної енергії.

*Ключові слова:* комп'ютерне моделювання, геотермальна циркуляційна система, температурне поле, однофазна фільтрація.

**Вступ.** Дефіцит органічного палива є однією з причин енергетичної кризи в Україні. Окрім цього, паливно-енергетичні ресурси є основним джерелом шкідливого впливу на навколишнє середовище. Одним з перспективних напрямків вирішення даних проблем є використання геотермальних ресурсів. За допомогою термальної підземної води сьогодні можна опалювати не тільки поодинокі будинки та підприємства, але й цілі міста, що дозволить уникнути залежності від постійного зростання цін на нафту й газ, а також покращити екологічну ситуацію. У багатьох європейських країнах використання геотермальних джерел енергії як важливої альтернативи органічному паливу впродовж останніх років стало пріоритетом енергетичної політики.

**Актуальність дослідження.** Україна має значний потенціал геотермальної енергії. Проте практичне використання цих запасів дуже невелике. Одна з ключових проблем – відсутність достатньої кількості наукових даних про зміну температури термальної води в процесі експлуатації геотермальної циркуляційної системи (ГЦС). Оптимальним рішенням при дослідженні теплових процесів у водоносному пласті є застосування математичного моделювання, яке дозволяє отримати необхідні результати за короткий термін та з мінімальними затратами.

**Останні дослідження та публікації.** Моделюванню процесів теплопереносу в геотермальних системах присвячена велика кількість робіт, серед яких роботи [1-3]. Значна розбіжність отриманих результатів пов'язана зі складністю гідродинамічних, теплообмінних і фільтраційних процесів у свердловинах підзе-

мних геотермальних циркуляційних систем та потребує проведення додаткових досліджень.

**Формулювання цілей статті.** Метою роботи є моделювання температурного поля геотермального пласту при закачуванні в нього охолоджувальної рідини за допомогою пакету SolidWorks Flow Simulation. Отримані дані необхідні для визначення основних технологічних параметрів геотермальної системи (зміни температури) при її тривалій експлуатації.

**Основна частина.** Геометрична модель геотермального пласту побудована в програмі SolidWorks та є паралелепіпедом розміром  $135 \times 90 \times 6$ . Реальна модель зменшена в масштабі 1:20. Пласт з'єднаний з шістьма вертикальними свердловинами, за допомогою яких відбувається транспортування термальної води: три свердловини для підйому, інші три – нагнітання теплоносія до пласта.

Важливим етапом комп'ютерного моделювання є створення розрахункової сітки. У системі SolidWorks Flow Simulation розрахункова сітка створюється автоматично. Сітка повністю визначається установками поділу – найменшим розміром комірок, які можуть вийти в результаті поділу. Для збільшення точності розрахунків у місцях підйомної та нагнітальної свердловин створена додаткова локальна сітка. На рис. 1 наведена розрахункова сітка, виконана в середовищі SolidWorks Flow Simulation.

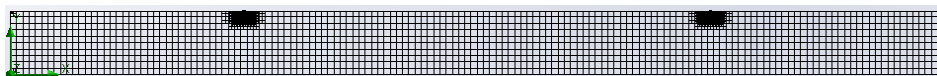


Рис. 1. Розрахункова сітка

Задача нестационарна. Тверді межі розрахункової області задані як адіабатні стінки ( $q = 0$ ). Тиск у пласті 53 МПа, пористість 10 %, початкова температура пласту  $167^\circ\text{C}$ . Максимальна витрата теплоносія у свердловині  $0,075 \text{ м}^3/\text{с}$ .

При моделюванні теплопровідністю пласту нехтували, оскільки вплив її на розподіл температури теплоносія є дуже малим. Для верифікації було виконано моделювання геотермального пласту при наведених вище умовах. Як видно з рис. 2 значної розбіжності результатів не спостерігається.

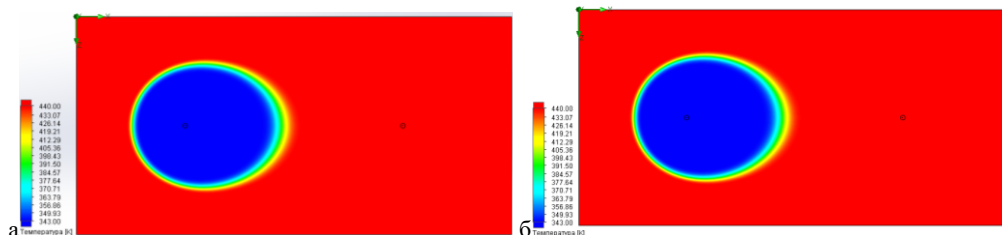


Рис. 2. Температурне поле термальної води в пласті  
а – з врахування теплопровідності пласту, б – без врахування теплопровідності

У зв'язку з тим, що з пласту відбирається нагріта вода, а під дією зовнішнього тиску закачується холодна, у ньому виникають нестационарні поля температури та тиску.

У початковий період часу в пласті реалізується природний фільтраційний рух нагрітої рідини з температурою 167 °С. Потім у свердловини закачують рідину з температурою 70 °С та витратою 0,075 м<sup>3</sup>/с. Розподіл температури в геотермальній циркуляційній системі починає змінюватися. Біля нагнітальних свердловин утворюється циліндрична зона охолодження, протяжність якої з плином часу поступово збільшується.

З часом вся область пласту між підйомними та нагнітальними свердловинами розділяється на три зони: біля нагнітальних свердловин геотермальна циркуляційна система має температуру 70 °С, біля підйомних свердловин – 167 °С, – а в проміжній зоні температура змінюється від 70 °С до 167 °С. При цьому протяжність холодної зони постійно збільшується. Дослідження проводилися доки температура в підйомній свердловині не почала зменшуватися.

Результати дослідження розподілу температури теплоносія через 10 та 24 роки роботи геотермальної циркуляційної системи представлено на рис. 3-4. З результатів моделювання видно, що з часом відбувається «втягування» температурного поля в напрямку підйомних свердловин.

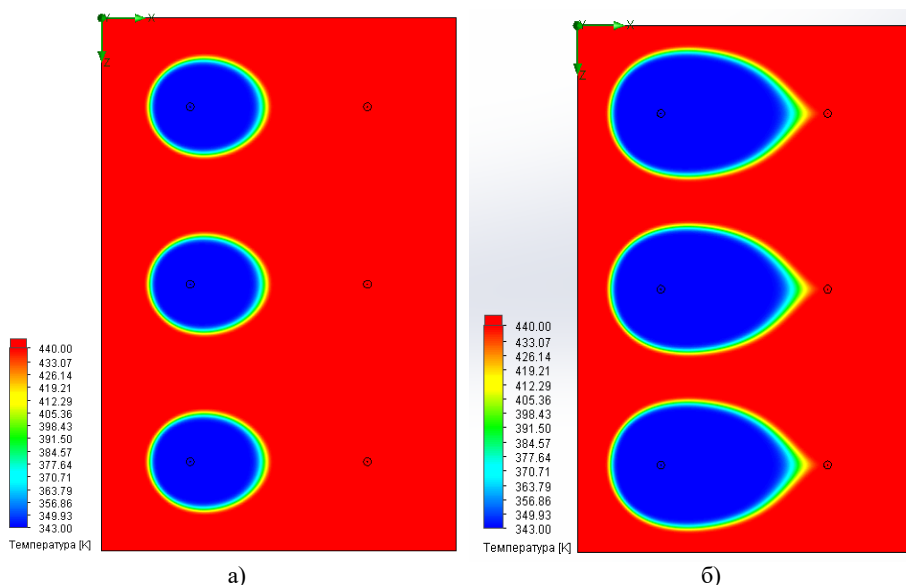


Рис. 3. Розподіл температури теплоносія в геотермальному пласті (вигляд зверху)  
а – після 10 років роботи ГЦС, б – після 24 років роботи ГЦС.

При досягненні зниження температурного фронту підйомної свердловини, теплові показники установки погіршуються. У даному дослідженні це відбувається через 24 роки.

**Висновки.** Отриманий розподіл температурного поля термальної води та проведений аналіз процесу її охолодження. Встановлено, що ефективність даної геотермальної циркуляційної системи погіршується через 24 роки. Спостерігається асиметричність нестационарного температурного поля теплоносія в напрямку підйомних свердловин.

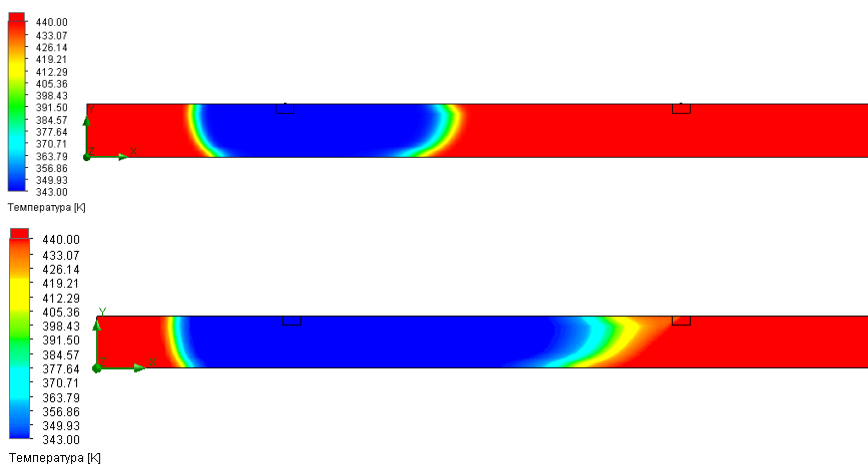


Рис. 4 – Розподіл температури теплоносія в геотермальному пласті (вид збоку)  
а – після 10 років роботи ГЦС; б – після 24 років роботи ГЦС.

**Перспективи подальших досліджень.** В подальших дослідженнях буде проведено визначення розподілу температурного поля води в пласті чисельним методом з метою верифікації результатів комп’ютерного моделювання.

#### Література

1. Сапрыкина Н. Ю. Математическое моделирование изменения температурного поля грунта в режиме работы ТНУ / Н. Ю. Сапрыкина, П. В. Яковлев // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – №1(11). – с. 69-73.
2. Резакова Т. А. Динамика температурного поля в подземном пористом пласте при закачке и откache геотермальной жидкости / Т. А. Резакова // Пром. теплотехника. – 2010. – № 6 – с. 71-75.
3. Авдонин Н. А. О различных методах расчета температурного поля пласта при тепловой инжекции / Н. А. Авдонин // Известия ВУЗов.– 1964. – №8 – с. 38-46.

#### References

1. Saprykina N. Yu., Yakovlev P. V. “Matematycheskoe modelirovanie izmeneniya temperaturnogo polia hruntf v rezhyme raboty TNU.” *Inzhenerno-stroitelnyi vestnik Prykaspia*, Iss. 1(11), 2015, pp. 69-73.
2. Rezakova T. A. “Dinamika temperaturnogho polia v podzemnom poristom plaste pri zakachke i otkachke heotermalnoi zhidkosti.” *Promyshlennaia teplotekhnika*, no.6, 2010, pp. 71-75.
3. Avdonin N. A. “O razlichnykh metodakh rascheta temperaturnogo polia plasta pri teplovoi inzheksii.” *Izvestiya VUZov*, no.8, 1964, pp. 38-46.

УДК 620.91:004.94

## Компьютерное моделирование температурного поля термальной воды в пористом пласте

І. Э. Фуртат<sup>1</sup>, О. М. Кравчук<sup>2</sup>

<sup>1</sup>к.т.н., доц. НТУУ «КПИ им. И. Сикорского», г. Киев, Украина, i.e.furtat@gmail.com

<sup>2</sup>студ. НТУУ «КПИ им. И. Сикорского», г. Киев, Украина, o.m.kravchuk@ukr.net

*Аннотация. В данной статье представлены результаты компьютерного моделирования температурного поля термальной воды в пористом пласте. Исследования проводились с помощью программного обеспечения SolidWorks Flow Simulation. В работе описана методика построения геометрической модели и расчётной сетки. Для верификации отсутствия значительного влияния теплопроводности пласта на распределение температуры термальной воды проведены дополнительные исследования. Полученные графические зависимости распределения температуры при заданных параметрах и условиях эксплуатации показали, что со временем происходит «вытягивание» температурного поля в направлении подъёмных скважин. Установлено, что эффективность данной геотермальной циркуляционной системы ухудшается через 24 года. В дальнейших исследованиях будет проведено сопоставление полученных данных с результатами численного моделирования. Результаты могут быть полезными при совершенствовании технологии добычи и использования геотермальной энергии.*

*Ключевые слова: компьютерное моделирование, геотермальная циркуляционная система, температурное поле, однофазная фильтрация.*

UDC 620.91:004.94

## Computer Modelling of Temperature Field of Thermal Water in Porous Reservoir

I. Furtat<sup>1</sup>, O. Kravchuk<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Candidate of Engineering Sciences NTUU "Igor Sikorsky KPI", Kyiv, Ukraine, i.e.furtat@gmail.com

<sup>2</sup>student NTUU "Igor Sikorsky KPI", Kyiv, Ukraine, o.m.kravchuk@ukr.net

*Abstract. The article presents the results of computer simulation of the temperature field of thermal water in a porous layer. Researches were conducted in the program SolidWorks Flow Simulation. In the work, the method of construction of geometric models and computational grid is described. For verification of the absence of significant effect of the layer, heat conduction on temperature distribution of thermal water there is an additional research. The resulting graphical dependency of the temperature distribution at the given parameters and operating conditions have shown that over time there is a "pull" of the temperature field in the direction of lifting holes. It is established that the efficiency of geothermal circulation system deteriorating after 24 years. In further research will be carried out comparing the obtained data with the results of numerical modelling. The results can be used to improve the production technology and the use of geothermal energy.*

*Keywords: computer simulation, geothermal circulation system, temperature field, single-phase filtration.*

*Надійшла до редакції 18 квітня 2017 р.*