

УДК 622.233 : 551.49

А. Ю. Дреус¹, К. Є. Лисенко¹, А. К. Судаков²

¹ Дніпропетровський національний університет ім. О. Гончара, Дніпропетровськ, Україна

² ДВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпропетровськ, Україна

Розрахунок параметрів розтеплення криогенно-гравійного елемента фільтру бурових свердловин

В роботі запропоновано методику розрахунку параметрів процесу розтеплення криогенно-гравійного елемента фільтру при обладнанні бурової свердловини. Наведено приклад розрахунку часу фазового перетворення поверхні фільтру та порівняльну характеристику результатів теоретичних та лабораторних досліджень.

Ключові слова: фільтр, свердловина.

Вступ. В роботах [1, 2] запропоновано технологію виготовлення криогенно-гравійних елементів (КГЕ) гравійного фільтра (КГФ) блокової конструкції, який призначений для обладнання водоприймальних частин бурових свердловин питного та господарського водопостачання. Визначення раціональних параметрів проектування та обладнання КГФ свердловин пов'язано з необхідністю вивчення процесів тепло - та масообміну в них при наявності фазових переходів. Умови теплообміну фільтру з навколишнім середовищем суттєво впливають на інтенсивність процесу його розтеплення, що необхідно враховувати під час обладнання свердловин. При дослідженні тепло - та масообмінних процесів в КГЕ фільтрів використовуються як експериментальні так і теоретичні методи, зокрема методи математичного моделювання.

В роботах [3, 4] було запропоновано математичну модель теплофізичних процесів в пористому середовищі корпусу фільтра, на основі диференціальних рівнянь теплопереносу з урахуванням фазових перетворень «вода-лід» під час процесу промерзання – розтеплення КГЕ та виконано чисельне дослідження режимних параметрів виготовлення КГЕ фільтрів [5]. При обладнанні бурових свердловин КГФ процес розтеплення починається на його периферійній поверхні. Тому з практичної точки зору, важливим є визначення часу початку фазового переходу на поверхні КГЕ фільтра. Використання чисельних методів, для розв'язання цієї задачі не завжди є зручним, оскільки потребує багато зусиль на організацію обчислень. Тому для визначення параметрів технології обладнання КГФ бурових свердловин більш доцільним є використання спрощених наближених розрахункових методик.

Метою даної роботи є розробка спрощеної методики визначення часу фазового перетворення на поверхні КГЕ фільтру.

Постановка задачі. Враховуючи досвід лабораторних та стендових досліджень [1,2], що виконано у Національному гірничому університеті, приймемо:

1. КГЕ фільтра представляє собою дисперсне водонасичене середовище, яке складається із гравію, води та льоду (згідно технології виготовлення);
2. з точки зору технології обладнання свердловин КГФ, процесами масообміну у мерзлому КГЕ фільтра знехтуємо;
3. в якості моделі КГЕ фільтра розглядаємо полий, однорідний, ізотропний циліндр з внутрішнім R_1 та зовнішнім R_2 радіусами (рис. 1);
4. температура свердловинної рідини (технічна вода) та коефіцієнти теплообміну є незмінними у часі;
5. враховуючи конструкцію КГФ у буровій свердловині (рис. 1), теплообмін з навколишнім середовищем відбувається тільки в радіальному напрямку.

Тоді математичну постановку задачі процесу розтеплення КГЕ фільтру запишемо як одновимірну задачу теплообміну полого необмеженого циліндру з урахуванням обміну з навколишнім середовищем [6]

$$\frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = a \left(\frac{\partial^2 T(r, \tau)}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right), \tau > 0, R_1 < r < R_2, \quad (1)$$

$$T(r, 0) = f(r) = T_0, \quad (2)$$

$$\frac{\partial T(R_1, \tau)}{\partial r} + \frac{\alpha_1}{\lambda} [T_\infty - T(R_1, \tau)] = 0, \quad (3)$$

$$-\frac{\partial T(R_2, \tau)}{\partial r} + \frac{\alpha_2}{\lambda} [T_\infty - T(R_2, \tau)] = 0,$$

де T – температура, a , λ – коефіцієнти температуропровідності та теплопровідності КГЕ (мерзлого середовища) відповідно, T_0 - початкова температура КГЕ фільтру, α_1, α_2 - коефіцієнти теплообміну КГЕ з навколишнім середовищем відповідно на внутрішній та зовнішній поверхнях фільтру, які визначаються в залежності від умов теплообміну [8], T_∞ - температура навколишнього середовища.

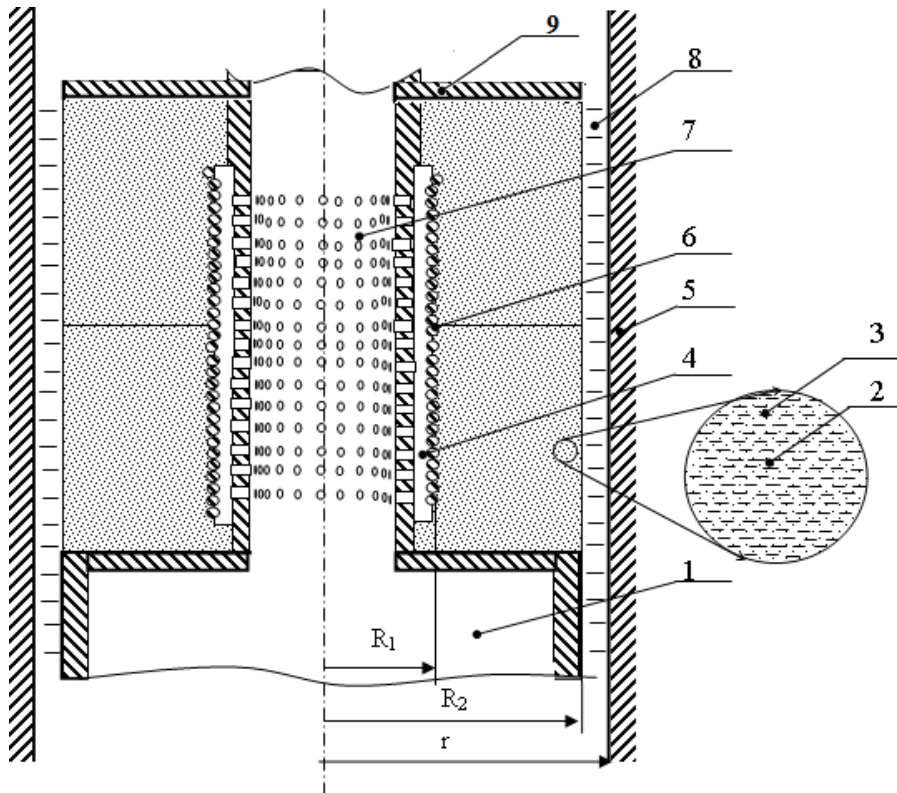


Рис. 1. Схема робочої частини одношарового кріогенно-гравійного фільтру в свердловині
 1 - відстійник; 2 – матеріал гравійного обсипання; 3 – мінералов'язучий матеріал; 4 - підкладні прутки;
 5 – стінки свердловини; 6 – дрютяна обмотка; 7 – трубчатий каркас фільтру; 8 – свердловина рідина, 9 – металеві ущільнювачі.

Аналітичне розв'язання задачі нестационарного теплообміну для дисперсного середовища можливо для обмеженого кола задач. Приклади розв'язання задач теплообміну методом Фур'є та операційним методом представлені в роботах [6,7]. Розглянемо процес розтавлення КГЕ з урахуванням прийнятих припущень.

Згідно [6], розв'язання задачі (1) – (3) має вигляд

$$\vartheta(r, \tau) = T_\infty - T(r, \tau) = \sum_{n=1}^{\infty} E_n e^{-ak^2\tau} W_0(k_n, r), \quad (4)$$

де постійні інтегрування E_n визначаються з початкової умови (2)

$$E_n = \frac{\pi^2 k_n^2}{2} \left[\frac{\alpha_2}{\lambda} J_0(k_n R_2) - k_n J_1(k_n R_2) \right]^2 \int_{R_1}^{R_2} r f_1(r) W_0(k_n, r) dr$$

$$\left\{ \left(k_n^2 + \frac{\alpha_2^2}{\lambda^2} \right) \left[\frac{\alpha_1}{\lambda} J_0(k_n R_1) + k_n J_1(k_n R_1) \right]^2 - \left(k_n^2 + \frac{\alpha_1^2}{\lambda^2} \right) \left[\frac{\alpha_2}{\lambda} J_0(k_n R_2) - k_n J_1(k_n R_2) \right]^2 \right\}^{-1}, \quad (5)$$

де $W_0(k_n, r)$ - лінійна комбінація функцій Бесселя [9] першого роду $J_0(x)$ і другого роду $Y_0(x)$:

$$W_0(k_n, r) = - \left[\frac{\alpha_1}{\lambda} Y_0(k_n R_1) + k_n Y_1(k_n, r) \right] J_0(k_n r) +$$

$$+ \left[k_n J_1(k_n R_1) + \frac{\alpha_2}{\lambda} J_0(k_n R_1) \right] Y_0(k_n r) \quad (6)$$

В (4) – (6) k_n - корені характеристичного рівняння

$$\left[\frac{\alpha_1}{\lambda} J_0(kR_1) + kJ_1(kR_1) \right] \left[\frac{\alpha_2}{\lambda} Y_0(kR_2) - kY_1(kR_2) \right] -$$

$$- \left[\frac{\alpha_2}{\lambda} J_0(kR_2) - kJ_1(kR_2) \right] \left[\frac{\alpha_1}{\lambda} Y_0(kR_1) + kY_1(kR_1) \right] = 0, \quad (7)$$

Вираз (4) записано у вигляді нескінченного ряду, для обчислення якого потрібно виконати додатково складні математичні операції (обчислення інтегралів, функцій Бесселя, розв'язання трансцендентних рівняння (7) тощо), тому для оцінки параметрів фільтру при інженерних розрахунках вираз (4) використовувати не зручно.

Зазначимо, що власні числа задачі k_n збільшуються по мірі збільшення індексу n , відповідно кожен наступний член ряду (4) менше попереднього. Для великих значень τ таке зменшення стає суттєвим, що робить можливим знехтувати старшими членами ряду. Тоді (4) запишемо у вигляді

$$T(R_2, \tau) = T_\infty - (T_\infty - T_0) \cdot b \cdot e^{-ak_1^3 \tau}, \quad (8)$$

де постійна $b = E_1 \cdot W_0(k_1, R_2)$, E_1 - константа, яка визначається із (5) при $n = 1$, k_1 - перший корінь характеристичного рівняння (7).

Постійні, що входять в (8) визначимо в залежності від особливостей експлуатації КГФ. Технологія обладнання бурових свердловин КГФ здійснюється в два етапи. Перший етап полягає у приєднанні КГЕ фільтру до фільтрової колони. Ця операція здійснюється на поверхні в повітряному середовищі. Другий етап – транспортування зібраного КГФ по стовбуру свердловини і приведення його в робочий стан. Тому константи k_1 і b , які входять в (8) розраховані відповідно до двох етапів експлуатації КГФ в табл. 1.

Таблиця 1 – Значення констант у виразі (8)

Етапи розморожування фільтру	$k_1, \frac{1}{m}$	b
Перший етап	39	0,635
Другий етап	51,2	0,24

Підставивши в (8) замість $T(R_2, \tau)$ температуру фазового переходу T_f і виразивши τ , отримаємо вираз для визначення часу фазового переходу τ_f на зовнішній поверхні КГЕ фільтру

$$\tau_f = -\frac{1}{60} \cdot \frac{1}{a \cdot k_1^2} \cdot \ln \left(\frac{T_\infty - T_f}{b \cdot (T_\infty - T_0)} \right), \quad (9)$$

Результати розрахунку. Найбільший інтерес представляє визначення температури фазового переходу поверхні КГЕ фільтру на другому етапі, тому що процес розтавлення найбільш інтенсивно протікає в водному середовищі. Розрахунки по формулі (8) проведено для наступних вхідних параметрів: $T_0 = -25^{\circ}C$; $T_\infty = 5^{\circ}C$; $R_1 = 0,055 м$; $R_2 = 0,09 м$; $T_f = 0^{\circ}C$, $a = 0,3 \cdot 10^{-6} \frac{м^2}{с}$, які відповідають реальним умовам експлуатації КГФ [1]. Результати розрахунку

Представлено на рис. 2, де штрих пунктиром нанесені значення температури за чисельним методом [3].

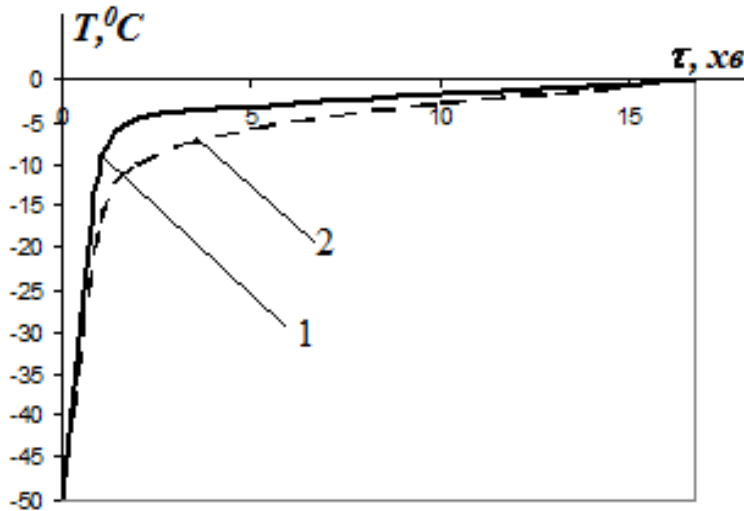


Рис. 2. Час фазового переходу поверхні КГЕ, розрахований за формулою (9) – 1, чисельному методу [3] – 2.

З рис. 2 видно, що розбіжність розрахункових кривих, які отримані по спрощеній аналітичній методиці і чисельним методом не перевищує 10%, що задовольняє вимогам до інженерних розрахунків.

Висновки. В роботі запропоновано методику розрахунку температури та отримано спрощений вираз (9) для визначення часу початку фазового переходу на поверхні криогенно-гравійного елемента фільтру.

Бібліографічний список

1. Кожевников А.А. Гравийные фильтры с использованием эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния вязущего вещества / А.А. Кожевников, А.К. Судаков, А.А. Гриняк // Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника, технология его изготовления и применения: сборник научных трудов. – 2008. – вып. 11. – С. 84 – 88.
2. Технология изготовления блочного криогенно-гравийного фильтра буровых свердловин / [А.О. Кожевников А.К. Судаков, О.Ф. Камишацкий и др.] // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Сер. «Гірничо-геологічна. – 2010. – Вип. 14 (181). – С. 83–86.
3. Математическое моделирование тепловых процессов в гравийных фильтрах гидрогеологических скважин / [А.Ю. Дреус, А. А. Кожевников, Е. Е. Лысенко, А. К. Судаков.] // ДАН України. Серія «Науки про Землю». - 2010. - № 9. – С. 98 – 102.
4. Математична модель процесів тепло та волого переносу у гравійних фільтрах під час їх заморожування / [А.Ю.Дреус, О.Г.Мелашич, А.О.Кожевников, А.К.Судаков.] // Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу: матеріали міжнародної наукової конференції. – Дніпропетровськ: ДНУ, 2008. - С. 107-109.

5. А.Ю. Дреус Математическая модель и алгоритм расчета теплового переноса в промерзающей крупнодисперсной среде / А.Ю. Дреус, Е.Е. Лысенко // Системні технології. – 2011. - № 2(73). – С. 72 – 77.
6. Лыков А.В. Теория теплопроводности / А.В. Лыков. - М.: Высшая школа, 1967. - 600 с.
7. Карслоу Г. Теплопроводность твердых тел / Г. Карслоу, Д. Егер; пер. с английского. - М.: Наука, 1964. - 488 с.
8. Беляев Н. М. Основы теплопередачи: учебник / Н. М. Беляев. - Киев: Вища школа, 1989. - 343 с.
9. Юшков П.П. Функции Бесселя и их приложения к решению задач теплопроводности / П.П. Юшков. - Минск: Изд. АН БССР, 1962. – 169 с.

Надійшла до редакції 14.12.2012

А. Ю. Дреус¹, К. Е. Лысенко¹, А. К. Судаков²

¹ Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина

² ГВУЗ «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина

Расчет параметров растепления криогенно-гравийного элемента фильтра буровых скважин

В работе предложена методика расчета параметров процесса растепления криогенно-гравийного элемента фильтра при оборудовании буровой скважины. Приведен пример расчета времени фазового превращения поверхности фильтра и сравнительная характеристика результатов теоретических и лабораторных исследований.

Ключевые слова: фильтр, скважина.

A. Dreus¹, K. Lysenko¹, A. Sudakov²

¹ Oles Honchar Dnipropetrovsk National University, Dnipropetrovsk, Ukraine

² National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

Calculation of Thawing Parameters of Cryogenic Gravel Filter Element for Boreholes

The paper proposes a method for calculating the parameters of the process of thawing of a cryogenic gravel filter element for boreholes. The example of the timing for phase transformation of the filter surface and the comparative analysis of the results of theoretical and laboratory studies are provided.

Key words: filter, borehole.