

УДК 622.233: 551.49

А. А. Кожевников, д-р техн. наук¹, **А. Ю. Дреус**, канд. техн. наук²,
А. К. Судаков, канд. техн. наук¹, **Е. Е. Лысенко**²

¹Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», г. Днепропетровск, Украина

²Государственный ВУЗ «Днепропетровский национальный университет», Украина

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ПОРИСТОЙ КРУПНОДИСПЕРСНОЙ СРЕДЕ КРИОГЕННО-ГРАВИЙНОГО ЭЛЕМЕНТА ФИЛЬТРА ПРИ ЕГО ЗАМОРАЖИВАНИИ

Представлены результаты теоретических исследований теплопереноса в криогенно-гравийном элементе фильтра, изготовленном по низкотемпературной технологии.

Ключевые слова: математическое моделирование, теплоперенос, криогенная технология, криогенно – гравийный фильтр.

Введение

На кафедре техники разведки месторождений полезных ископаемых Национального горного университета на протяжении ряда лет проводятся работы по разработке технологии изготовления криогенно-гравийных фильтров (КГФ) и технологии оборудования ими водоприемной части гидрогеологических скважин [1; 2]. В отличие от известных типов фильтров [3; 4] предлагаемый изготовлен по низкотемпературной (криогенной) технологии путем замораживания криогенно-гравийного элемента (КГЭ) фильтра блочной конструкции, пористая среда которого заполнена вязущим веществом (водным раствором). Данная технология позволяет обеспечить необходимую прочность конструкции при ее транспортировании на забой скважины, где происходит переход гравийного материала в рыхлое состояние под воздействием положительных температур пластовых вод.

Определение ряда режимных параметров (необходимой температуры и время замораживания, время растепления в условиях подготовительных работ и во время спуска, скорость спуска, и т.д.) сопряжено с необходимостью исследования тепловых процессов в пористой среде КГЭ фильтра при его замораживании и растеплении. Данные исследования были выполнены как в лабораторных условиях, так и путем математического моделирования.

Цель работы является рассмотрение результатов математического моделирования теплопереноса в процессе замораживания КГЭ фильтра, изготовленного по низкотемпературной технологии.

Для определения технологических параметров изготовления КГЭ фильтра согласно предложенной технологии оборудования КГФ буровых скважин рассмотрим процесс замораживания КГЭ фильтра. С физической точки зрения такой элемент представляет собой многофазную и многокомпонентную систему, которая состоит из гравия – минеральная составляющая и воды – дисперсионная среда. Дисперсионная среда, исходя из технологии изготовления КГЭ фильтра, в ее начальный период находится в жидком состоянии, а при снижении температуры композита КГЭ в целом ниже температуры фазового перехода в твердом состоянии. Таким образом, дисперсионная среда претерпевает фазовый переход, и сформулированная задача сводится к решению задачи Стефана [5].

Для решения задачи замораживания пористой крупнодисперсной среды КГЭ фильтра используем дифференциальное уравнение теплопереноса в дисперсной водонасыщенной среде с использованием метода эффективной теплоемкости [6; 7]. В общем случае такую задачу необходимо рассматривать совместно с влагопереносом, однако, в силу принятых допущений, влиянием влажности на температурное поле пренебрегаем

$$c_{ef}(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial \tau} = \frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial r}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial z}\right), \quad (1)$$

$$\tau > 0, R_1 < r < R_2, 0 < z < H,$$

где R_1 и R_2 – внутренний и внешний радиусы КГЭ фильтра; H – высота КГЭ фильтра.

На рис. 1 показана расчетная модель образца КГЭ фильтра.

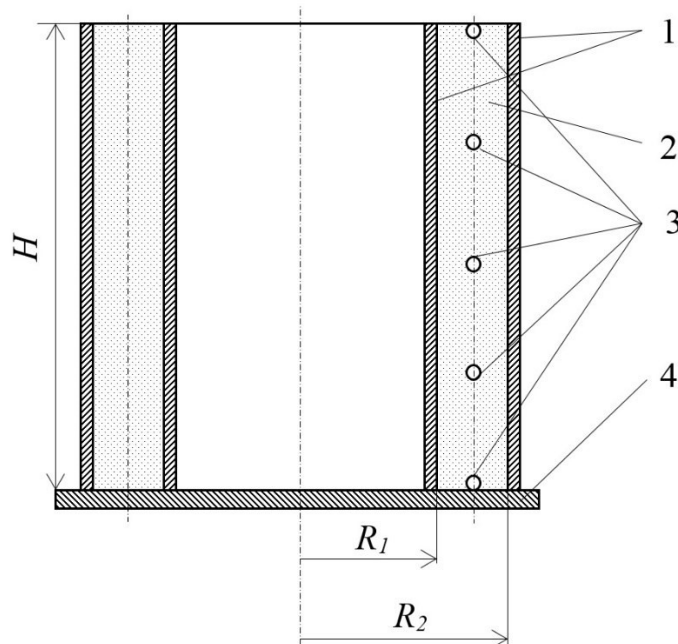


Рис. 1. Схема к расчету КГЭФ: 1 – корпус формы; 2 – композит КГЭ фильтра; 3 – контрольные точки; 4 – основание формы

Начальные и граничные условия, которые заключены в уравнении (1) запишем в виде:

$$T|_{\tau=0} = T_0, \quad (2)$$

$$\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial s}\Big|_n = \bar{\alpha}(T|_s - T_\infty), \quad (3)$$

где T_∞ – температура в морозильной камере; n – внешняя нормаль к поверхности; $\bar{\alpha}$ – средний коэффициент теплоотдачи, который зависит от режима теплообмена и формы образца КГЭ фильтра.

Теплофизические параметры исследуемой среды, которые входят в (1), зависят от температуры, влажности, пористости и дисперсности горной породы. Необходимо также учитывать тот факт, что в дисперсионной среде фазовый переход влаги находящейся в поровом пространстве КГЭ происходит в диапазоне отрицательных температур [6].

Функция льдистости $i(T)$, учитывающая наличие зоны фазового перехода, аппроксимируется выражением вида [4]

$$i(T) = i_k \frac{1 - e^{-m(T-T_H)}}{1 - e^{-m(T_K-T_H)}}, \quad (4)$$

где i_k – значение льдистости при температуре T_K , которое зависит от количества прочносвязанной влаги; T_H, T_K – температура соответственно начала и конца фазового перехода; α – коэффициент, который характеризует степень связанности воды с горной породой; m – коэффициент, зависит от дисперсности и структурного состава пористого материала.

Эмпирическим путем установлено, что чем сильнее связана вода в порах, тем меньше α , а при замерзании свободной воды $m \rightarrow \infty$.

Эффективная теплоемкость является аддитивной величиной и для ее определения используем

$$c_{ef}(T) = (1 - \Pi)c_{sk} + \Pi i(T)U_0c_l + \Pi(1 - i(T))U_0c_i + \frac{\rho_l}{\rho} \Pi \frac{di}{dT}, \quad (5)$$

где Π – пористость; c_{sk}, c_l, c_i – теплоемкости соответственно горной породы, льда и воды; $\rho_l(T)$ – плотность льда.

Коэффициент теплопроводности дисперсионной среды КГФ определим, как

$$\lambda = \lambda_1 + (\lambda_2 - \lambda_1)(1 - i(T)), \quad (6)$$

где λ_1, λ_2 – коэффициенты теплопроводности мерзлой и талой фаз определяются следующими выражениями [6]:

$$\lambda_1 = 1,7(\rho \cdot 10^{-3} + 0,1U_0 - 1,1) - 0,1U_0,$$

$$\lambda_2 = 1,5(\rho \cdot 10^{-3} + 0,1U_0 - 1,1) - 0,1U_0.$$

Коэффициент теплоотдачи α вычисляется в зависимости от режима теплообмена с окружающей средой образца КГЭ фильтра.

Для решения задачи (1)–(3) была использована численная схема расчета на основе метода конечных разностей.

Результаты численного решения задачи замораживания КГЭ фильтра по вышеописанному алгоритму представлены на рис. 2.

В расчетах начальная температура образца КГЭ принята, $T_0 = 20$ °С температура в морозильной камере -20 °С. Как видно из рис. 2, фазовый переход на поверхности КГЭ фильтра начинается приблизительно через 1 час с начала замораживания и заканчивается в центральной его части через 5 часов. Через 10–12 часов температура в КГЭ фильтра выравнивается и достигает значений $-18 \dots -20$ °С.

Из рис 2 видно, что периферийные контрольные точки охлаждаются значительно быстрее, чем внутри находящиеся. Наиболее интенсивно охлаждение КГЭ происходит в точке 5. Это объясняется ее контактом с теплообменником морозильного ларя. В остальных точках охлаждение происходит за счет конвективного теплообмена посредством контакта с охлажденной средой.

В целом из рис. 2 можно сделать вывод, что КГЭ фильтра полностью омоноличивается по прошествии 10 часов и дальнейшее его замораживание не рационально.

Результаты численных исследований были сравнены с результатами экспериментальных исследований (рис. 3) процесса замораживания КГЭ.

На рис. 3 представлены результаты измерения температуры в экспериментальном образце для контрольной точки № 3 и результаты вычислительного эксперимента. Очевидно качественное соответствие экспериментальной и расчетной кривых. В обоих случаях можно выделить три основных этапа: этап охлаждения образца до температуры фазового перехода вязущего вещества, этап фазового перехода, на протяжении которого температура поддерживается приблизительно постоянной, и этап дальнейшего охлаждения замерзшего образца (монолита) до температуры окружающей среды.

Расхождение между экспериментальными и расчетными данными в среднем по всем термопарам составляет 5%, максимальное отклонение между данными составило 20%. Полученное расхождение является вполне удовлетворительным и свидетельствует о возможности применения математической модели для исследования теплопереноса в КГЭ.

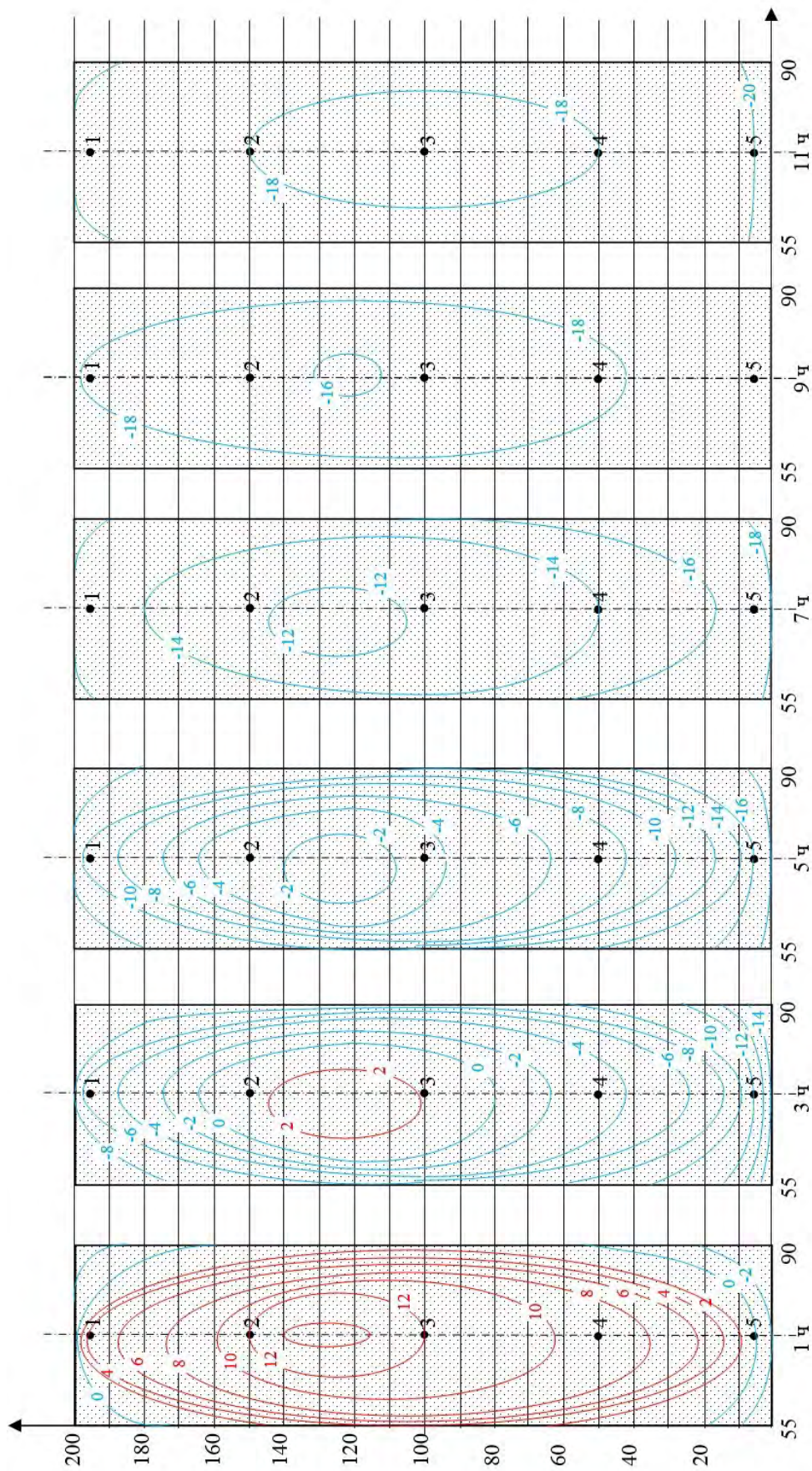


Рис. 2. Температурные поля в °С в КГЭ фильтра в процессе его замораживания, ● - контрольные точки

Интерес представляет определение зависимости продолжительности омоноличивания КГЭ фильтра от температуры окружающей среды.

Результаты исследования замораживания КГЭ фильтра по выше описанному алгоритму приведены на рис. 4.

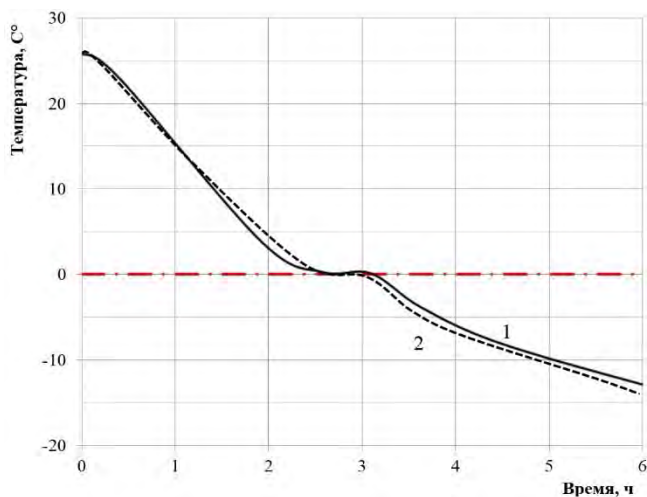


Рис. 3. Изменение температуры в контрольной точке №3 по данным:
1 – расчета, 2 – эксперимента;
— — — — граница фазового перехода

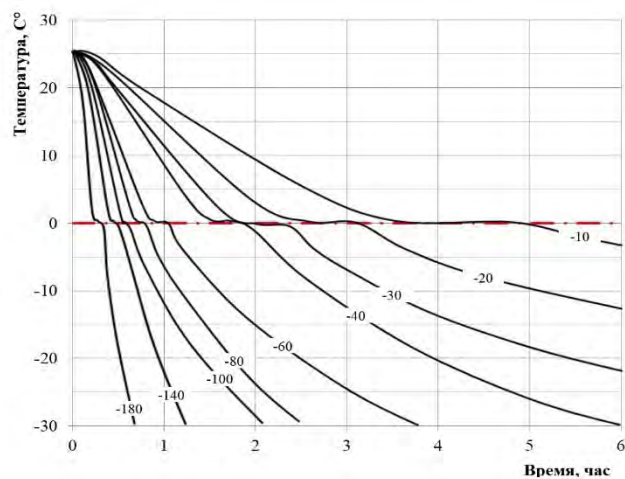


Рис. 4. Расчетная продолжительность времени замораживания КГЭ фильтра от температуры среды: — — — — граница фазового перехода

При расчете температуру омоноличивания КГЭ фильтра задавали в диапазоне от -180°C до -10°C . В расчетах начальная температура принята $+25^{\circ}\text{C}$, конечная -30°C . Определение температуры осуществлялось для контрольной точки №3.

Со снижением температуры среды от -10°C до -180°C время омоноличивания КГЭ фильтров существенно сокращается. И при достижении температуры -180°C замораживание КГЭ фильтра может длиться менее 1,0 часа.

Выводы

Разработанная математическая модель дает возможность с достаточной точностью определять технологические параметры изготовления КГЭ фильтра в зависимости от его размеров и температуры окружающей среды.

The results of theoretical and laboratory studies of heat transfer in the element of the cryogenic gravel puck, that produced by low-temperature technology, are present.

Key words: *mathematical modeling, heat transfer, cryogenic technology, cryogenic-gravel filter.*

Представлено результати теоретичних досліджень теплопереносу в кріогенно-гравійному елементі фільтру, виготовленого за низькотемпературною технологією.

Ключові слова: *математичне моделювання, теплоперенос, кріогенна технологія, кріогенно-гравійний фільтр.*

Литература

1. Кожевников А. А., Судаков А. К., Гриняк А. А. Гравийные фильтры с использованием эффекта двухфазного инверсного перехода агрегатного состояния вязущего вещества. Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент – техника и технология его изготовления и применения: Сб. науч. тр. – К.: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2008. – Вып. 11. – С. 84–88.

2. Новая технология создания гравийных фильтров буровых скважин / С. М. Сушко, А. Д. Бегун, А. А. Кожевников, А. К. Судаков // Горный журнал Казахстана. – 2011. – № 10. – С. 4–8.
3. Гаврилко В. М., Алексеев В. С. Фильтры буровых скважин. – М.: Недра, 1976. – 345 с.
4. Кожевников А. А., Судаков А. К., Диденко Ю. Г. Конструкции и изготовление гравийных фильтров, эксплуатация и ремонт буровых скважин. – Днепропетровск: ЛізуновПрес, 2012. – 355 с.
5. Лыков А. В. Теория сушки. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
6. Павлов А. Р., Пермяков П. П. Математическая модель и алгоритм расчета на ЭВМ тепло- и массопереноса в мерзлых грунтах // ИФЖ. – 1983. – Т. 44. – № 2. – С. 311–316.
7. Исследование явлений тепло- и влагопереноса во время фазовых переходов жидкость – твердое тело в многослойных объектах / О. В. Лебедев, О. Н. Будадин, М. Н. Слитков, и др. // Дефектоскопия. – 2006. – № 10. – С. 81–94.

Поступила 20.06.13

УДК 622.248.63

Л. І. Романишин, канд. техн. наук¹; В. В. Гладун², Т. Л. Романишин¹

¹Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Україна

²ДП «Полтавське управління геофізичних робіт», Україна

ДОСЛІДНО-ПРОМИСЛОВІ ВИПРОБУВАННЯ МАГНІТНИХ ЛОВИЛЬНИХ ПРИСТРОЇВ

Обґрунтовано доцільність застосування магнітних ловильних пристроїв для очищення вибоїв свердловин від металу. Описано конструкції пристроїв з нерухомою та рухомою магнітними системами. Подано результати дослідно-промислових випробувань розроблених пристроїв на постійних магнітах.

Ключові слова: свердловина, ловильний пристрій, постійний магніт, промислові випробування.

В процесі буріння та експлуатації, а також під час проведення підземного і капітального ремонту нафтових і газових свердловин виникають аварії. В результаті аварій з породоруйнівним інструментом, падінням у свердловину сторонніх предметів, геофізичних або інших приладів на вибої залишаються різні за формою та масою металеві уламки. Загалом дані аварії складають близько 10% від загальної кількості. Насправді, випадки аварій та ускладнень часто не опубліковуються або приховуються, тому кількість аварій та витрати часу і коштів на їх ліквідацію значно більші за офіційні дані.

Для вилучення із свердловин аварійних предметів без їх попереднього руйнування застосовують різноманітні ловильні інструменти, проте найефективнішими із них є магнітні ловильні пристрої.

Магнітні ловильні пристрої застосовують для вилучення цілих та зруйнованих доліт, шарошок, лап із шарошками, лопатей, тіл кочення, втраченого озброєння доліт, в тому числі і твердосплавного, а також розширювачів, пневмоударників, допоміжного інструменту та сторонніх предметів, що залишилися у свердловині. Крім того, вибій свердловини слід періодично очищувати від дрібних металевих предметів, щоб зменшити ймовірність аварій з породоруйнівним інструментом та підвищити техніко-економічні показники буріння [1].