

УДК 622. 233:551.49

А. А. Кожевников¹, А. К. Судаков¹, Е. Е. Лысенко², А. Ю. Дреус²

¹Государственное высшее учебное заведение «Национальный горный университет», Днепропетровск, Украина

²Днепропетровский национальный университет им. О. Гончара, Днепропетровск, Украина

Определение временных параметров процесса замораживания криогенно-гравийного фильтра

В работе представлены результаты расчета времени замораживания криогенно-гравийного фильтра для различных условий его охлаждения.

Ключевые слова: гравийный фильтр, замораживание, время.

Введение. В [1, 2] предложена новая низкотемпературная технология изготовления гравийных фильтров для оборудования гидрогеологических скважин. В разработанной технологии гравийная обсыпка удерживается замороженным вязущим веществом во время изготовления фильтра, что приводит к образованию монолита. Фильтрационные качества фильтра не ухудшаются при этом, так как установленный в скважину фильтр претерпевает обратный фазовый переход (размораживается).

Качественный анализ технико-экономических показателей технологии [1] показывает ряд ее преимуществ по сравнению с традиционно используемыми. При этом температура замораживания может быть достаточно низкой вследствие чего, такие фильтры предложено называть криогенно-гравийными. Очевидно, что важными технологическими параметрами изготовления криогенно-гравийного фильтра, определяющими энергоемкость процесса, является время и глубина его замораживания перед установкой в скважину. Для определения рациональных характеристик целесообразно использовать расчетные методики.

Постановка проблемы. В соответствии с низкотемпературной технологией изготовления гравийного фильтра его омоноличивание может быть выполнено различными способами. Например, во время выдержки заготовки в холодильной камере или путем охлаждения низкотемпературной струей хладагента. Поскольку фильтр представляет собой полидисперсный композитный материал, то во время его замораживания (размораживания) внутри его и на поверхности будут происходить сложные взаимосвязанные физические процессы: фазовое превращение связывающего (жидкого) компонента, изменение границы фазового перехода, миграция влаги в незамерзшей части и т. д. При этом условия теплообмена на поверхности гравийного фильтра будут разными, что оказывает существенное влияние на время промерзания.

Интенсивность названных процессов зависит от температуры хладагента и условий теплообмена с ним. Теплообмен в морозильных камерах осуществляется преимущественно механизмом свободной и смешанной конвекции. Коэффициенты теплообмена принимают значения $0,29 \div 1,5 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [3], а температуры в бытовых и промышленных морозильных камерах варьируют в пределах $-7 \text{ } \div -40 \text{ °C}$. При охлаждении струей хладагента (например, воздушно-азотной струей с температурой до -200 °C) имеет место вынужденная конвекция, и интенсивность теплообмена будет определяться такими факторами как геометрия конструкции системы охлаждения, расход хладагента и его природа. Значения коэффициентов теплоотдачи в этом случае могут достигать $2 \cdot 10^3 \div 4 \cdot 10^3 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{°C})$ [4], и процесс замораживания происходит более динамично. Вместе с тем вторая технология может требовать больших материальных и производственных затрат.

Таким образом, оценка времени замораживания необходима для выбора рациональных режимов замораживания криогенно-гравийного фильтра.

Цель работы. Расчетное определение временных характеристик процесса замораживания криогенно-гравийного фильтра для различных условий теплообмена с охлаждающей средой.

Результаты исследования и их обсуждение. Криогенно-гравийный фильтр представляет собой композитный материал, состоящий из твердого пористого скелета (гравия) и вязущего вещества (водный раствор) в поровом пространстве. Для исследования процесса промерзания необходимо решать задачу тепломассопереноса с учетом фазовых переходов на основе системы нестационарных дифференциальных уравнений [5], аналитическое решение которых в общем случае получить не удастся. В настоящей работе для описания процессов тепломассопереноса в гравийном фильтре при его заморозке было использовано обобщение на двумерный случай математической модели, предложенной в [6].

Криогенно-гравийный фильтр представлен в виде полого цилиндра конечных размеров (смесь гравия с водой), помещенного внутри оболочки (формы) рис. 1.

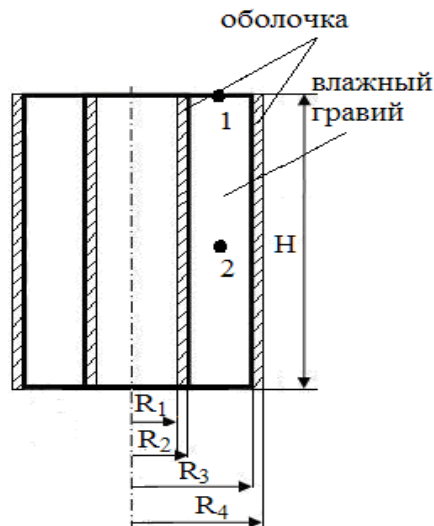


Рис. 1. Модель криогенно-гравийного фильтра:
1,2 – контрольные точки

Математическая модель теплофизических процессов представлена в работе [6]. Геометрические и теплофизические параметры задачи были приняты следующие $R_1 = 0,05 \text{ м}$, $R_2 = 0,055 \text{ м}$, $R_3 = 0,09 \text{ м}$, $R_4 = 0,095 \text{ м}$, $c_{sk} = 0,92 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_w = 4,19 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $c_l = 2,1 \frac{\text{кДж}}{\text{кг} \cdot \text{К}}$, $\rho_{sk} = 1650 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_l = 920 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\rho_w = 1000 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$, $\lambda_{sk} = 2 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, $\lambda_l = 2,22 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, $\lambda_w = 0,612 \frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot \text{К}}$, где c – теплоемкость, ρ – плотность, λ – теплопроводность, индексы соответствуют sk – скелет фильтра (влажный песок), l – монолит (мерзлый песок), w – вязущее вещество (вода). В начальный момент времени температура конструкции имеет значение соответствующее температуре воздуха в производственного помещения, в котором происходит изготовление фильтра $T_0 = 20^\circ \text{C}$.

Рассматривались два случая замораживания: в холодильной камере с диапазоном температур T_∞ от -10°C до -40°C ; замораживание струей хладагента (воздушно-азотная струя) с диапазоном температур T_∞ от -100°C до -200°C .

Решение задачи было получено путем вычислительного эксперимента, с использованием алгоритма численного расчета предложенного в работе [7]. Целью расчета было определение времени охлаждения фильтра в морозильной камере до начала фазового превращения на границе (начала омоноличивания) и времени полного промерзания образца.

Результаты расчета временных параметров для различной температуры в камере представлены на рис. 2, рис. 3. При замораживании в морозильной камере процессу образования монолита предшествует процесс охлаждения образца до температуры фазового

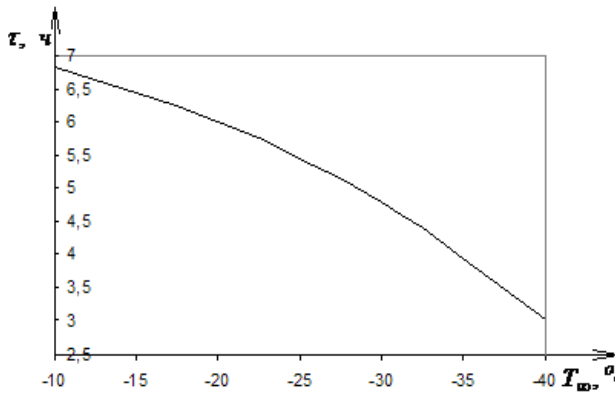


Рис. 2. Время начала фазового перехода при заморозке фильтра в морозильной камере

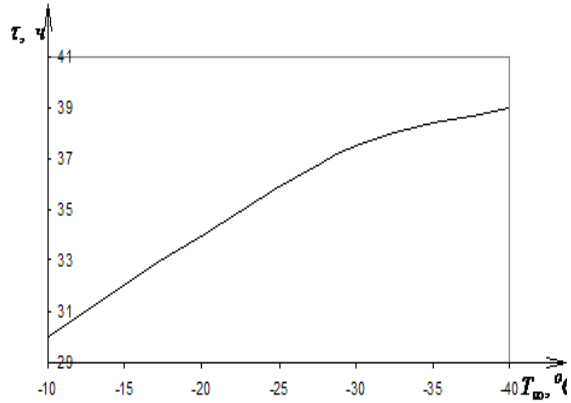


Рис. 3. Время промерзания фильтра до T_{∞} морозильной камеры

перехода вяжущего. Из рис. 2 видно, что время начала омоноличивания (начала фазового перехода на поверхности образца) существенно зависит от температуры в камере T_{∞} и изменяется от 6,8 часов при температуре -10°C до 3 часов при температуре -40°C . Время необходимое для полного промерзания образца, т.е. до достижения температуры внутри образца значения окружающей среды T_{∞} представлено на рис. 3. И составляет от 30 часов при -10°C до 39 часов при -40°C соответственно. Выдержка образца в камере до таких значений может быть целесообразна в случае, когда при работах по установке на забой, предполагается, что фильтр будет продолжительное время находиться при повышенных температурах, или в условиях интенсивного теплообмена с окружающей средой при его спуске. В некоторых случаях, для экономии энергозатрат, вероятно можно ограничиться временем окончания фазовых переходов в гравийном фильтре.

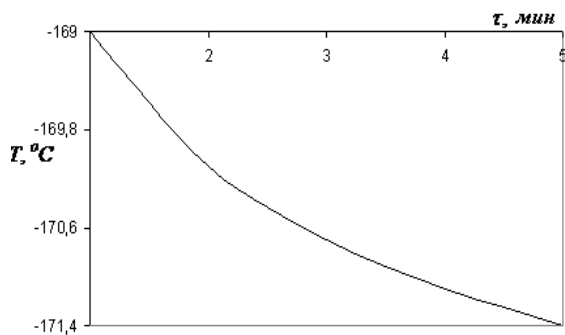


Рис. 4. Распределение температура в точке 1 (рис. 1) при $T_{\infty}=-193^{\circ}\text{C}$

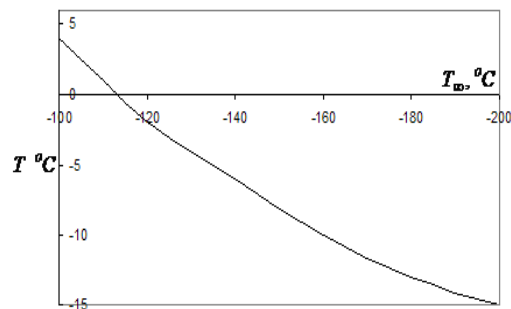


Рис. 5. Значение температуры в точке 2 (рис. 1) через 5 минут при криогенной заморозке фильтра в зависимости от температуры струи T_{∞}

Результаты расчета в двух контрольных точках (рис. 1) для криогенного замораживания струей хладагента (воздушно-азотная струя) показаны на рис. 4–5. В этом случае процесс охлаждения происходит намного более интенсивно, и температура фазового перехода на поверхности фильтра достигается практически мгновенно за счет высоких значений коэффициентов конвективного теплообмена рис. 4. Оценка температуры внутри фильтра в зависимости от температуры охлаждающей струи T_{∞} может быть выполнена по данным рис. 5.

Выводы. В работе представлены результаты численного исследования процессов времени замораживания гравийного фильтра в соответствии с предлагаемой технологией их изготовления. Исследовано влияние способа замораживания и температуры хладагента на временные характеристики технологии. Результаты расчета позволяют определить необходимое время в зависимости от условий замораживания и обосновать затраты на производство.

Библиографический список

1. Кожевников А. А. Технология оборудования криогенно–гравийными фильтрами водоприемной части буровой скважины. / А. А. Кожевников, С. В. Гошовский, А. К. Судаков// Породоразрушающий и металлообрабатывающий инструмент, 2009. – Вып. 12. – С. 62–64.
2. Пат.18663U.UA, МКИ E21 B43/08. Гравийний фільтр / Кожевников А.о., Судаков А.К.(UA). – №97020756 Замовлено 22.05.06; Друк. 15.11.2006; Бюл. №11.
3. Бараненко А.В. Практикум по холодильному технологическому оборудованию: Уч. пособие. / А.В. Бараненко, В.С. Калюнов, Б.Н. Малеванный, А.Я. Эглит– Спб.: СПбГУНиПТ, 2002. – 170 с.
4. Москалев А.Н. Разрушение горных пород при термоциклическом воздействии / А.Н. Москалев, Е.Ю. Пигида, Л.Г. Керекелица и др. – К.: Наукова думка, 1987. – 248 с.
5. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 472 с.
6. Дреус А.Ю. Математична модель тепло та вологопереносу в гравійних фільтрах під час їх заморожування / А.Ю. Дреус, О.Г. Мелашич, А.О. Кожевников, А.К. Судаков // Матеріали II міжнародної наукової конференції «Прікладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу», Дніпропетровськ, ДНУ. 2008 – С.104–107
7. Математическая модель и алгоритм расчета тепловлагопереноса в промерзающей крупнодисперсной среде / А.Ю. Дреус, Е.Е. Лысенко // Системні технології. №2 (73), 2011, С. 72–77.

Надійшла до редколегії 27.06.11.

А. О. Кожевников, А. К. Судаков, Е. Е. Лысенко, А. Ю. Дреус
Національний гірничий університет, Дніпропетровськ, Україна

Визначення часових параметрів заморожування криогенно-гравійного фільтру

В роботі представлено результати розрахунку часу заморожування криогенно-гравійного фільтру для різних умов його охолодження.

Ключові слова: гравійний фільтр, заморожування, час.

A. A. Kogevnikov, A. K. Sudakov, E. E. Lysenko, A. Y. Dreus
National Mining University, Dnipropetrovsk, Ukraine

Definition of time parameters of process of freezing cryogenic-gravel filter

In this work results of calculation of freezing time of the cryogenic-gravel filter for various conditions of his cooling are presented.

Keywords: gravel filter, freezing, time.