

Л.А. Ковригин, И.Б. Кухарчук

Пермский национальный исследовательский
политехнический университет

**КОНВЕКТИВНЫЙ ТЕПЛООБМЕН В МЕЖТРУБНОМ
ПРОСТРАНСТВЕ НЕФТЯНОЙ СКВАЖИНЫ
С ГРЕЮЩИМ КАБЕЛЕМ**

Рассматривается тепловой метод удаления парафиновых отложений в нефтяных скважинах с помощью греющего кабеля. Определяются температурное поле в межтрубном пространстве и скорость конвективного теплового потока. Рассчитывается тепловое сопротивление воздушного зазора.

Отложения парафина в нефтяных скважинах уменьшают добычу нефти. Одним из методов удаления парафина является нагрев скважины с помощью греющего кабеля [1, 2].

Расчет допустимого тока нагрева требует расчета тепловых сопротивлений элементов конструкции скважины. Наибольшую сложность представляет определение теплового сопротивления воздуха в межтрубном пространстве.

На рис. 1 представлена нефтяная скважина с греющим кабелем 5, предназначенным для удаления парафиновых отложений 3.

На рис. 2 представлена тепловая схема замещения. Тепловой поток, идущий от токопроводящей жилы греющего кабеля, проходит через тепловое сопротивление: изоляции ($S_{из}$); нефти (скважинная жидкость), находящейся между кабелем и отложениями парафина (S_n); отложений парафина (S_n); воздуха (S_v) и грунта (S_0).

Насосно-компрессорная труба (НКТ) и обсадная колонная (ОК) выполнены из стали, которая обладает хорошей теплопроводностью по отношению к остальным материалам (нефти, парафину, грунту), поэтому при решении задачи не учитываются.

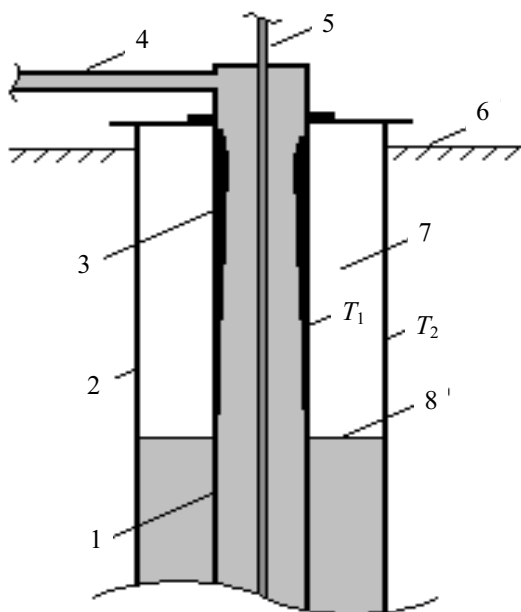


Рис. 1. Нефтяная скважина:

- 1 – насосно-компрессорная труба,
 2 – обсадная колонна, 3 – отложения парафина,
 4 – выкидная труба, 5 – греющий кабель,
 6 – поверхность земли, 7 – межтрубное
 пространство, 8 – динамический уровень
 нефти, T_1 – температура НКТ,
 T_2 – температура обсадной колонны

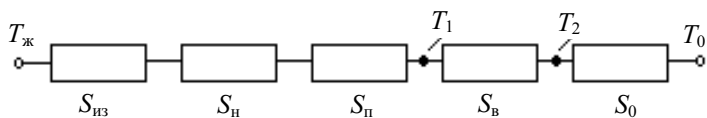


Рис. 2. Тепловая схема замещения: $S_{из}$ – тепловое сопротивление изоляции, $S_{н}$ – тепловое сопротивление нефти, $S_{п}$ – тепловое сопротивление парафина, $S_{в}$ – тепловое сопротивление воздуха, S_0 – тепловое сопротивление грунта, $T_{ж}$ – температура токопроводящей жилы, T_1 – температура НКТ, T_2 – температура обсадной колонны, T_0 – температура грунта

Наибольшую сложность представляет определение тепломассообмена в межтрубном пространстве. Ставится задача: определить скорость конвективного теплового потока за счет разности температур НКТ (T_1 , см. рис. 1) и ОК (T_2) и температурного поля в межтруб-

ном пространстве. Скважина расположена горизонтально. Конвекция свободная. Радиус насосно-компрессорной трубы $R_{\text{НКТ}} = 36,5$ мм, обсадной колонны $R_{\text{ОК}} = 66$ мм. Кольцевой зазор заменяется зазором между двумя параллельными пластинами: $a = R_{\text{ОК}} - R_{\text{НКТ}} = 29,5$ мм. Теплофизические характеристики воздуха: теплопроводность, теплоемкость и плотность зависят от температуры.

Задача решается с помощью среды моделирования *ANSYS*. На рис. 3 представлены эпюры скоростей конвективного теплового потока для двух вариантов: 1) температура НТК – 20 °С, температура ОК – 0 °С; 2) температура НТК – 80 °С, температура ОК – 60 °С.

На рис. 3 видно, что в конвективных потоках возникают вихри, а это согласуется с [3]. Для варианта 1 расстояние между центрами ячеек составляет $b_1 = 78$ мм, отношение этого числа к ширине зазора $b_1/a = 78/29,5 = 2,61$. Число Рейнольдса $Re = Ua/\nu = 423$, где скорость $U = 0,201$ м/с, кинематическая вязкость $\nu = 1,4 \cdot 10^{-5}$ м²/с.

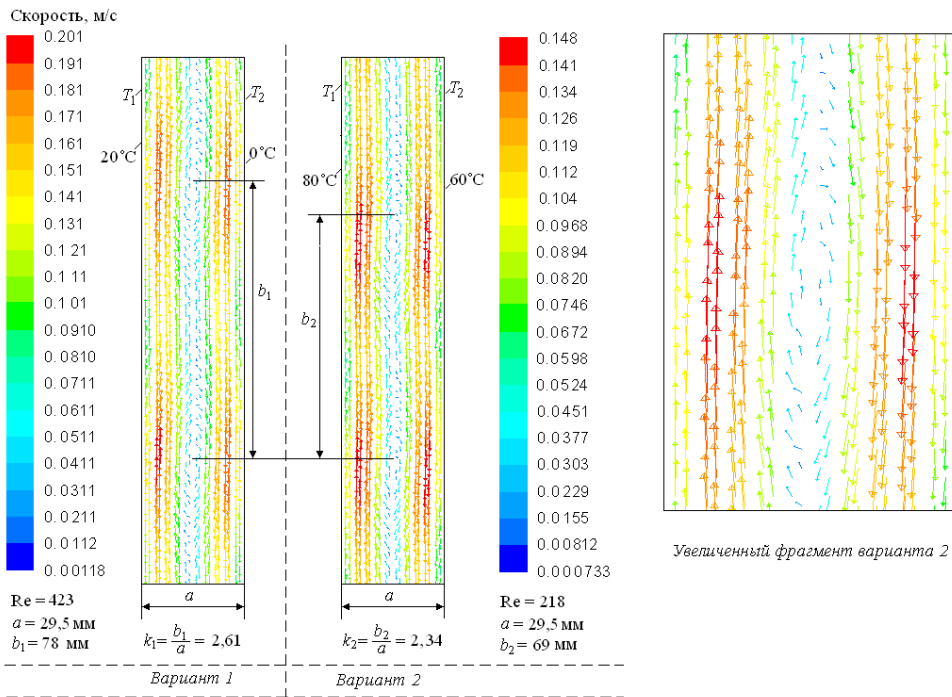


Рис. 3. Скорость конвективного теплового потока в межтрубном пространстве

На рис. 4 представлены температурное поле и плотность теплового потока в межтрубном пространстве.

На рис. 4 видно, тепловой поток передается от стенки с температурой T_1 стенке с температурой T_2 за счет вихревого движения (см. рис. 3) и одновременно поднимается вверх.

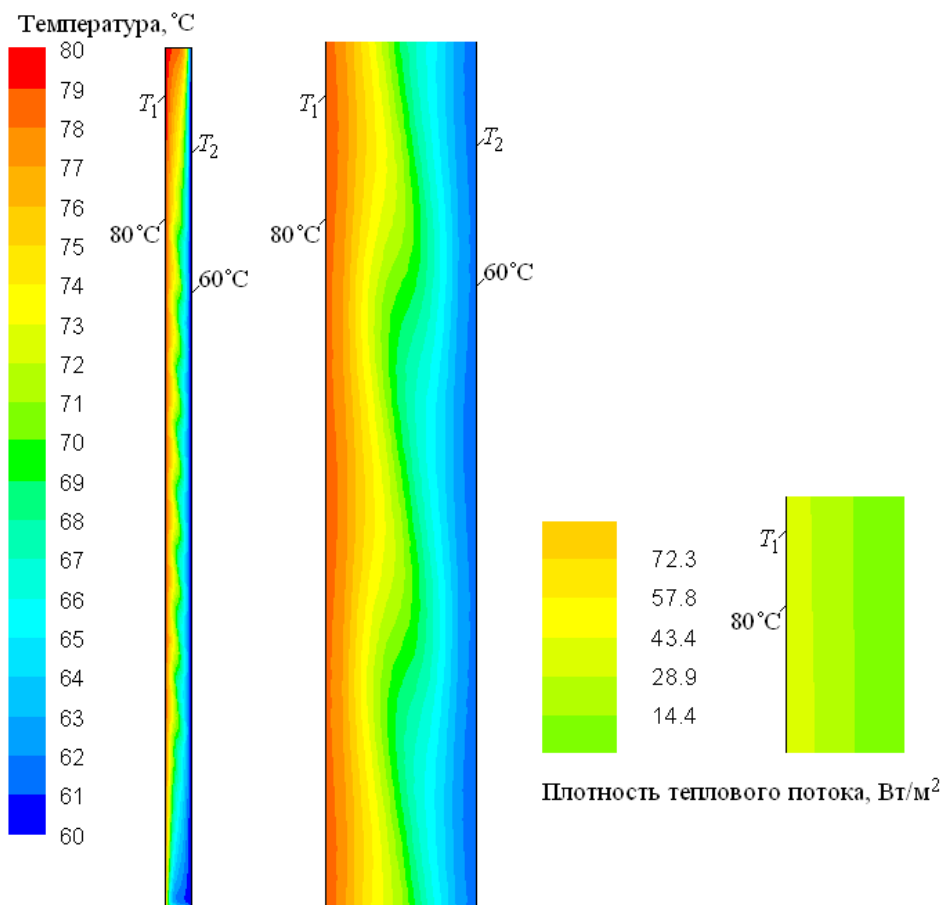


Рис. 4. Температурное поле и плотность теплового потока в межтрубном пространстве

Плотность теплового потока на стенке $P = 43,4 \text{ Вт}/\text{м}^2$. Тепловое сопротивление воздуха в зазоре в соответствии с тепловым законом Ома определяется как $S_b = (T_1 - T_2)/P = 20/43,4 = 0,461 \text{ }^\circ\text{C м}/\text{Вт}$. Откуда удельное тепловое сопротивление $\sigma_b = S_b/a = 0,461/0,0295 = 15,6 \text{ }^\circ\text{C м}/\text{Вт}$. Тепловое сопротивление воздушного зазора между НКТ и ОК на длине 1 м определяется как

$$S_b = \frac{\sigma}{2\pi} \ln\left(\frac{R_{\text{ОК}}}{R_{\text{НКТ}}}\right) = \frac{15,6}{2\pi} \ln\left(\frac{66}{36,5}\right) = 1,47 \text{ }^\circ\text{C м}/\text{Вт}.$$

Рассмотренный метод расчета теплового сопротивления воздуха в межтрубном пространстве нефтяной скважины предназначен для расчета тока нагрева греющего кабеля [4].

Библиографический список

1. Персиянцев М.Н. Добыча нефти в осложненных условиях. – М.: Недра-Бизнесцентр, 2000. – 653 с.
2. Малышев А.Г., Черемсин Н.А., Шевченко Г.В. Выбор оптимальных способов борьбы с парафиногидратообразованием // Техника и технология добычи нефти. – 1997. – № 9.
3. Юдаев Б.Н. Техническая термодинамика. Теплопередача. – М.: Высшая школа, 1988. – 479 с.
4. Кухарчук И.Б., Ковригин Л.А. Расчет тока нагрева греющего кабеля в нефтяной скважине // Электротехника. – 2011. – № 11.

Получено 06.09.2012