

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ПОГРУЖНЫМ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕМ И ТРЁХФАЗНЫМ ФЛЮИДОМ В НЕФТЯНЫХ СКВАЖИНАХ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНЫХ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ

Абдулаев Р. К.

Научный руководитель канд. физ.-мат. наук Арбузов В. Н.

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Даже учитывая тот факт, что месторождения углеводородов характеризуются различным строением коллекторов и глубинами залегания углеводородов, составом и физико-химическими свойствами нефтей, причины отказов УЭЦН чаще всего одинаковы и их доли в общем числе отказов примерно равны.

Наибольшее внимание, вследствие их большого числа, представляют две причины:

- снижение изоляции;
- заклинивание насоса;

В большинстве случаев заклинивание насоса происходит из-за наличия механических примесей, отложения солей, парафинов и недостаточного теплосъема с погружного электродвигателя. Снижение изоляции тоже зачастую обусловлено температурным режимом.

Солеобразования могут развиваться в порах пород призабойной зоны, снижая их пористость и проницаемость. Они являются одним из преобладающих осложняющих факторов, представляют собой отложения, похожие на накипь на поверхности домашних чайников, закупоривающую перфорационные каналы, клапаны, насосы, внутреннюю и внешнюю поверхность скважинного оборудования, обсадные и эксплуатационные колонны НКТ, засоряя, таким образом, скважину, препятствуя потоку жидкости и эффективному теплопереносу между погружным электродвигателем (ПЭД) и омывающим флюидом.



Рис. 1 Многочисленные изъязвления и коррозия, вызванные скоплением солеотложений

Солевой налет обычно располагается слоями и иногда бывает покрыт парафиновым или битуминозным покрытием. Изъязвления и коррозия стали могут развиваться под слоем солевых накоплений благодаря бактерии ям и кислому газу, нарушая целостность стали (рис. 1). Отсутствие работ, посвященных исследованию механизма теплообмена между ПЭД и газожидкостным потоком в присутствии солевого налета приводит к необходимости более детального рассмотрения вопроса о движении флюида в скважине, т.к. именно он обуславливает теплоперенос.

Ниже рассматриваются результаты численного моделирования стационарного процесса переноса тепла от ПЭД к обтекающему его потоку скважинной продукции в общей постановке, в частности с учетом

влияния типа и структуры потока, концентрации газа, мощности солевого налета, технологических факторов. Анализу подвергается температурный режим погружного электродвигателя в период стабильной работы в присутствии слоя солеотложений.

Уравнения математической модели. Метод аналитического решения.

Примем обозначения: R_d - радиус погружного электродвигателя; a - коэффициент температуропроводности цилиндра; α - коэффициент теплоотдачи; λ_d - коэффициент теплопроводности цилиндра, $\lambda_{от}$ - коэффициент теплопроводности кальцита. Для построения тепловой модели погружной электродвигатель представим однородным осесимметричным бесконечно длинным цилиндром с равномерно распределенными по его объему формулой, $q = \frac{N \cdot (1 - \eta_o)}{\pi \cdot R_o^2 \cdot L}$, где N , η , L ,

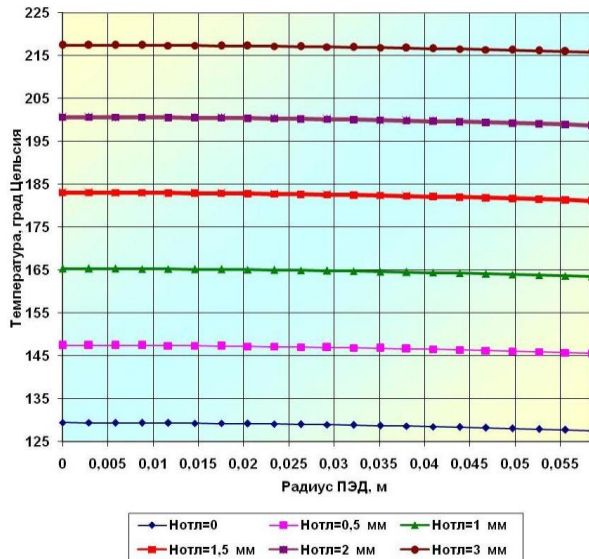


Рис. 2 Распределение температуры в теле ПЭД4ЭД22-117 при различной мощности слоя солеотложений

R - соответственно номинальная мощность, КПД, длина и радиус ПЭД.

Распределение температуры в теле погружного электродвигателя можно определить из решения уравнения теплопроводности в неограниченном цилиндре с непрерывно действующим источником:

$$\frac{\partial T(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = a \cdot \left[\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) + \frac{q_o}{\lambda_o} \right], \text{ при } t > 0, R_d > r > 0.$$

Рассмотрим частный случай, когда $\frac{\partial T(\mathbf{r}, t)}{\partial t} = 0$, установившееся значение температуры при бесконечно большом протяжении времени. Тогда имеем:

$$\frac{\partial}{\partial r} \left(r \cdot \frac{\partial T}{\partial r} \right) = -r \frac{q_o}{\lambda_o} = r \chi$$

В итоге распределение температуры в двигателе будет определяться по формуле:

$$T_o = \chi \frac{r^2}{4} + C_2 \text{ при условии}$$

$0 \leq r \leq R_o$, где константы

$$C_2 = \left(\frac{\lambda_o}{\lambda_{от}} \ln R_o - \frac{1}{2} \right) \chi \frac{R_o^2}{2} + A_2 \text{ и}$$

$$A_2 = T_c + \frac{q_o}{\lambda_{от}} \frac{R_o^2}{2} \ln(R_o + h) + \frac{1}{\alpha} q_o \frac{R_o}{2}.$$

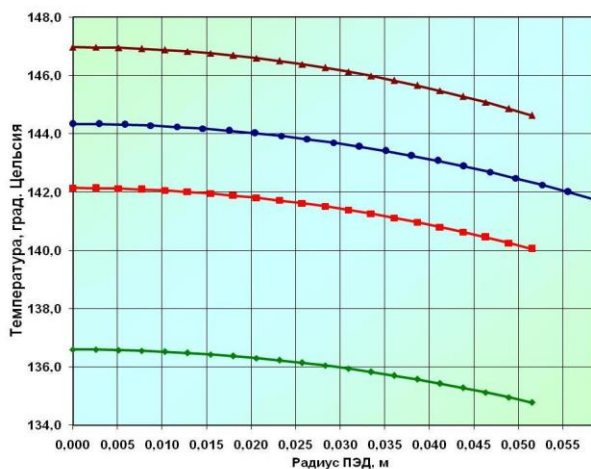


Рис. 3 Распределение температуры в теле ПЭД при $w=2w_{ном}$

Расчеты проводились с использованием ПЭВМ, специально для чего была составлена программа на языке

программирования Visual Basic.

Для расчета среднего коэффициента теплоотдачи на внутренней стенке при ламинарном и слаботурбулентном течении водонефтяного или водонефтегазового потока смеси в канале кольцевого поперечного сечения использовались зависимости:

для ламинарного режима обтекания

$$Nu_{см} = 1,4 \cdot \left(Re_{см} \cdot \frac{d_c}{L} \right)^{0,4} \cdot Pr_{см}^{0,33} \cdot \left(\frac{Pr_{см}}{Pr_{см}} \right)^{0,25},$$

для турбулентного режима движения смеси в кольцевом канале

$$Nu_{см} = 0,021 \cdot Re_{см}^{0,8} \cdot Pr_{см}^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_{см}}{Pr_{см}} \right)^{0,25},$$

где Re , Pr , Nu – критерии соответственно Рейнольдса, Прандтля и Нуссельта.

Определяющим размером в последней формуле является эквивалентный диаметр кольцевого канала, определяющей температурой – температура потока T_c . Индекс «см» означает, что параметры определены при температуре потока, индекс «ст» – при температуре стенки цилиндра.

Ниже приведены графические зависимости влияния мощности солевого налета на распределение температуры в теле ПЭД (Рис. 2) и зависимость нагрева

ПЭД от номинальной скорости омывающего флюида (Рис. 3).

Выводы

Солевой налет оказывает заметное влияние на теплообмен системы «ПЭД-Обтекающий флюид»; Температурный режим ПЭД зависит как от мощности модуля, так и от скорости набегающего потока.