

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПОГРУЖНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ПРИ
ИЗМЕНЕНИИ ЕГО РЕЖИМА РАБОТЫ И НАЛИЧИИ ОСЛОЖНЯЮЩИХ ФАКТОРОВ**

Т.Г. Полякова

Научный руководитель - профессор, доктор физ. –мат. наук С.Н. Харламов
Национальный исследовательский Томский политехнический университет, г. Томск, Россия

Аннотация. Около 80% добычи нефти в России осуществляется с помощью погружных электроцентробежных насосов (ЭЦН) [1]. Установки ЭЦН эффективны в скважинах различной глубины, а также практически при любых физико-химических свойствах добываемой нефти [2]. Поэтому исследование оборудования УЭЦН, моделирование процессов, связанных с его работой, являются актуальными на сегодняшний день. В данной работе объектом исследования является погружной электродвигатель (ПЭД), который является составным элементом УЭЦН.

Цель - моделирование температурного поля электродвигателя при изменении режима работы ПЭД (частоты подводимого тока) и образовании загрязняющего слоя.

Введение. При изменении частоты, изменяется мощность двигателя, соответственно, изменяется и количество теплоты, выделяемое ПЭД. Как известно, нефть содержит в себе большое количество примесей. В процессе эксплуатации ПЭД на его поверхности осаждаются смолы, парафины и другие компоненты, которые образуют загрязняющий слой. Наличие загрязняющего слоя также приводит к дополнительному термическому сопротивлению, а, следовательно, к нагреву двигателя.

Детали моделирования. Для моделирования температурного поля ПЭД необходимо определить математическую модель, на основе которой будет решаться задача, и задать численные параметры самого двигателя и среды. В реальных условиях ПЭД, работающий в скважине, является сложным устройством, имеющим неравномерно распределённые источники теплоты, например, из-за его неверной отцентровки, поэтому следует допустить некоторые упрощения. Упрощения: ПЭД сплошной однородный цилиндр из стали, процессы стационарны, жидкость, контактирующая с двигателем, нефть.

Уравнением, на основе которого решается задача, является дифференциальное уравнение теплопроводности в случае стационарного режима [3]:

$$\nabla^2 t + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (1)$$

Где q_v -объемная плотность внутренних источников теплоты, Вт/м³; λ - коэффициент теплопроводности материала цилиндра, Вт/(м·К).

Для цилиндрической системы координат уравнение примет вид:

$$\frac{\partial^2 t}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial t}{\partial r} + \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 t}{\partial \varphi^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} + \frac{q_v}{\lambda} = 0 \quad (2)$$

После интегрирования можно найти константы интегрирования из граничных условий третьего рода [3]:

$$\begin{cases} r = 0; \left(\frac{dt}{dr} \right)_{r=0} = 0 \\ r = r_0; \left(\frac{dt}{dr} \right)_{r=r_0} = -\frac{\alpha}{\lambda} (t_c - t_{жк}) \end{cases} \quad (3)$$

Где α - коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К); t_c - температура поверхности цилиндра (стенке); $t_{жк}$ - средняя температура жидкости; r_0 - радиус цилиндра;

После математических преобразований получаем [3]:

$$t = t_{жк} + \frac{q_v r_0}{2\alpha} + \frac{q_v}{4\lambda} (r_0^2 - r^2) \quad (4)$$

Уравнение (4) дает возможность рассчитать температурное поле двигателя, если поверхность двигателя не загрязнена. Если же существует загрязняющий слой толщиной δ необходимо учесть термическое сопротивление этого слоя:

$$t = t_{жк} + \frac{Q}{2\pi l (r_0 + \delta) \alpha} + \frac{Q}{2\pi \lambda l} \ln \frac{r_0 + \delta}{r_0} + \frac{Q}{4\pi l r_0^2 \lambda} (r_0^2 - r^2) \quad (5)$$

Где l –длина цилиндра

Задаем параметры среды, скважины самого двигателя, приближенные к действительным.

Часть необходимых параметров была взята из справочников [4,5,6]. Все параметры сведены в таблицу 1:

Таблица

Данные для расчета

$\lambda_{\text{гидроф}}$ Вт/(м·К)	$\lambda_{\text{электрол}}$ Вт/(м·К)	λ_1 Вт/(м·К)	λ Вт/(м·К)	l м	N Вт	КПД	G м ³ /с
0,267	0,47	0,3685	52	3,64	28000	0,845	0,001157407
$\rho_{\text{ж}}$ кг/м ³	ν м ² /с	μ Па·с	$R_{\text{ок}}$ м	r_0 м	α Вт/м ² ·К	C_p Дж/(кг·К)	$t_{\text{жс1}}$ К
890	$2 \cdot 10^{-6}$ м ² /с	0,002024	0,08485	0,0585	210	2100	70

По приведенным данным с помощью (4), (5) был произведен расчет температурного поля. Расчет производился для различных значений частот (40, 45, 50, 55, 60 Гц) и различных значений толщины слоя (1-3 мм).

На рис.1 показано распределение температуры в двигателе при промышленной частоте 50 Гц при отсутствии и наличии загрязняющего слоя.

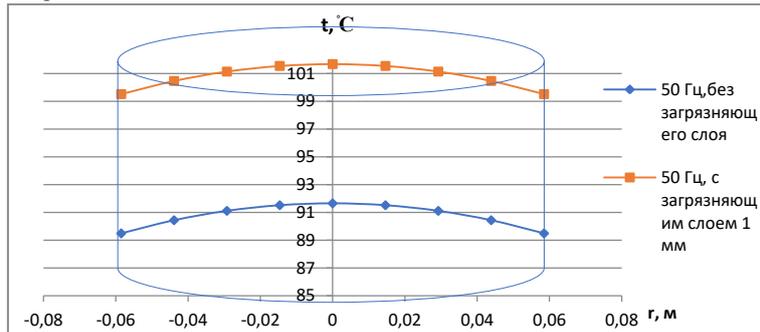


Рис.1. Распределение температуры в двигателе при промышленной частоте 50 Гц при отсутствии и наличии загрязняющего слоя

По результатам расчетов получены следующие графики (рис.2,3):

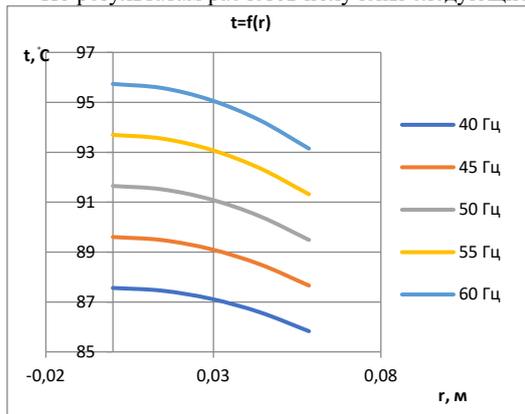


Рис.2. График зависимости температуры двигателя от радиуса при разных частотах

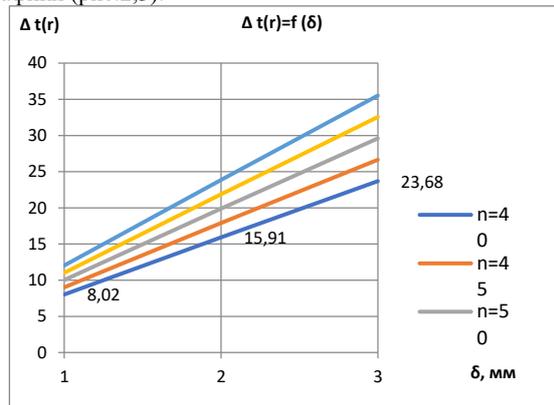


Рис.3. Зависимость изменения температурного напора в произвольной точке r от толщины загрязняющего слоя при разных частотах

Если анализировать семейство кривых на Рис. 2, то можно сказать, что с повышением частоты примерно на 5 Гц температура ПЭД увеличивается на 2 градуса. По графику на Рис.3 видно, что с увеличением слоя загрязнителя при работе на одной и той же частоте температура поднимается приблизительно на 8 градусов каждый 1 мм. При увеличении частоты, температурный напор возрастает.

Полученные результаты говорят о том, что необходимо брать в расчет нагрев при повышении частоты и осаждении загрязнений при установке режима работы УЭЦН. В противном случае можно сжечь двигатель, что влечет за собой простои скважины и экономические потери. Также необходимо предпринимать меры для предотвращения осаждения загрязнений на электродвигателе, например использовать ингибиторы.

Литература

1. Мищенко И.Т. Скважинная добыча нефти: Учебное пособие для вузов. — М: М71 ФГУП Изд-во «Нефть и газ» РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина, 2003. — 816 с. ISBN 5-7246-0234-2.
2. Потапов А.В. Инструкция по запуску, выводу на режим и эксплуатации скважин, оборудованных УЭЦН. - Томск: 2010.
3. Исаченко В. П., Осипова В. А., Сукомел А. С. Теплопередача. Учебник для вузов. Изд. 3. – 1975.
4. Ляпков, П.Д. Подбор установки погружного центробежного насоса к скважине / П.Д. Ляпков Н.Н. – М.: МИНГ.
5. Купцов С.М. Температурное поле погружного электродвигателя скважинных насосных установок // Территория нефтегаз. - 2010. - №4. - С. 36 - 38.