

Никитин В.А.

Студент магистратуры

1 курс, Отделение нефти и газа

Национальный исследовательский Томский политехнический

университет

Россия, г. Томск

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ХАРАКТЕРА ИЗМЕНЕНИЯ ВЯЗКОСТИ ЖИДКОСТИ ПО ДЛИНЕ СКВАЖИННОГО НАСОСА

***Аннотация:** Представлены результаты экспериментальных испытаний ступени электроцентробежного насоса ЭЦН7А-1000Э на масле. По результатам эксперимента проведен расчет температуры и вязкости рабочей жидкости в зависимости от числа ступеней насоса и оценен вклад этих изменений на напор и потребляемую насосом мощность.*

***Ключевые слова:** вязкая нефть, центробежный насос, ньютоновская жидкость.*

***Abstract:** The results of experimental tests of the stage of an electric centrifugal pump ESP7A-1000E on oil are presented. According to the results of the experiment, the temperature and viscosity of the working fluid were calculated depending on the number of pump stages and the contribution of these changes to the head and power consumed by the pump was estimated.*

***Keywords:** viscous oil, centrifugal pump, Newtonian fluid.*

По мере истощения запасов традиционной нефти основным объектом добычи становится вязкая нефть. В настоящее время добыча вязкой нефти преимущественно ведется методом парогравитационного дренажа (Steam Assisted Gravity Drainage) из малодебитных скважин. Новым направлением в добыче вязкой нефти можно считать начавшиеся разработки морских

высокодебитных скважин, которые ведутся с использованием серийных ЭЦН (электроцентробежный насос) [1]. При реализации этого направления работ возникла проблема подбора применяемых в них серийных насосов для новых условий эксплуатации. Пока известны лишь единичные примеры ее решения. Так в [2] работу насоса ($Q_{\text{ном}} = 1000$ бар/сут) моделировали в стендовых условиях. В качестве модельной жидкости использовали глицерин. Варьировали частоту вращения вала насоса (1800–3500 об/мин), вязкость жидкости (60–1000 сП) и концентрацию нерастворенного газа (0–30 %). В [3] модельной жидкостью было масло. Измеряли влияние вязкости (1–2000 сП) при фиксированной частоте вращения вала на рабочие характеристики насоса внутри рабочей области подач 11000–40000 бар/сут. В обоих случаях вязкость варьировали изменением температуры рабочей среды.

К недостаткам такого подхода можно отнести то, что в [2] и [3] каждый раз, перед установкой насоса в скважину, моделировали его работу в стендовых условиях. Это высоко затратный способ избежать несоответствия насоса скважинным условиям. Необходима разработка общих принципов учета влияния условий работы (вязкости, частоты вращения вала и подачи) на характеристики насосов.

В данной работе были проведены стендовые испытания одного из типичных серийных насосов (ЭЦН7А-1000Э) для высокодебитных скважин на ньютоновской жидкости (масле). По результатам испытания была проведена оценка уменьшения вязкости по длине насоса из-за нагрева рабочей жидкости. При подборе многоступенчатого насоса для добычи вязкой жидкости следует учитывать нагрев рабочей жидкости в ступенях и уменьшение ее вязкости вдоль насоса. Нагрев происходит по двум причинам: за счет выделения тепла в ступенях насоса и за счет сжатия жидкости насосом.

Начнем с оценки нагрева за счет выделения тепла в ЭЦН7А-1000Э при подаче $1600 \text{ м}^3/\text{сут}$ (10000 bpd) на 6000 об/мин. В таблице 1 приведены полученные в стендовых испытаниях зависимости мощности, потребляемой

степенью, напора и КПД от вязкости рабочей жидкости при этих условиях работы.

Таблица 1. Зависимость потребляемой мощности, напора и КПД ступени от вязкости рабочей жидкости

Вязкость (η), сП	Потребляемая мощность, кВт	Напор, м	КПД
75	11.8	35.1	0.53
175	12.3	30.3	0.44
265	12.8	28.4	0.39
370	13.3	25.2	0.33

Зависимость вязкости от температуры $\eta(T)$ различна для нефтей разных месторождений. В качестве примера мы выбрали зависимость, приведенную на рис. 1.

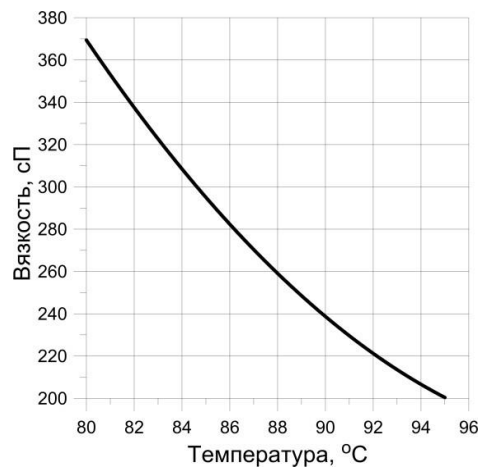


Рисунок 1. Пример зависимости вязкости скважинной жидкости от температуры

Пусть скважинная жидкость имеет температуру 82 °C и обводненность $b = 0,35$. До попадания в насос жидкость нагревается теплом, выделяемым ПЭД (погружной электродвигатель). Если мощность ПЭД равна 600 кВт, а КПД вентильного ПЭД (μ) равен 95 %, то жидкость, омывающая ПЭД, получит

$$q = N_{\text{ср}} \frac{1 - \mu}{\mu} \approx 32 \text{ кВт.}$$

Это тепло увеличит температуру жидкости, поступающей на прием ЭЦН, на

$$\Delta T = \frac{q}{\rho Q c_p} = 0.75 \text{ °C} \approx 1 \text{ °C.}$$

где $\rho = 850 \text{ кг/м}^3$, $Q = 1600 \text{ м}^3/\text{сут}$, или $0,0185 \text{ м}^3/\text{с}$, теплоемкость считали по правилу смеси $c_p = 2500 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}$. На входе в насос температура жидкости будет примерно равна $82 \text{ }^\circ\text{С}$.

Данные, приведенные в таблице позволяют вычислить – количество тепла, выделяемое при работе одной ступени на жидкости вязкостью при температуре T : температура жидкости на выходе из $n+1$ ступени вычисляется как

$$T_{n+1} = T_n + \frac{q(\eta(T_n))}{\rho Q c_p}.$$

Полученные распределения температуры по длине насоса ЭЦН7А-1000Э (28 ступеней) приведено на рис. 2, кривая 1. Видно, что в насосе жидкость нагрелась на 5°С .

Нагрев жидкости из-за ее сжатия в насосе [5]

$$\Delta T = \frac{\alpha T}{\rho c_p} \Delta p ,$$

где α – коэффициент изотермического расширения ($\alpha \approx 10^{-3} \text{ К}^{-1}$), процесс считаем адиабатическим, или

$$T_{n+1} = T_n + \frac{\alpha T_n}{\rho c_p} \rho g H_n ,$$

где H_n – напор n -й ступени.

С учетом обоих механизмов

$$T_{n+1} = T_n + \frac{q(\eta(T_n))}{\rho Q c_p} + \frac{\alpha T_n}{c_p} g H_n .$$

Распределение температуры по длине насоса приведено на рис. 2, кривая 2. Суммарный нагрев жидкости составляет $6 \text{ }^\circ\text{С}$.

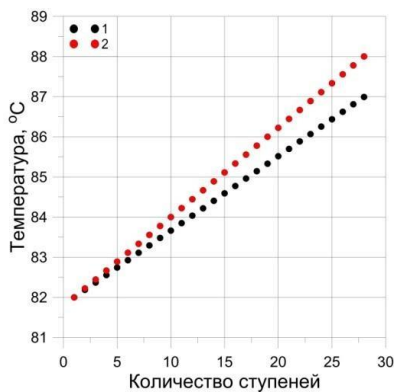


Рисунок 2. Распределение температуры жидкости по длине насоса

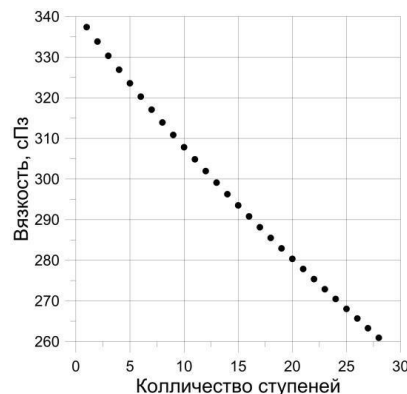


Рисунок 3. Распределение вязкости по длине насоса

Распределение вязкости по длине насоса представлено на рис. 3. Видно, что на входе в насос вязкость была 340 сП, но на выходе примерно 260 сП.

Суммарная мощность, потребляемая насосом, уменьшилась из-за нагрева жидкости на 5,3 кВт, или 1,4 %. Напор на ступень вырос с 25,7 до 27,6 м, а насоса в целом на 3,4 %. Суммарная осевая сила, создаваемая всеми ступенями насоса, выросла на 2,6 %.

Использованные источники

1. Яценко И.Г., Нестерова Г.В. Нефтегазовые ресурсы арктического сектора // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2015. – Т. 2, № 1. – С. 222–226.
2. On the influence of viscosity upon ESP performance. SPE 110661 / G. Amalar, V. Estevan, P. Brasileiro, F. Franca. – ESP Workshop, 2007.
3. Brazil field experience of ESP performance with viscous emulsions and high gas using multi vane MVP and high power ESPs. SPE 185141-MS / L. Barrios, M. Rojas, G. Monteiro, N. Sleight. – ESP Workshop, 2017.
4. Лоренц Г.А. Лекции по термодинамике. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 176 с.