

20-я международная специализированная выставка

НЕФТЬ ГАЗ



НЕФТЕХИМИЯ



ВЫСТАВОЧНЫЙ ЦЕНТР
ISO - 9001



КАЗАНСКАЯ
ЯРМАРКА

в рамках
ТАТАРСТАНСКОГО НЕФТЕГАЗОХИМИЧЕСКОГО ФОРУМА

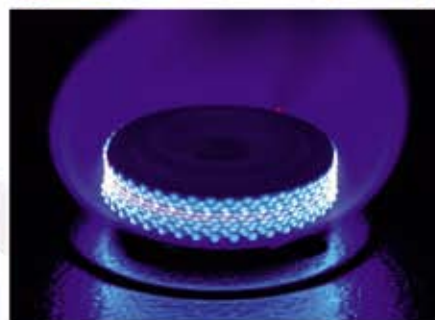
Организатор:
ОАО «Казанская ярмарка»

При поддержке:
Президента Республики Татарстан
Правительства Республики Татарстан

При содействии и участии ОАО «ТАТНЕФТЬ»

4-6 сентября Казань, 2013

Выставочный центр
"Казанская ярмарка"
Россия, 420059, Казань,
Оренбургский тракт, 8
т./ф.: (843) 570-51-14, 570-51-11
e-mail: d2@expokazan.ru



www.oilexpo.ru

ГЕНЕРАЛЬНЫЙ МЕДИА-ПАРТНЕР

ТЕРРИТОРИЯ
НЕФТЕГАЗ

УДК 622.279

В.Н. Ивановский, д.т.н., профессор, e-mail: ivanovskivn@rambler.ru; **С.С. Пекин**, к.т.н., доцент;
П.Л. Янгулов, кафедра машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности,
РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина

ВЛИЯНИЕ ВЯЗКОЙ ЖИДКОСТИ НА РАБОЧУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ ПОГРУЖНЫХ ЭЛЕКТРОЦЕНТРОБЕЖНЫХ НАСОСОВ

Электроприводной центробежный насос (ЭЦН) при подъеме пластовой жидкости из скважины на поверхность работает на многофазной среде, состоящей в основном из нефти, пластовой воды, парафина, свободного газа, различных механических примесей. В совокупности все вышеперечисленные компоненты, а также распределение давления и температуры по глубине придают каждой скважине уникальные свойства, присущие только ей. Эти свойства оказывают большое влияние на процесс перекачки пластовой жидкости, так как вязкость, плотность, обводненность, содержание механических примесей и свободного газа изменяют рабочую характеристику центробежного насоса.

Главными факторами, определяющими изменение характеристики центробежного насоса, являются вязкость жидкости, свободное газосодержание в смеси перед входом в насос, зависимость растворимости газа в жидкости от давления и температуры, конструкция рабочего колеса и направляющего аппарата.

До недавнего времени большинство работ по исследованию работы ЭЦН было сосредоточено на определении влияния свободного газа, в то время как влияние вязкости перекачиваемой жидкости считалось достаточно хорошо известным. Однако уменьшение доли «легкой» нефти в общих разведанных запасах и необходимость расширения добычи вязких нефтей поставили задачу проверки возможности работы центробежных насосных установок в этих осложненных условиях.

Огромный вклад в решение задачи определения влияния вязкости перекачиваемой жидкости на работу центробежных насосов для добычи нефти внес П.Д. Ляпков. Петр Дмитриевич обобщил многочисленные данные по испытаниям центробежных насосов и предложил свою методику пересчета рабочей характеристики с воды на вязкую жидкость, учитывающую специфику

конструкции и работы ЭЦН. П. Ляпков ввел коэффициенты пересчета и создал номограмму для определения коэффициентов пересчета характеристики погружных центробежных насосов с воды на жидкость другой вязкости. Методику, анализ и выводы Ляпков П.Д. изложил в статье «О влиянии вязкости жидкости на характеристику погружных центробежных насосов» [1], основными положениями которой пользуются практически все разработчики и пользователи этого вида оборудования.

В работах Ляпкова, Шищенко, Иппена, Суханова и других авторов было отмечено, что влияние вязкости на характеристику насоса определяется главным образом величиной числа Рейнольдса (Re). Чем меньше число Re, тем сильнее характеристика насоса отклоняется от характеристики его работы на воде [1, 4, 5, 6].

Как отмечает П. Ляпков, в теоретических исследованиях, а также при анализе и обобщении экспериментальных данных по вопросу влияния вязкости жидкости на работу центробежных насосов различными исследователями применялись различные формы числа Re (табл. 1). Однако с практической точки зрения число Re в виде формулы (1) наиболее

удобно, так как для его определения не требуется знания размеров проточной части насосов, которые обычно бывают неизвестными эксплуатационникам. Поэтому Ляпков использовал ее в своих расчетах.

$$Re = \frac{\sqrt[3]{\omega \cdot Q_{\text{Е.ОПТ}}^2}}{\gamma} \quad (1)$$

И это справедливо, потому что нельзя указать универсальную форму числа Re, включающую какой-либо конкретный линейный размер насоса и конкретную скорость потока в насосе, которая была бы одинакова, характерна для всего насоса во всем диапазоне изменения числа Re, поскольку проточные каналы рабочих ступеней насоса относительно коротки и имеют сложную конфигурацию, а жидкость в разных точках каналов имеет различную скорость.

Анализ всех известных методик показал, что формула (1), которую использовал Ляпков П.Д., наиболее удобна для определения числа Re, используемого для расчетов ЭЦН.

r_2 , D_2 – выходной радиус и диаметр рабочего колеса; D_0 – входной диаметр рабочего колеса; b_2 – ширина рабочего колеса на выходе; φ_2 – коэффициент стеснения площади выхода из колеса

его лопатками; n – число оборотов вала насосов минуту; ω – угловая скорость вращения вала насоса; $Q_{в.опт.}, H_{в.опт.}$ – подача и напор одной ступени насоса в оптимальном режиме при работе на пресной воде нормальной температуры; $Q_{в.опт.}, H_{в.опт.}$ – подача и напор одной ступени насоса в оптимальном режиме при работе на жидкости, вязкость которой отлична от вязкости пресной воды при нормальной температуре; $Q_{опт.}$ – подача насоса в оптимальном режиме при работе насоса на жидкости любой вязкости.

Однако все указанные выше работы проводились для ступеней ЭЦН, созданных по «классической» конструктивной схеме и изготовленных в основном из серого чугуна методом отливки в земляные формы. Современные конструкции рабочих колес и направляющих аппаратов имеют очень существенные, если не сказать радикальные, отличия и изготавливаются по совершенно иным технологиям. Эти изменения, а также возрастающие потребности в использовании заставили задаться вопросом о возможности применения теории пересчета характеристик ЭЦН при работе на вязкой жидкости. Несоответствие заинтересовало, и мы решили исследовать влияние вязкости жидкости на рабочую характеристику ЭЦН с учетом современных программ расчета и технологий изготовления проточных частей рабочих ступеней погружных центробежных насосов.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытания проводились на установке УНГВ-1, созданной для испытаний ступеней ЭЦН на кафедре машин и оборудования нефтяной и газовой промышленности РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина. Общий вид установки представлен на рисунке 1.

На установке сборка ступеней ЭЦН располагается вертикально, вращение рабочих колес осуществляется с помощью вала, крутящий момент которому передается при помощи двух переходных муфт (расположенных внутри основания 11) и вала 4. Герметичность между рамой и валом 4 обеспечивается при помощи сальниково-подшипникового узла 6, состоящего из двух манжет и самоцентрирующегося подшипника. Подвод жидкости осуществляется к

Таблица 1. Формы числа Re, использованные исследователями при анализе опытных данных испытаний работы центробежных насосов на жидкостях различной вязкости

№ формулы	Форма числа Re	Источник (литература)
1	$Re = \frac{r_2^2 \cdot \omega \cdot u_2 \cdot D_2}{\gamma}$	[7, 8, 9, 10, 11]
2	$Re = \frac{r_2 \cdot b_2 \cdot \omega}{\gamma}$	[12]
3	$Re = \frac{D_2 \cdot \sqrt{H_{опт}}}{\gamma}$	[8]
4	$Re = \frac{n \cdot Q_{опт}}{\gamma \cdot \sqrt{H_{е.опт}}}$	[13]
5	$Re = \frac{n \cdot Q_{опт}}{\gamma \cdot \sqrt{H_{опт}}}$	[14]
6	$Re = \frac{Q_{опт}}{\gamma \cdot D_2}$	[8]
7	$Re = \frac{Q_{е.опт}}{\gamma \cdot D_2}$	[15, 16]
8	$Re = \frac{Q_{опт}}{\gamma \cdot D_0}$	[8, 17]
9	$Re = \frac{Q_{е.опт}}{\gamma \cdot \sqrt{4 \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot \phi_2}}$	[18, 19, 20]
10	$Re = \frac{\sqrt[3]{n \cdot Q^2}}{\gamma}$	[21, 22]

r_2, D_2 – выходной радиус и диаметр рабочего колеса; D_0 – входной диаметр рабочего колеса; b_2 – ширина рабочего колеса на выходе; ϕ_2 – коэффициент стеснения площади выхода из колеса его лопатками; n – число оборотов вала насосов минуту; ω – угловая скорость вращения вала насоса; $Q_{в.опт.}, H_{в.опт.}$ – подача и напор одной ступени насоса в оптимальном режиме при работе на пресной воде нормальной температуры; $Q_{в.опт.}, H_{в.опт.}$ – подача и напор одной ступени насоса в оптимальном режиме при работе на жидкости, вязкость которой отлична от вязкости пресной воды при нормальной температуре; $Q_{опт.}$ – подача насоса в оптимальном режиме при работе насоса на жидкости любой вязкости.

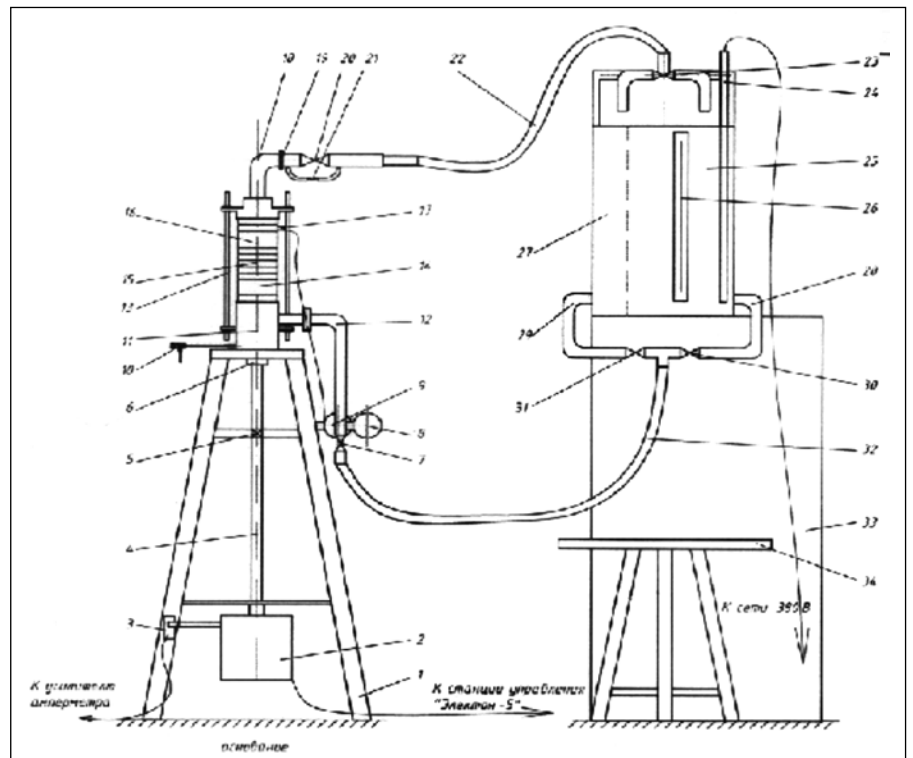


Рис. 1. Установка УНГВ-1 для испытания ступеней ЭЦН

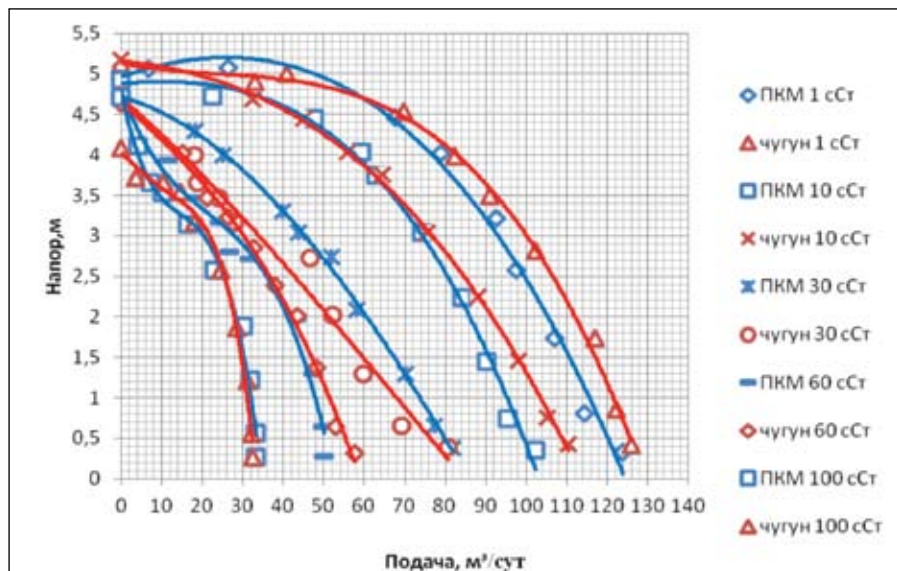


Рис. 2. Зависимости «Н – Q» для ступеней, выполненных из чугуна и полимера при перекачке жидкости вязкостью 1 сСт, 10 сСт, 30 сСт, 60 сСт, 100 сСт

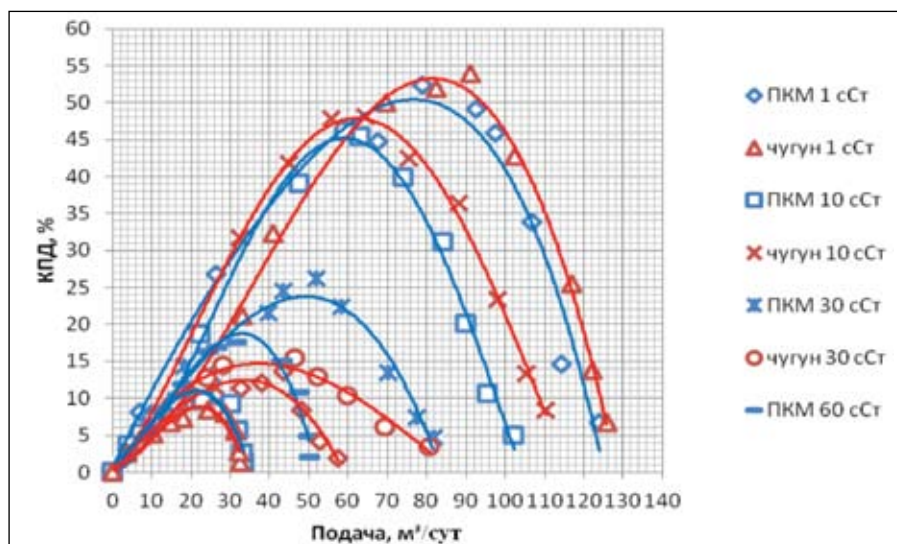


Рис. 3. Зависимости «КПД – Q» для ступеней, выполненных из чугуна и из полимера, при перекачке жидкости вязкостью 1 сСт, 10 сСт, 30 сСт, 60 сСт, 100 сСт

нижней ступени через основание 11, отвод жидкости производится через нагнетательную линию 18. На нагнетательной линии установлены задвижка

20 (кран шаровой) и байпас с краном 21 для обеспечения точной регулировки расхода жидкости. Расход жидкости определяется с помощью мерного бака

25, откуда через запорную систему по подающему трубопроводу 32 жидкость попадает на прием сборки ступеней. Параллельно расход жидкости определяется и с помощью расходомера типа «Взлет». Давление в подающем и нагнетательном трубопроводах замеряется с помощью манометров 8 и 9. Сборка ступеней 15 установлена на раме 1, в нижней части которой размещен приводной электродвигатель 2 с системой замера крутящего момента 3. Для предотвращения резонансной разбалансировки вала 4 на определенной его длине устанавливается промежуточный самоцентрирующийся подшипник 5.

УСЛОВИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

При испытаниях на стенде определились величины давления жидкости на входе и выходе из сборки ступеней; расход модельной жидкости; момент на валу стенда, частота вращения ротора насоса.

На основании этих величин строятся характеристики ступеней: $H(Q)$, $N(Q)$, $\eta(Q)$.

При коэффициенте вязкости рабочей жидкости – 1 сСт, 10 сСт, 30 сСт, 60 сСт и 100 сСт.

При испытании в сборке использовалось по 5 рабочих ступеней. Модельная рабочая жидкость – ньютоновская, на основе воды, глицерина и тосола.

Контроль вязкости производился вискозиметром Гепплера до начала испытания и после. При получении и последующей обработке результатов испытаний допускаемые отклонения рабочих данных соответствовали 2-му классу точности измерений.

Таблица 2. Пересчетные коэффициенты при работе ступени на жидкости с различной вязкостью, рассчитанные по формулам (2)

	Вязкость	$K_{0,75Q_v}$	K_{Q_v}	$K_{1,25Q_v}$	$K_{0,75N_v}$	K_{N_v}	$K_{1,25N_v}$	$K_{0,75\eta_v}$	K_{η_v}	$K_{1,25\eta_v}$
	Чугун 5-80	1 сСт	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
10 сСт		0,7561	0,7561	0,7561	0,9359	0,93827	1,03509	0,92473	0,90056	0,98864
30 сСт		0,45122	0,45122	0,45122	0,71581	0,69877	0,80702	0,29677	0,27392	0,31818
60 сСт		0,40854	0,40854	0,40854	0,71154	0,67901	0,7193	0,24731	0,23452	0,25909
100 сСт		0,26829	0,26829	0,26829	0,7094	0,7284	0,76491	0,16774	0,1651	0,17045
ПКМ 5-80	Вязкость	$K_{0,75Q_v}$	K_{Q_v}	$K_{1,25Q_v}$	$K_{0,75N_v}$	K_{N_v}	$K_{1,25N_v}$	$K_{0,75\eta_v}$	K_{η_v}	$K_{1,25\eta_v}$
	1 сСт	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
	10 сСт	0,76623	0,76623	0,76623	0,94316	0,98987	1,08993	0,86957	0,88235	0,89773
	30 сСт	0,63636	0,63636	0,63636	0,73263	0,6962	0,70144	0,46957	0,46667	0,48409
	60 сСт	0,42857	0,42857	0,42857	0,65895	0,68354	0,71942	0,3587	0,36863	0,35909
100 сСт	0,27273	0,27273	0,27273	0,67789	0,74684	0,82734	0,21304	0,21569	0,22273	

Таблица 3. Пересчетные коэффициенты при работе ступени на жидкости с различной вязкостью, рассчитанные по формулам (3, 4, 5, 6)

Чугун 5-80	Вязкость	$K_{0,75Q_v}$	K_{Q_v}	$K_{1,25Q_v}$	$K_{0,75H_v}$	K_{H_v}	$K_{1,25H_v}$	$K_{0,75\eta_v}$	K_{η_v}	$K_{1,25\eta_v}$
	1 сСт	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
	10 сСт	0,98267	0,98529	0,98705	0,94875	0,95662	0,96187	0,64968	0,67586	0,69481
	30 сСт	0,95591	0,96258	0,96705	0,93922	0,94877	0,95509	0,45635	0,49698	0,52639
	60 сСт	0,92053	0,93255	0,94061	0,91338	0,92634	0,93664	0,28265	0,33627	0,37507
	100 сСт	0,87732	0,89588	0,90831	0,91891	0,9326	0,94146	0,12003	0,18579	0,2334
ПКМ 5-80	Вязкость	$K_{0,75Q_v}$	K_{Q_v}	$K_{1,25Q_v}$	$K_{0,75H_v}$	K_{H_v}	$K_{1,25H_v}$	$K_{0,75\eta_v}$	K_{η_v}	$K_{1,25\eta_v}$
	1 сСт	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
	10 сСт	0,98204	0,98476	0,98658	0,94613	0,9544	0,95992	0,64368	0,67031	0,68958
	30 сСт	0,9543	0,96121	0,96585	0,911	0,925	0,93428	0,44704	0,48837	0,51828
	60 сСт	0,91763	0,93009	0,93844	0,90552	0,92088	0,93095	0,27037	0,32489	0,36437
	100 сСт	0,87285	0,89208	0,90497	0,91412	0,92868	0,93809	0,10495	0,17185	0,22027

Таблица 4. Пересчетные коэффициенты при работе ступени на жидкости с различной вязкостью, рассчитанные по формулам (7)

Чугун 5-80	Вязкость	$K_{0,75Q_v}$	K_{Q_v}	$K_{1,25Q_v}$	$K_{0,75H_v}$	K_{H_v}	$K_{1,25H_v}$	$K_{0,75\eta_v}$	K_{η_v}	$K_{1,25\eta_v}$
	1 сСт	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
	10 сСт	0,889	0,90656	0,91842	0,91695	0,92454	0,92995	0,60042	0,63552	0,66274
	30 сСт	0,7275	0,76382	0,7896	0,88887	0,89903	0,90627	0,39937	0,43447	0,4617
	60 сСт	0,57171	0,61789	0,65235	0,85046	0,86312	0,87387	0,27253	0,30763	0,33485
	100 сСт	0,44472	0,49244	0,5296	0,84355	0,85786	0,86805	0,17905	0,21414	0,24137
ПКМ 5-80	Вязкость	$K_{0,75Q_v}$	K_{Q_v}	$K_{1,25Q_v}$	$K_{0,75H_v}$	K_{H_v}	$K_{1,25H_v}$	$K_{0,75\eta_v}$	K_{η_v}	$K_{1,25\eta_v}$
	1 сСт	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000	1,00000
	10 сСт	0,88479	0,90295	0,91523	0,91462	0,92243	0,92799	0,59275	0,62784	0,65507
	30 сСт	0,7191	0,75617	0,78255	0,86523	0,87756	0,88633	0,3917	0,4268	0,45402
	60 сСт	0,56141	0,60794	0,64277	0,84359	0,85789	0,86808	0,26485	0,29995	0,32717
	100 сСт	0,43439	0,48197	0,51914	0,83392	0,85365	0,86414	0,17137	0,20647	0,23369

Частота вращения вала электродвигателя поддерживалась с помощью станции управления Электрон-5 на уровне 2910 об./мин. Для каждого значения вязкости модельной жидкости и для каждой сборки ступеней было проведено по три испытания. Все точки на графиках получены путем усреднения данных, полученных при испытании ступеней. Испытания проводились с замером рабочих показателей в 10 рабочих точках по подаче насосной сборки. Запуск насосной сборки в работу производился при полностью закрытой задвижке на нагнетательной линии. Последняя рабочая точка соответствовала полностью открытой задвижке на нагнетательной линии.

РЕЗУЛЬТАТЫ ЭКСПЕРИМЕНТОВ И ИХ АНАЛИЗ

В результате проведения большого количества экспериментов были получены результаты, которые показали, что в ряде случаев при работе на вязкой жидкости характеристики ступеней ЭЦН значительно отличаются от пере-

счетных характеристик, построенных для этих же ступеней с использованием широко применяемых формул П.Д. Ляпкина. В данной статье в качестве примера представлены характеристики ступеней, выполненных из чугуна и поликристаллического полимера (рис. 2, 3), полученные в результате стендовых испытаний.

По полученным в результате эксперимента характеристикам были определены коэффициенты пересчета основных рабочих показателей ступеней при их работе на вязких жидкостях.

Для этого брались значения в рабочих точках, соответствующих оптимальному режиму (максимальный КПД), а также точки с подачами, равными 0,75 и 1,25 от оптимальной подачи. Для этих точек определялись значения напора, мощности и КПД, после чего определялись пересчетные коэффициенты по каждому из рабочих параметров по формулам (2).

$$K_Q = \frac{Q_v}{Q_E}; K_H = \frac{H_v}{H_E}; K_{\eta} = \frac{\eta_v}{\eta_E} \quad (2)$$

Результаты расчета пересчетных коэффициентов сведены в таблицу 2. Для удобства сравниваемые параметры выделены различными цветами (при оптимальной подаче).

Расчет коэффициентов пересчета на вязкую жидкость показал, что при повышении вязкости коэффициенты пересчета резко уменьшаются (рабочие показатели снижаются до 16% от первоначального своего значения).

Для сравнения были проведены расчеты коэффициентов пересчета на вязкую жидкость при помощи формул, выведенных Ляпкиным П.Д. [23].

ПО МЕТОДИКЕ П.Д. ЛЯПКИНА БЫЛИ ОПРЕДЕЛЕННЫ:

1) коэффициент изменения подачи насоса при работе на нефтегазодогозаводной смеси относительно водяной характеристики:

$$K_{Q_v} = 1 - 4,95 \cdot \nu^{0,85} \cdot Q_{об}^{-0,57}, \quad (3)$$

где ν – эффективная вязкость смеси; $Q_{об}$ – оптимальная подача насоса на воде, м³/сут.

2) коэффициент изменения КПД насоса из-за влияния вязкости:

$$K_{\eta v} = 1 - 4,95 \cdot \nu^{0,4} / Q_{об}^{0,27}, \quad (4)$$

Определяется относительная подача на входе в насос в соответствующей точке водяной характеристики насоса:

$$q_{np} = Q_{ж. np} / (Q_{об} \cdot K_{Qv}), \quad (5)$$

3) коэффициент изменения напора насоса из-за влияния вязкости:

$$K_{Hv} = 1 - (1,07 \cdot \nu^{0,6} \cdot q_{np} / Q_{об}^{0,57}), \quad (6)$$

Коэффициенты пересчета, полученные по методике П.Д. Ляпкина, сведены в таблице 3.

Формулы для определения коэффициентов пересчета на вязкой жидкости по методике П.Д. Ляпкина [24]:

$$K_Q = \frac{1}{1 + 363 / Re_c}; \quad K_H = 1 - 5,15 \cdot \left(\frac{Q_E / Q_{E,опт}}{Re_c} \right)^{0,5};$$

$$K_{\eta} = \begin{cases} 0,183 \ln Re_c - 0,859, & \text{если } Re_c < 4624; \\ \frac{1}{1 + 2123 / Re_c}, & \text{если } Re_c \geq 4624 \end{cases} \quad (7)$$

Результаты сведены в таблицу 4.

Были проведены сравнения пересчетных коэффициентов и построены графики зависимости пересчетных коэффициентов от числа Рейнольдса и от коэффициента вязкости перекачиваемой жидкости. Для примера приведены графики (рис. 4–9) при оптимальной подаче.

Анализируя графики на рисунках 4–6, можно увидеть, что результаты расчетов по всем формулам отличны друг от друга, а следовательно, значения по формулам 3–7 не совпадают с формулами 2. Из чего можно сделать вывод, что существует необходимость уточнения формул для коэффициентов пересчета. В ходе анализа была произведена аппроксимация и выявлены математические зависимости для описания полученных значений. Судя по тому, что коэффициенты аппроксимации сильно отличаются от «1,0», а сами кривые не полностью описывают полученные экспериментальные значения, можно выдвинуть предположение о существовании нескольких подобластей, характеризующих различные условия протекания жидкости в проточных частях

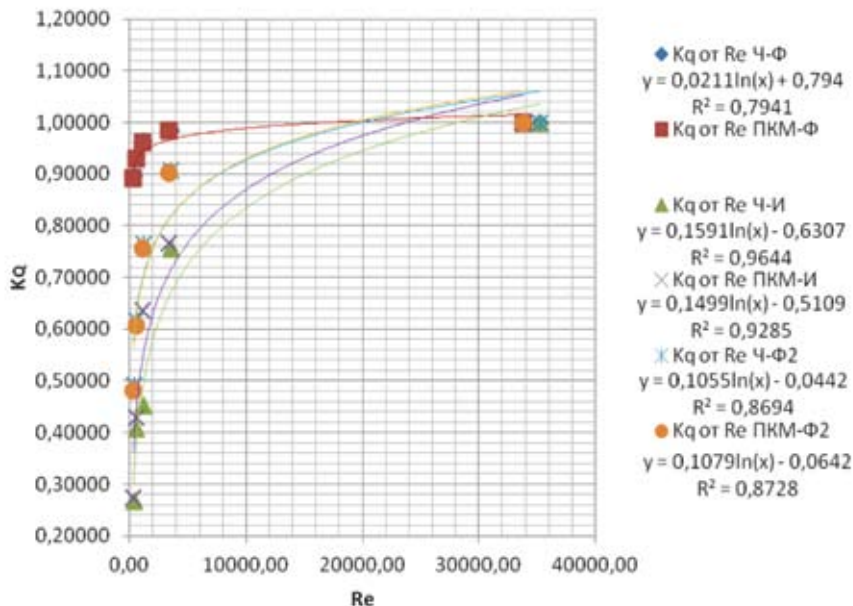


Рис. 4. График зависимости K_Q от числа Re при использовании формул №2–7 (в обозначении Φ – формулы 3–6; И – формулы 2; $\Phi 2$ – формулы 7)

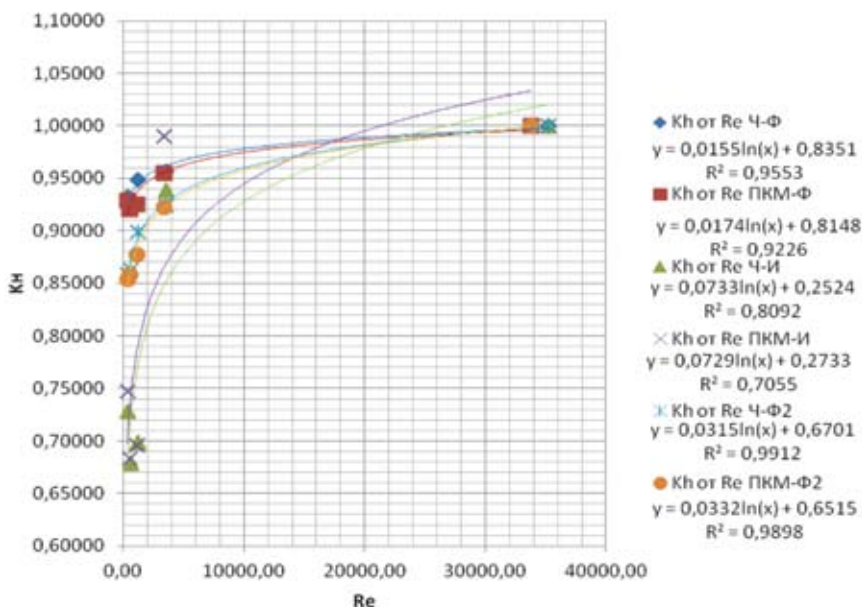


Рис. 5. График зависимости K_H от числа Re при использовании формул №2–7 (в обозначении Φ – формулы 3–6; И – формулы 2; $\Phi 2$ – формулы 7)

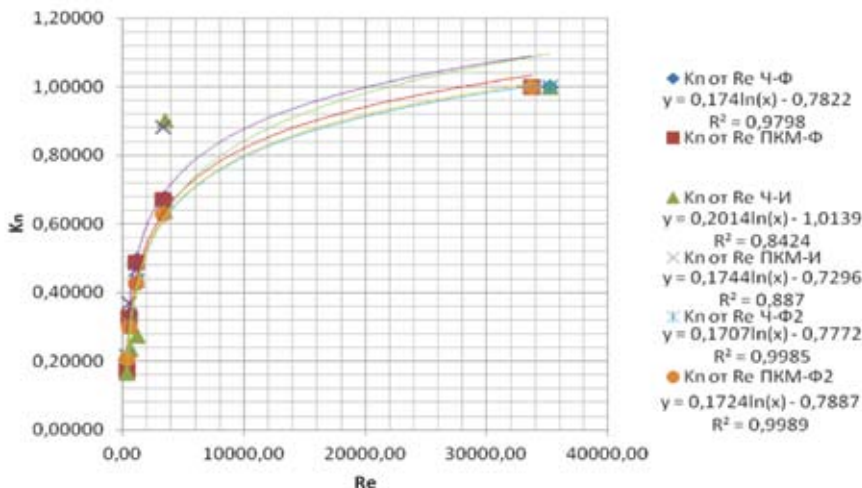


Рис. 6. График зависимости K_n от числа Re при использовании формул №2–7 (в обозначении Φ – формулы 3–6; И – формулы 2; $\Phi 2$ – формулы 7)

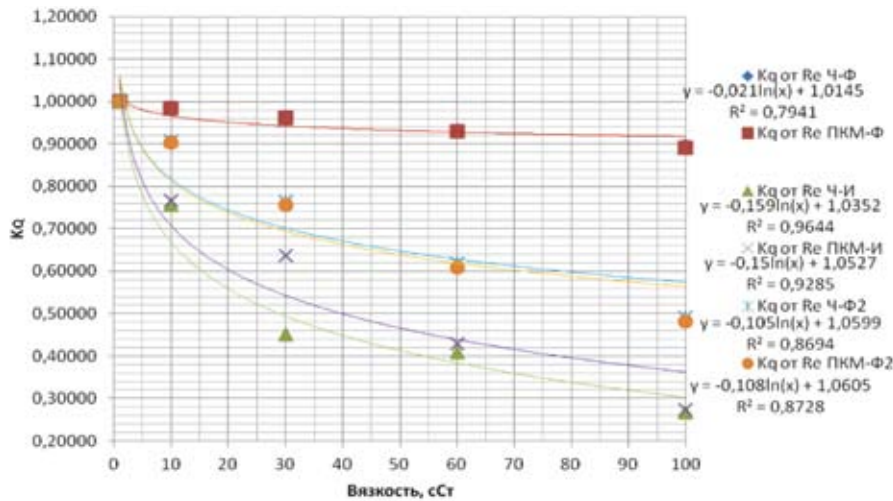


Рис. 7. График зависимости K_0 от вязкости при использовании формул №2-7 (в обозначении Ф – формулы 3-6; И – формулы 2; Ф2 – формулы 7)

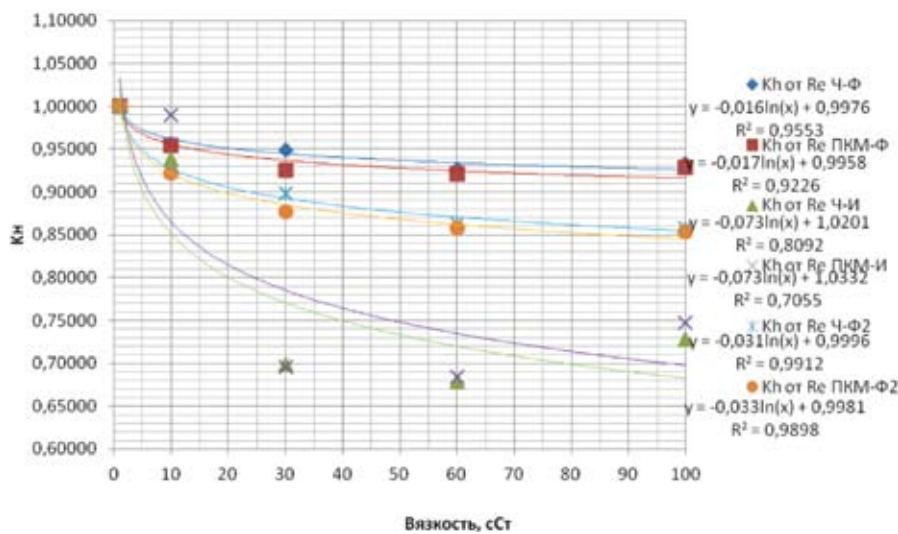


Рис. 8. График зависимости K_h от вязкости при использовании формул №2-7 (в обозначении Ф – формулы 3-6; И – формулы 2; Ф2 – формулы 7)

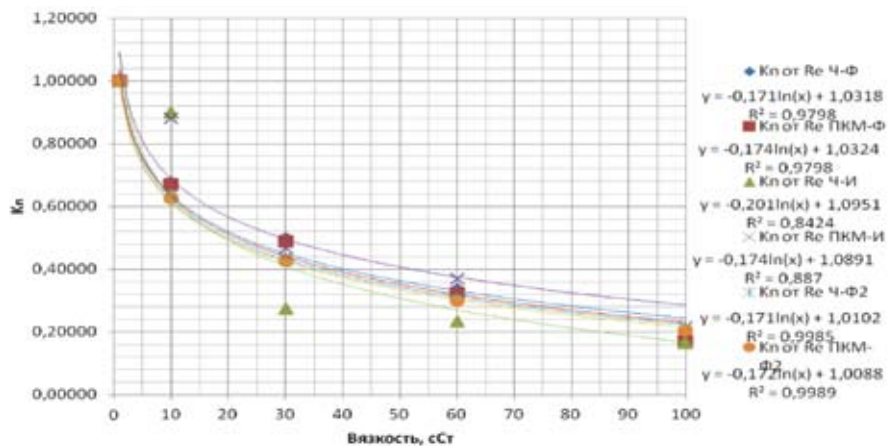


Рис. 9. График зависимости K_n от вязкости при использовании формул №2-7 (в обозначении Ф – формулы 3-6; И – формулы 2; Ф2 – формулы 7)

ступеней. Следовательно, в указанных подобластях должны использоваться различные пересчетные коэффициенты для построения характеристик центробежных насосов типа ЭЦН при их работе на реальных пластовых жидкостях.

ВЫВОДЫ

Анализ результатов стендовых испытаний рабочих ступеней, выполненных по новейшим методикам расчета и с использование различных технологий изготовления, а также анализ большого

числа работ, рассматривающих влияние вязкости жидкости на рабочую характеристику ЭЦН, можно сделать следующие выводы и предположения:

1. Выдвинута гипотеза о том, что радикальное изменение конструкции ступеней ЭЦН и современные технологии их изготовления являются причиной неточности пересчета водяных характеристик ЭЦН при их работе на вязкой жидкости по известным формулам П.Д. Ляпкина.
2. Для проверки данной гипотезы проведены экспериментальные исследования, которые определили изменение характеристик различных по конструкции и технологии изготовления ступеней насоса при их работе на вязких жидкостях.
3. В ходе исследований было выявлено, что при работе ЭЦН на вязких жидкостях можно выделить три области режимов течения жидкости в каналах ступени ЭЦН, для которых есть возможность получить более точные пересчетные зависимости основных показателей работы насоса – подачи, напора, КПД.

Литература:

1. Ляпков П.Д. О влиянии вязкой жидкости на характеристику погружных центробежных насосов. – Труды ВНИИ. – 1964. – Выпуск ХLI. – С. 71-107.
2. Гилев В.Г., Рабинович А.И., Долгих А.В. Исследование распределения давлений в пятиступенчатой сборке погружных насосов при работе на смесях «вода – воздух» / www.povomet.ru/science_files/Nov_doklad_7_2006.pdf.
3. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабиров М.М. Аномальные нефти. – М.: Недра, 1975. – 167 с.
4. Ибатулов К.А. Пересчет характеристик центробежных насосов с воды на нефть. – Баку: Азнефтеиздат, 1952. – 79 с.
5. Шищенко Р.И., Бакланов Б.Д. Насосы в нефтяной промышленности. – Баку: Азнефтеиздат, 1936.
6. Суханов Д.Я. Исследование работы лопастных насосов на вязких жидкостях. – Автореферат. – 1950.
7. Майзель В.М. К вопросу о работе вязких жидкостей в центробежных насосах. – ДВОУ, Техническое издательство, Харьков, 1931.

8. Ippen A.T. *The influence of Viscosity on Centrifugal-Pump Performance.* – *The Trans. of the ASME.* – November, 1946.
9. Davis H., Kottas H. and Moody A.M.G. *The Influence of Reynolds Number on the performance of Turbomachinery.* – *The Trans. of the ASME.* – July, 1951.
10. Syrucek St., Paciga A. *Prace odstredivych cernadel pri cerpani visrosnich kapalin.* – *Sigma Lutin.* – 1955.
11. Rotzoll R. *Untersuchungen an einer langsamläufigen Kreiselpumpe bei verschiedenen Reynoldszahlen. Konstruction im maschinemapparate – und gerätebau.* – 10 Jahrg.-Heft 4, 1958.
12. Раскин Р.М. *О влиянии вязкости на характеристики центробежных насосов / Нефтяное хозяйство, №5, 1954.*
13. Stepanoff A.I. *New Centrifugal Perform when Pumping Viscons Oils.* – *Power.* – March, 1949.
14. Геллер З.И. *К вопросу о пересчете характеристик центробежных насосов с воды на вязкую жидкость. В книге «Вопросы технологии нефти, теплотехники и гидравлики» / Сб. 24. Грозненский нефтяной институт.*
15. Шищенко Р.И. *Буровые и эксплуатационные машины и механизмы.* – Баку: Азнефтеиздат, 1947.
16. Ибатулов К.А. *Новый способ пересчета характеристик центробежных насосов с воды на нефть / Азербайджанское нефтяное хозяйство, №11, 1952.*
17. Rüttschi K. *Reynoldzahl und dimensionslose Kennziffern bei Strömungsmaschinen.* – *Schweizerische Bauzeitung, 73 (1955).* – Heft, №46.
18. Солдатов К.Н. *Метод пересчета характеристик центробежных насосов для случая перекачки вязких жидкостей / Нефтяное хозяйство, №7, 1950.*
19. Ляпков П.Д. *Анализ некоторых особенностей конструирования и эксплуатации погружных центробежных электронасосов для добычи нефти и методика расчета их рабочих органов / Диссертация.* – Москва, 1955.
20. Айзенштейн М.Н. *Центробежные насосы для нефтяной промышленности.* – Гостоптехиздат, 1957.
21. Суханов Д.Я. *Работа лопастных насосов на вязких жидкостях.* – Машгиз, 1952.
22. Жукова Т.И. *Исследование всасывающей способности центробежных насосов, работающих на вязких жидкостях / Диссертация.* – Москва, 1955.
23. Ивановский В.Н., Дарищев В.И., Каштанов В.С. и др. *Скважинные насосные установки для добычи нефти.* – М.: Нефть и газ, 2002, 824 с.
24. Ляпков П.Д., Павленко В.П. *Учебное пособие по дисциплине «Технология и техника добычи нефти».* – М.: МИНГ, 1988. – 91 с.

Ключевые слова: ЭЦН, вязкость, рабочая характеристика ЭЦН, насосы динамические, коэффициенты пересчета.

Видеть больше!

Новый тепловизор testo 885:
создавайте термограммы наивысшего разрешения
на безопасном расстоянии от объекта.



на правах рекламы

We measure it. **testo**



Тепловизор testo 885 идеально подойдет для:

- определения уровня жидкости в резервуарах
- диагностики состояния электрооборудования
- обнаружения утечек из газопроводов
- поиска энергопотерь

- Качество изображения с технологией SuperResolution 640x480 пикселей и температурная чувствительность < 30 мК
- Расширение диапазона измерений до 1200 °С (с высокотемпературной опцией)
- Автоматическое распознавание места замера и сохранение снимков



www.testo.ru
www.termografia.ru

ООО Тэсто Рус • (495) 221-62-13 • info@testo.ru