

Анализ поправочных коэффициентов пересчета характеристики электроцентробежного насоса при влиянии вязкости добываемого флюида

С.С. Пекин

доц., к.т.н., заместитель
заведующего кафедрой¹
Pekinss@gmail.com

П.Л. Янгулов

аспирант¹
Yangulov_Pavel@mail.ru

¹РГУ нефти и газа имени И.М. Губкина, кафедра
«Машины и оборудование нефтяной и газовой
промышленности», Москва, Россия

На данный момент количество лёгкой нефти в нашей стране уменьшается, а доля более вязкой и тяжелой нефти от общего объема добычи становится все больше и больше. В этой статье рассматривается влияние вязкой жидкости на характеристику электроцентробежного насоса (ЭЦН). Так как при эксплуатации электроприводных центробежных насосов нефтяники знают только характеристику насоса при работе на воде, то им приходится производить пересчет характеристики с учетом условий, при которых будет работать насос. Произведено сравнение пересчетных коэффициентов, полученных экспериментально и теоретически по методике П.Д. Ляпкина, которая взята за основу на многих предприятиях нефтяной промышленности.

Материалы и методы

Используется методика определения поправочных коэффициентов пересчета для подачи, напора и КПД электроцентробежного насоса при его работе на вязкой жидкости. Были выполнены испытания рабочих ступеней ЭЦН 5–30 и 5–35.

Ключевые слова

погружной электроцентробежный насос, характеристика насоса, поправочные коэффициенты пересчета, влияние вязкости, число Рейнольдса

На сегодняшний день мы наблюдаем общемировую тенденцию — ухудшение углеводородных запасов. В традиционных районах добычи (Западная Сибирь, Северный Кавказ, Урало-Поволжье, Тимано-Печора) наблюдается увеличение глубины залегания продуктивных пластов, снижение объема запаса, усложнение геологического строения, уменьшение пластовых давлений. Ухудшение коллекторов и не менее важная тенденция — это увеличение доли добычи трудноизвлекаемых нефтей с аномальными физическими и химическими свойствами (высокая плотность и вязкость, концентрации смол и парафинов) [1].

Ежегодно в мире добывается около 4 млрд.т. нефти, а объем вязких (ВН) и тяжелых (ТН) нефтей составляет примерно 500 млн.т., т.е. 1/8 общемировой добычи [2]. В соответствии с прогнозами, при сохранении темпов приращения добычи на существующем уровне, производство трудноизвлекаемой нефти увеличится к 2030 г. в 4 раза, т.к. мировые запасы вязких нефтей значительно превышают запасы нефтей малой и средней вязкости (162 млрд.т.) и составляют по оценкам специалистов около 1 трлн.т. Наиболее крупные запасы этих нефтей находятся в Канаде, Венесуэле, Мексике, США, России, Кувейте и Китае. Запасы вязких и тяжелых нефтей в России составляют около 7 млрд.т. Интерес к такой нефти в нашей стране увеличивается по мере роста цен на нефть и в связи с начавшимся периодом истощения многих крупных и мелких российских нефтяных месторождений [1, 3, 4]. В связи с этим увеличение изучения добычи вязких нефтей

представляет большой интерес, т.к. за счёт разработки запасов вязких и тяжелых нефтей (по данным [5–11]) Россия могла бы ежегодно получать до 25–30 млн.т. нефти дополнительно.

На данный момент центробежные насосы на нефтяном промысле являются одними из самых распространенных машин, на их долю приходится сегодня до 75% всей добычи нефти в России. Поэтому знание о влиянии вязкости жидкости на рабочую характеристику центробежных насосов особенно важно.

Данная работа посвящена насосам, извлекающим нефть из скважины на поверхность. Производители насосного оборудования дают рабочие характеристики на воде, причем в паспорте указываются характеристики насоса в пересчете на 100 ступеней или же на одну ступень. Эксплуатационникам приходится производить подбор оборудования при помощи различных программ подбора оборудования, в которых используются методики пересчета поправочных коэффициентов с воды на вязкую жидкость.

Говоря о влиянии вязкости на перекачиваемую жидкость центробежными насосами, необходимо отметить огромный вклад Ляпкина Петра Дмитриевича. Петр Дмитриевич обобщил данные по испытаниям центробежных насосов и дал свою методику пересчета рабочей характеристики с воды на вязкую жидкость. Ляпков ввел коэффициенты пересчета и создал номограмму для получения коэффициентов пересчета характеристики центробежных насосов с воды на жидкость другой вязкости.

Месторождение	Нефтегазоносный бассейн	Среднее значение вязкости по месторождению, мм ² /с	Среднее значение плотности нефти по месторождению, г/см ³
Чайкинское	Волго-Уральский	16,77	0,8703
Ромашкинское	Волго-Уральский	23,82	0,8721
Ван-Еганское	Западно-Сибирский	294,7	0,8946
Приобское	Западно-Сибирский	31,87	0,8724
Самотлорское	Западно-Сибирский	10,34	0,8537
Усинское	Тимано-Печорский	2588,44	0,9266
Мамонтовское	Западно-Сибирский	39,22	0,8830
Макаровское	Волго-Уральский	86,45	0,9413
Новоазинское	Волго-Уральский	35,73	0,8915
Русское	Западно-Сибирский	583,42	0,9383
Федоровское	Западно-Сибирский	37,7	0,8670
Арланское	Волго-Уральский	31,69	0,8951
Ярегское	Тимано-Печорский	10785,47	0,9443

Табл. 1 — Распределение основных уникальных месторождений с вязкой и тяжелой нефтью на территории России [2]

Методику, анализ и выводы Ляпков изложил в статье «О влиянии вязкости жидкости на характеристику погружных центробежных насосов».

Главной целью большинства исследований, выполненных до настоящего времени в области изучения влияния вязкости жидкости на характеристику центробежного насоса, является разработка способа пересчета водяной характеристики центробежного насоса на жидкость заданной вязкости. Известно более 20 попыток разработать такой способ. Со своей стороны мы решили провести свои исследования и получить результаты испытаний, согласно которым будут подтверждаться уже известные утверждения при пересчете с воды на вязкую жидкость (за основу взят способ пересчета Ляпкова П.Д.). А также будет внесено дополнение в формулы пересчета, с учетом современного исполнения проточных частей рабочих ступеней ЭЦН и применяемых материалов (чугунные и комбинированные с пластиком ступени). В связи с изменением технологии изготовления рабочих ступеней ЭЦН, выявлено, что поправочные коэффициенты пересчета с воды на вязкую жидкость вычисленные по методике 60-х годов XX века, имеют отклонения от экспериментальных данных.

В работах Ляпкова П.Д., Шищенко Р.И., Иппена А.Т., Суханова Д.Я. и др. 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 [12, 13].

Как отмечает Ляпков П.Д., 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. 2). 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 её использовал в своих расчетах.

$$Re = \frac{\sqrt[3]{\omega \cdot Q_{v,onn}^2}}{\gamma} \quad (1)$$

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. Так как проточные каналы рабочих ступеней насоса относительно коротки и имеют сложную конфигурацию, а жидкость в разных точках каналов имеет различную скорость. Любое нарушение распределения скоростей потока, вызванное, например, изменением площади или направления течения, изменяет структуру потока в канале. Т.е. одно и то же значение числа Рейнольдса не обеспечивает подобия потоков. Так как переход от ламинарного к турбулентному движению может произойти в случае применения не прямых труб при резко отличающихся числах Рейнольдса [14].

Для такого потока нет способа вычисления коэффициента трения f , в ряде случаев (например, в каналах рабочего колеса и спирального отвода) определение точной длины канала или площадей сечения невозможно.

Более того, потеря на трение становится незначительной по сравнению с дополнительными потерями от завихрений, вызванными возмущающими элементами. Потери, связанные с вихреобразованием, подчиняются иным законам, чем потери трения.

Для прямой трубы требуется длина, равная 20–40 диаметрам (а по некоторым исследованиям ещё большая), для формирования установившегося профиля скоростей [16]. Однако каналы центробежного насоса не имеют такой длины. Большая часть этих каналов характеризуется переменными сечениями, чаще всего увеличивающимися; некоторые из них неподвижны, а другие находятся во вращательном движении.

В своей работе по изучению центробежных насосов и влияния вязкой жидкости на рабочую характеристику насосов, Степанов А.И. утверждает, что распределение скоростей, потери напора (потери на трение и завихрения) и характер потока (ламинарный или турбулентный) не могут быть определены для криволинейного, расширяющегося и сужающегося потоков только на основании числа Рейнольдса.

На основании чисто теоретических заключений невозможно установить характеристику насоса, перекачивающего вязкий нефтепродукт, даже если известна характеристика его на воде. Из рассмотрения этого вопроса с помощью анализа размерностей видно. Что зависимость между напором и подачей, при постоянном числе оборотов является экспериментальной, причем каждому значению вязкости соответствует особая кривая Q-H.

Рассматривая законы подобия для лопастных насосов, необходимо отметить, что имеются различные точки зрения. Одни утверждают. Что законы подобия сохраняют силу при перекачивании жидкостей с любым значением вязкости, но с меньшей точностью, чем для воды (Степанов А.И., Ибатулов К.А.), другие — считают, что необходимо вводить поправочный коэффициент для того, чтобы избежать «значительных ошибок» (Караев М.А., Азизов А.Г., Рагимов А.М., Рзаева Г.Г.). Вообще центробежный насос в целом не просто труба и здесь нарушаются качественные и количественные показатели трубной гидравлики, например, в оценке критического числа Рейнольдса. Поэтому утверждение, приведенное в работе [17], что при равенстве чисел Рейнольдса условия динамического подобия в натуре и модели центробежного насоса соблюдаются, не может быть принято за основу.

Таким образом, говоря о том, что при постоянном числе оборотов и увеличении вязкости кривая Q-H снижается так, что коэффициент быстроходности на режиме максимального КПД остается постоянным. Согласно исследованиям, опубликованным в [18], вязкость жидкости меньше влияет на

№ формулы	Форма числа Re
1	$Re = \frac{r_2^2 \cdot \omega}{\gamma} \sim \frac{u_2 \cdot D_2}{\gamma}$
2	$Re = \frac{r_2 \cdot b_2 \cdot \omega}{\gamma}$
3	$Re = \frac{D_2 \cdot \sqrt{H_{y,onn}}}{\gamma}$
4	$Re = \frac{n \cdot Q_{y,onn}}{\gamma \cdot \sqrt{H_{e,onn}}}$
5	$Re = \frac{n \cdot Q_{y,onn}}{\gamma \cdot \sqrt{H_{y,onn}}}$
6	$Re = \frac{Q_{y,onn}}{\gamma \cdot D_2}$
7	$Re = \frac{Q_{e,onn}}{\gamma \cdot D_2}$
8	$Re = \frac{Q_{y,onn}}{\gamma \cdot D_0}$
9	$Re = \frac{Q_{e,onn}}{\gamma \cdot \sqrt{4 \cdot D_2 \cdot b_2 \cdot \varphi_2}}$
10	$Re = \frac{\sqrt[3]{n \cdot Q^2}}{\gamma}$

Табл. 2 — Формы числа Re, использовавшиеся исследователями при анализе опытных данных испытаний работы центробежных насосов на жидкостях различной вязкости [15]

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 насоса в минуту; ω — угловая скорость вращения вала насоса; $Q_{e,onn}$, $H_{e,onn}$ — подача и напор одной ступени насоса в оптимальном режиме при работе на пресной воде нормальной температуры; $Q_{y,onn}$, $H_{y,onn}$ — подача и напор одной ступени насоса в оптимальном режиме при работе на жидкости, вязкость которой отлична от вязкости пресной воды при нормальной температуре; Q_{onn} — подача насоса в оптимальном режиме при работе насоса на жидкости любой вязкости

уменьшение КПД лопастных насосов с высоким значением n_s и больше влияет на КПД лопастных насосов с низким значением n_s . Что подтверждает предположение о том, что для РК различного коэффициента быстроходности существует «своя» зависимость для определения пересчетных коэффициентов. Согласно проведенным испытаниям в данной работе выявлено, что большинство методов пересчета характеристик центробежного насоса с воды на более вязкую жидкость является приближенными, особенно при $Q < Q_{\text{онт}}$ или $Q > Q_{\text{онт}}$ и не могут считаться универсальными. Такого же мнения придерживаются и другие исследователи [18, 19, 20]. Хотя они считают, что коэффициент по напору K_H определяется при помощи номограммы (для $Q \geq 20 \text{ м}^3/\text{час}$, $N = 4 \dots 200$), без использования числа Re , запись которого может осуществляться с применением различных геометрических величин центробежного насоса.

В свою очередь, Степанов утверждает, что при перекачивании воды можно пренебречь влиянием числа Рейнольдса, и законы подобия справедливы; при перекачивании вязких жидкостей число Рейнольдса является решающим фактором, и отклонения от динамического подобия всё более усиливаются по мере роста вязкости.

Необходимо отметить, что при перекачивании вязких нефтепродуктов потребляемая мощность насоса увеличивается на одну и ту же величину на широком диапазоне подач. Такое увеличение вызвано возрастанием потери на дисковое трение. Если бы можно было вычислить величину этой потери, то появилась бы возможность подсчета потребляемой мощности и КПД при перекачивании вязких жидкостей. В этом случае для определения значений параметров насоса потребовался бы только один (по методике Степанова) поправочный коэффициент — для напора. Однако точное вычисление потерь на дисковое трение и на трение в уплотнительных кольцах представляет значительные трудности, так как температура жидкости в зазорах колец и в полостях между дисками колеса и стенками корпуса может сильно отличаться от температуры перекачиваемой жидкости.

Таким образом, необходимо сделать вывод о том, что определение числа Рейнольдса является не универсальным и каждый автор производит определение по своему усмотрению.

Рассмотрим сечение на выходе рабочего колеса. В связи с тем, что $V_{\text{отт}} = \frac{Q}{F} = \frac{Q}{a_2 \cdot b_2}$, где a_2 — ширина рассматриваемого сечения, b_2 — высота рассматриваемого сечения, Q — подача рабочего колеса в определенном режиме, F — площадь рассматриваемого сечения, характерный линейный размер — радиус заднего диска колеса r_2 , то Рейнольдс будет равен:

$$Re = \frac{\rho v d}{\mu} = \frac{v d}{\gamma} = \frac{Q \cdot r_2}{a_2 \cdot b_2 \cdot \gamma} \quad (2)$$

Как уже отмечалось выше, были проведены испытания рабочих ступеней ЭЦН (ЭЦН-5-30 из нирезиста и жидкокристаллического полимера).

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 (3).

$$K_Q = \frac{Q_Y}{Q_H}; K_H = \frac{H_Y}{H_H}; K_{\eta} = \frac{\eta_Y}{\eta_H} \quad (3)$$

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

$$K_Q = \frac{1}{1 + 363/Re_n};$$

$$K_H = 1 - 5,15 \cdot \left(\frac{Q_b/Q_{b,онт}}{Re_n} \right)^{0,5}$$

$$K_{\eta} = \begin{cases} 0,183 \ln Re_n - 0,859, & \text{если } Re_n < 4624; \\ \frac{1}{1 + 2123/Re_n}, & \text{если } Re_n \geq 4624 \end{cases} \quad (4)$$

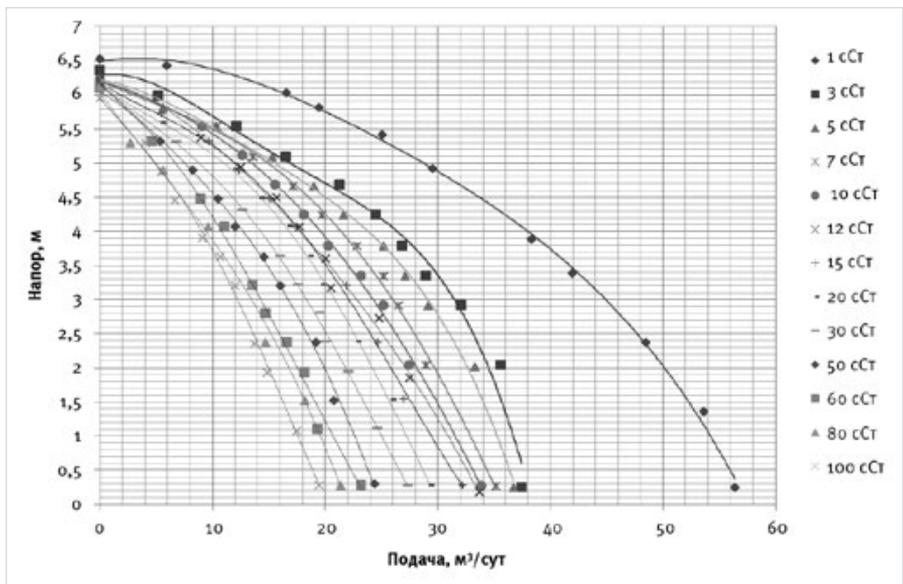


Рис. 1 — Напорно-расходная характеристика ступеней ЭЦН при значении вязкости от 1 сСт до 100 сСт

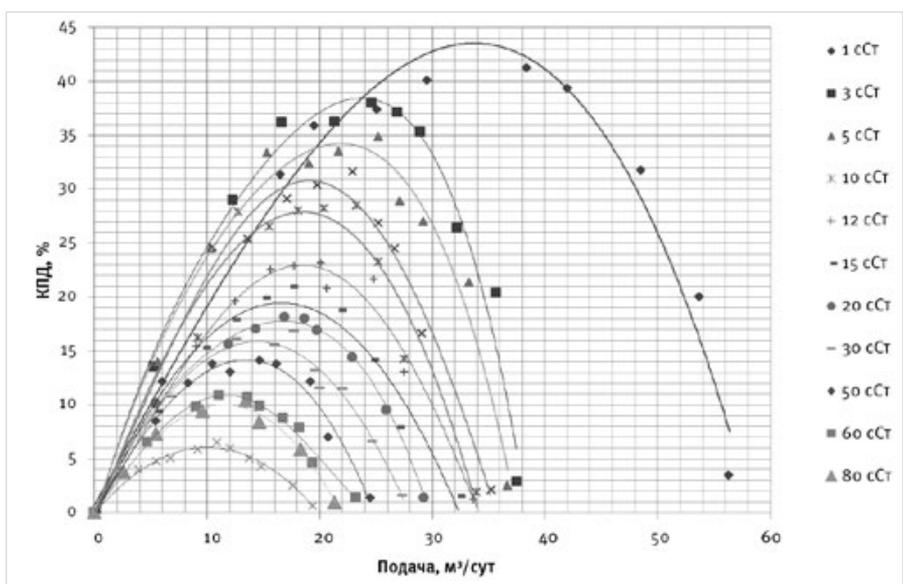


Рис. 2 — Зависимость КПД от подачи ступеней ЭЦН при значении вязкости от 1 сСт до 100 сСт

Условия проведения испытаний

1. При испытаниях определяются величины давления в потоке жидкости на входе и выходе из сборки ступеней; расход модельной жидкости; момент на валу стэнда. На основании этих величин строятся характеристики ступеней: $N(Q)$, $N(Q)$, $n(Q)$;
2. Вязкость рабочей жидкости — 1, 3, 5, 7, 10, 12, 15, 20, 30, 50, 60, 80, 100 сСт;
3. Колебание вязкости рабочей жидкости — не более $\pm 2\%$;
4. Плотность рабочей жидкости №1 — около 1153 кг/м^3 (погрешность — $\pm 5\%$);
5. Плотность рабочей жидкости №2 — около 1203 кг/м^3 (погрешность — $\pm 5\%$);
6. Количество рабочих ступеней в сборке — 5 шт;
7. Модельная жидкость: техническая вода, глицерин с тосолом.
8. Испытываемые ступени, краткое обозначение: Нирезист 5–30 в «плавающей сборке» — Н1, Нирезист 5–30 в «пакетной сборке» — Н2,

Зайтель 5-35	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
	3 сСт	0,93910	0,94919	0,95590	0,96755	0,97052	0,97263	0,72503	0,76158	0,78753
	5 сСт	0,90247	0,91809	0,92861	0,94619	0,95111	0,95462	0,61271	0,65713	0,68982
	7 сСт	0,86858	0,88897	0,90282	0,93544	0,94135	0,94555	0,56526	0,57787	0,61368
	10 сСт	0,82227	0,84859	0,86673	0,92463	0,93152	0,93643	0,49999	0,53509	0,56231
	12 сСт	0,79404	0,82364	0,84422	0,91114	0,91926	0,92505	0,46663	0,50172	0,52895
	15 сСт	0,75516	0,78886	0,81258	0,90540	0,91405	0,92021	0,42579	0,46089	0,48811
	20 сСт	0,69818	0,73700	0,76480	0,89580	0,90533	0,91211	0,37314	0,40824	0,43547
	30 сСт	0,60663	0,65134	0,68432	0,88721	0,89752	0,90487	0,29894	0,33404	0,36126
	50 сСт	0,48059	0,5285	0,56535	0,86671	0,87889	0,88758	0,20546	0,24056	0,26778
60 сСт	0,43537	0,48296	0,52013	0,83776	0,85260	0,86316	0,17210	0,20720	0,23442	
80 сСт	0,36641	0,41196	0,44840	0,82602	0,84193	0,85326	0,11945	0,15455	0,18177	
100 сСт	0,31630	0,35916	0,39406	0,80352	0,82148	0,83428	0,07862	0,11371	0,14094	

Табл. 4 — Поправочные коэффициенты ступеней, рассчитанные по формулам (4) из материала Зайтель
 $K_{0,75Q_v}$ — коэффициент пересчета для подачи при режиме $0,75Q_v$, где Q_v — оптимальная подача; K_{Q_v} — коэффициент пересчета для подачи при режиме Q_v ; $K_{1,25Q_v}$ — коэффициент пересчета для подачи при режиме $1,25Q_v$; $K_{0,75H_v}$ — коэффициент пересчета для напора при режиме $0,75Q_v$; K_{H_v} — коэффициент пересчета для напора при режиме Q_v ; $K_{1,25H_v}$ — коэффициент пересчета для напора при режиме $1,25Q_v$; $K_{0,75\eta_v}$ — коэффициент пересчета для КПД при режиме $0,75Q_v$; K_{η_v} — коэффициент пересчета для КПД при режиме Q_v ; $K_{1,25\eta_v}$ — коэффициент пересчета для КПД при режиме $1,25Q_v$

Зайтель 5-35	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
	3 сСт	0,66667	0,66667	0,66667	0,94951	1,01176	1,12795	0,90331	0,90780	0,89757
	5 сСт	0,61111	0,61111	0,61111	0,94757	1,00235	1,12795	0,81425	0,80851	0,83019
	7 сСт	0,52778	0,52778	0,52778	0,97476	1,03529	1,18519	0,71501	0,72813	0,76280
	10 сСт	0,51389	0,51389	0,51389	0,96505	0,98353	1,08754	0,65394	0,65957	0,68464
	12 сСт	0,50000	0,50000	0,50000	0,92233	0,92941	1,02694	0,52417	0,54374	0,57682
	15 сСт	0,47222	0,47222	0,47222	0,94757	0,98118	1,07744	0,46565	0,45863	0,47709
	20 сСт	0,45833	0,45833	0,45833	0,93204	0,95765	1,01010	0,41476	0,42080	0,44205
	30 сСт	0,40278	0,40278	0,40278	0,91262	0,92471	1,02357	0,37659	0,37352	0,39623
	50 сСт	0,37500	0,37500	0,37500	0,87379	0,89647	0,99663	0,33333	0,33570	0,35040
60 сСт	0,33333	0,33333	0,33333	0,86408	0,87529	0,94276	0,25700	0,24823	0,25876	
80 сСт	0,31944	0,31944	0,31944	0,80583	0,82353	0,90909	0,23664	0,23641	0,25067	
100 сСт	0,30556	0,30556	0,30556	0,81553	0,80000	0,82492	0,15013	0,14184	0,14016	

Табл. 3 — Поправочные коэффициенты ступеней, рассчитанные по формулам (3) из материала Зайтель

Фортрон 5–35 в «пакетной сборке» — Ф1, Зайтель 5–35 в «пакетной сборке» — З1. Испытания проводились с замером рабочих показателей в 10 рабочих точках по подаче насосной сборки.

По полученным характеристикам были определены поправочные коэффициенты (коэффициенты изменения подачи, напора и КПД) при испытании по формулам (3) и при помощи формул, выведенными П.Д.Ляпковым (4). Полученные коэффициенты сведены в таблицы (3–4).

Авторы выражают признательность заведующему кафедрой «Машины и оборудование нефтяной и газовой промышленности» РГУ нефти и газа имени И.М.Губкина Ивановскому Владимиру Николаевичу за ценные советы при рассмотрении проблем, затронутых в данной

статье. А также выражают большую благодарность заведующему кафедральной лабораторией Бабакину Игорю Юрьевичу и директору кафедрального полигона Заруцкому Юрию Васильевичу за помощь в проведении экспериментов на испытательном стенде.

Итоги

Анализируя полученные графики, можем заметить, что коэффициенты пересчета, полученные при эксперименте отличны от коэффициентов пересчета, полученных по формулам. Следовательно, для определения коэффициентов пересчета необходимо вывести новые формулы, имеющие зависимости от безразмерного числа Рейнольдса. Несоответствие коэффициентов пересчета можно объяснить изменением технологии изготовления проточных частей рабочих колес направляющих аппаратов (как

изменение шероховатости поверхности, так и геометрии РК и НА). А также, расхождение между графиками K_Q , K_H , полученных экспериментально и рассчитанных по формулам, могли возникнуть вследствие того, что не был учтен переход из одного режима течения жидкости в другой. В связи с этим, возникает предположение о необходимости использования разных формул для определения K_Q , K_H , как это было сделано ранее для определения K_η . Вполне возможно, что для достижения наименьшей погрешности в получении пересчетных коэффициентов, для каждой конструкции рабочего колеса (определяемого коэффициентом быстроходности и применяемым материалом) необходимо вывести другие формулы. В рабочей области подач от $0,75Q_{opt}$ до $1,25Q_{opt}$, коэффициенты пересчета вычисляются с некоторой погрешностью, в связи с чем не всегда есть возможность определить коэффициенты

пересчета во всей рабочей зоне по известным формулам с приемлемой степенью точности.

Выводы

На основании экспериментальных данных получены формулы поправочных коэффициентов пересчета для подачи, напора и КПД. И в дальнейшем учтены пересчетные коэффициенты по новым формулам при подборе ЭЦН к скважине.

Список используемой литературы

1. Кожубаев А.Г. Не ждать милостей от недр // Нефть России. 2011. №3. С. 18–24.
2. Ященко И.Г. База данных физико-химических свойств трудноизвлекаемых нефтей и информационно-вычислительная система нефтехимической геологии. // Газетно-журнальная информация. Серия «Техника, технология и экономика поисково-разведочных работ на нефть и газ. Нефтепромысловая геология». 2011. №10. С. 43–46.
3. Данилова Е. Тяжелые нефти России // Химический журнал. 2008. №12. С. 34–37.
4. Гарушев А.Р. О роли высоковязких нефтей и битумов как источнике углеводородов в будущем // Нефтяное хозяйство. 2009. №3. С. 65–67.
5. Макаревич В.Н., Искрицкая Н.И., Богословский С.А. Ресурсный потенциал тяжелых нефтей Российской Федерации: перспективы освоения // Нефтегазовая геология. Теория и практика. 2010. Т.5. №2. [Электронный ресурс]. http://www.ngtr.ru/rub/6/29_2010.pdf (дата обращения 25.02.2013)
6. Алекперов В.Ю. Нефть новой России. Ситуация, проблемы, перспективы. М.: Древлехранилище, 2007. 688 с.
7. Максутов Р., Орлов Г., Осипов А. Освоение запасов высоковязких нефтей в России // Технологии ТЭК. 2005. №6. С. 36–40.
8. Назьев В. Остаточные, но не второстепенные // Нефтегазовая вертикаль. 2000. №3. С. 21–22.
9. Антониади Д.Г., Валуйский А.А., Гарушев А.Р. Состояние добычи нефти методами повышения нефтеизвлечения в общем объеме мировой добычи // Нефтяное хозяйство. 1999. №1. С. 16–23.
10. Гаврилов В.П. Концепция продления «нефтяной эры» России // Геология нефти и газа. 2005. №1. С. 53–59.
11. Запывалов Н.П. Геолого-технологические особенности освоения трудноизвлекаемых запасов // Нефтяное хозяйство. 2005. №6. С. 57–59.
12. Ляпков П.Д. О влиянии вязкой жидкости на характеристику погружных центробежных насосов // Труды ВНИИ. 1964. Выпуск ХLI. С. 71–107.
13. Ибатулов К.А. Пересчет характеристик центробежных насосов с воды на нефть // Азнефтеиздат, 1952. 79 с.
14. Prandtl L. and Tietjens O.G. Applied Hydro- and Aeromechanics. New York: McGraw-Hill, 1934, pp. 43, 52, 53.
15. Ивановский В.Н., Пекин С.С., Янгулов П.Л. Влияние вязкой жидкости на рабочую характеристику погружных электроцентробежных насосов // Территория нефтегаз. 2012. №9. С. 49–55.
16. Степанов А.И. Центробежные и осевые насосы. Теория, проектирование и применение. М.: Машгиз, 1960. 464 с.
17. Ибатулов К.А. Гидравлические машины и механизмы в нефтяной промышленности. М.: Недра, 1972. 286 с.
18. Караев М.А., Азизов А.Г., Рагимов А.М., Рзаева Г.Г. Работа центробежных насосов на вязких жидкостях. Баку: АГНА, 2005. 175 с.
19. Караев М.А., Меликов М.А., Мустафаева Г.А. О коэффициенте быстроходности центробежных насосов и пересчете их характеристики с воды на более вязкую жидкость // Известие высших технических учебных заведений Азербайджана. 2003. №6. С. 24–27.
20. Михайлов А.К., Малюшенко В.В. Лопастные насосы. М.: Машиностроение, 1977. 288 с.
21. Девликамов В.В., Хабибуллин З.А., Кабилов М.М. Аномальные нефти. М.: Недра, 1975. 167 с.
22. Шлихтинг Г. Теория пограничного слоя. М.: Недра, 1974. 712 с.
23. Reynolds O. An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels. Phil. Trans. Roy. Soc. 174, 1883, pp. 935–982.

ENGLISH

PUMPS

The analysis of correction factors of recalculation characteristic of electrical submersible pump at influence viscosity of a prouced fluid

UDC 622.276.53; 621.671.2

Authors:

Sergey S. Pekin — ph.D., assistant head¹; Pekinss@gmail.com

Pavel L. Yangulov — Post graduate student¹; Yangulov_Pavel@mail.ru

¹RSU of oil and gas named after I.M.Gubkin department "Machines and equipment of the oil and gas industry", Moscow, Russian Federation

Abstract

At present time the amount of light oil in our country decreases, and the share of more viscous and heavy oil from total amount of production becomes more and more. In this article influence of viscous liquid on performance of the electrical submersible pump (ESP) is considered. As at operation of the electrical submersible pumps operating staff know only the pump performance during the work on water, they should make recalculation of pump performance taking into account conditions at which the pump will work. Comparison of the recalculating factors received experimentally and theoretically by a methodology of P.D.Lyapkov which is taken as a basis at many companies of oil industry.

Materials and methods

Methodology of definition of correction factors of recalculation for delivery, head and efficiency of the electrical submersible pump at its work on viscous liquid is using. Tests of pump stages of ESP 5–30 and 5–35 had carried out.

Results

Analyzing the received schedules, we can notice that the factors of recalculation received at experiment are distinct from the factors of recalculation received on formulas. Therefore, for definition of factors of recalculation it is necessary to deduce the new formulas having dependences on dimensionless number of Reynolds. It is possible to explain discrepancy of factors of recalculation by change of manufacturing techniques of flowing parts of impellers and diffusers (both change of a roughness of a surface, and geometry of impellers and diffusers). And also, a divergence between schedules of KQ, KH received experimentally and calculated on formulas, could arise because transition of one regime liquid current to the other (presumptively transition from 'conditionally turbulent regime' to 'conditionally laminar regime') wasn't considered. In this regard, there is an assumption of need to use of different formulas for definition of KQ, KH as it was made earlier for Kn definition.

It is quite possible that for achievement of the smallest error in receiving recalculating factors, for each design of the impeller (defined by factor of rapidity) it is necessary to deduce other formulas. In operating range from $0,75 Q_{opt}$ to $1,25 Q_{opt}$, factors of recalculation are calculated with some error in this connection not always there is a possibility to define factors of recalculation in all operating range on known formulas with acceptable degree of accuracy.

Conclusions

On the basis of experimental data formulas of correction factors of recalculation for delivery, head and efficiency are received. And further recalculating factors on new formulas are considered at ESP selection to a well.

Keywords

electrical submersible pump, pump performance, correction factors of recalculation, viscosity influence, Reynolds's number

References

- Kozhubaev A.G. *Nezhdat' milostey ot nedr* [Do not wait for favors from the subsoil]. *Neft Rossii*, 2011, issue 3, pp. 18–24.
- Yashchenko I.G. *Baza dannykh fiziko-khimicheskikh svoystv trudnoizvlekaemykh neftey i informatsionno-vychislitel'naya sistema neftekhimicheskoy geologii* [Database of physical and chemical properties difficult oils and information system of petrochemical geology]. *Gazetno-zhurnal'naya informatsiya. Seriya «Tekhnika, tekhnologiya i ekonomika poiskovo-razvedochnykh rabot na neft' i gaz. Neftepromyslovaya geologiya»*, 2011, issue 10, pp. 43–46.
- Danilova E. *Tyazhelye nefti Rossii* [Heavy Oils of Russia]. *Khimicheskii zhurnal*, 2008, issue 12, pp. 34–37.
- Garushev A.R. *O roli vysokovyazkikh neftey i bitumov kak istochnike uglevodorodov v budushchem* [The role of high oil and bitumen as a hydrocarbon source in the future]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2009, issue 3, pp. 65–67.
- Makarevich V.N., Iskrikskaya N.I., Bogoslovskiy S.A. *Resursnyy potentsial tyazhelykh neftey Rossiyskoy Federatsii: perspektivy osvoeniya* [Resource potential of heavy oils of the Russian Federation: prospects of development]. *Neftegazovaya geologiya. Teoriya i praktika*, 2010, Vol. 5, issue 2. Available at: www.ngtp.ru/rub/6/29_2010.pdf
- Alekperov V.Yu. *Neft' novoy Rossii. Situatsiya, problema, perspektivy* [Oil is the new Russia. The situation, problems and perspectives]. Moscow.: *Drevlekhranilishche*, 2007, 688 p.
- Maksutov R., Orlov G., Osipov A. *Osvoenie zapasov vysokovyazkikh neftey v Rossii* [Mastering high-viscosity oil reserves in Russia]. *Tekhnologii TEK*, 2005, issue 6, pp. 36–40.
- Naz'ev V. *Ostatochnye, no ne vtorostepennye* [Residual, but not secondary]. *Neftegazovaya vertikal*, 2000, issue 3, pp. 21–22.
- Antoniadi D.G., Valuyskiy A.A., Garushev A.R. *Sostoyanie dobychi nefti metodami povysheniya nefteizvlecheniya v obshchem ob'eme mirovoy dobychi* [The state oil production techniques to enhance oil recovery in the total world production]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 1999, issue 1, pp. 16–23.
- Gavrilov V.P. *Kontseptsiya prodleniya «neftyanoy ery» Rossii* [The concept of extending the oil era of Russia]. *Geologiya nefi i gaza*, 2005, issue 1, pp. 53–59.
- Zapivalov N.P. *Geologo-tekhnologicheskie osobennosti osvoeniya trudnoizvlekaemykh zapasov* [Geological and technological features of the development of hard-to-reserves]. *Neftyanoe khozyaystvo*, 2005, issue 6, pp. 57–59.
- Lyapkov P.D. *O vliyaniy vyazkoy zhidkosti na kharakteristiku pogruzhnykh tsentrobezhnykh nasosov* [About influence of viscous liquid on the characteristic of submersible centrifugal pumps]. *Trudy VNII*, 1964, issue XLI, pp. 71–107.
- Ibatulov K.A. *Pereschet kharakteristik tsentrobezhnykh nasosov s vody na neft'* [Recalculation of characteristics of centrifugal pumps from water on oil]. *Aznefteizdat*, 1952, 79 p.
- Prandtl L. and Tietjens O.G. *Applied Hydro- and Aeromechanics*. New York: McGraw-Hill, 1934, pp. 43, 52, 53.
- Ivanovskiy V.N., Pekin S.S., Yangulov P.L. *Vliyaniye vyazkoy zhidkosti na rabochuyu kharakteristiku pogruzhnykh elektrotsentrobezhnykh nasosov* [Influence of viscous liquid on performance of electrical submersible pumps]. *Territoriya Neftegaz*, 2012, issue 9, pp. 49–55.
- Stepanov A.I. *Tsentrobezhnyye i osevoye nasosy. Teoriya, konstruirovaniye i primeneniye* [Centrifugal and axial pumps. Theory, designing and application]. Moscow: *Mashgiz*, 1960, 464 p.
- Ibatulov K.A. *Gidravlicheskie mashiny i mekhanizmy v neftyanoy promyshlennosti* [Hydraulic machines and mechanisms in oil industry]. Moscow: *Nedra*, 1972, 286 p.
- Karaev M.A., Azizov A.G., Ragimov A.M., Rzaeva G.G. *Rabota tsentrobezhnykh nasosov na vyazkikh zhidkostyakh* [Operation of centrifugal pumps on viscous liquids]. Baku: *AGNA*, 2005, 175 p.
- Karaev M.A., Melikov M.A., Mustafaeva G.A. *O koeffitsiente bystrokhodnosti tsentrobezhnykh nasosov i pereschete ikh kharakteristiki s vody na bolee vyazkuyu zhidkost'*. [About factor of rapidity of centrifugal pumps and recalculation of their characteristic from water on more viscous liquid]. *Izvestiya vysshikh tekhnicheskikh uchebnykh zavedeniy Azerbaydzhana*, 2003, issue 6, pp. 24–27.
- Mikhaylov A.K., Malyushenko V.V. *Lopastnye nasosy* [Blade pumps]. Moscow: *Mashinostroeniye*, 1977, 288 p.
- Devlikamov V.V., Khabibullin Z.A., Kabirov M.M. *Anomal'nye nefti* [Abnormal oil]. Moscow: *Nedra*, 1975, 167 p.
- Shlikhting G. *Teoriya pogranichnogo sloya* [Interface theory]. Moscow: *Nedra*, 1974, 712 p.
- Reynolds O. *An experimental investigation of the circumstances which determine whether the motion of water shall be direct or sinuous, and of the law of resistance in parallel channels*. *Phil. Trans. Roy. Soc.* 174, 1883, pp. 935–982.



Компания «КОНФЕРЕНЦ-НЕФТЬ» проводит Всероссийскую производственный семинар по теме: «Оптимальное применение оборудования для ОРЭ, ОРЗид, ВСП. Увеличение эффективности его эксплуатации». Дата проведения семинара **29 мая 2013 года, в гостинице «Парк инн» г. Ижевск.**

Цель планируемого семинара – обмен опытом, оценка эффективности внедрения существующих технологий ОРЭ, ОРЗ в различных нефтегазовых компаниях России, а также обзор современных решений от предприятий производителей технологий в плане автоматизации и оптимизации добычи производства. Семинар рассчитан на аудиторию ведущих технологов, технологов цехов добычи нефти и газа, руководителей и специалистов ПТО добычи нефти, геологических отделов, отделов внутрискважинных работ, разработки НГМ и работы с механизированным фондом и других производственных и научно-технических подразделений..

По вопросам участия в конференции – координатор: Усманова Анна
Тел.: 8 912 751 4792, тел./факс: 8(3412)43 53 86
Email: info@konferenc-neft.ru
www.konferenc-neft.ru

