

Анализ опыта эксплуатации УЭЦН с приводами на основе вентильных электродвигателей

Владимир Павленко, Матвей Гинзбург, ООО «РИТЭК-ИТЦ»

Вентильные электродвигатели (синхронные электродвигатели с постоянными магнитами) не являются изобретением последних лет. Возможность использования таких электродвигателей в качестве привода погружных электронасосов начала обсуждаться специалистами в начале 90-х годов прошлого века. В 1994 г. перспективность использования вентильных электродвигателей в нефтедобычной технике была рассмотрена в ОАО «ЛУКОЙЛ» и их разработка была включена в перечень важнейших для компании НИОКР на 1995 г. Сегодня есть основание считать, что поставленная задача решена. Разработаны и успешно используются в нефтедобывающих предприятиях ОАО «ЛУКОЙЛ», ОАО «РИТЭК» и других компаний первые в мире приводы на основе вентильных электродвигателей как для погружных центробежных насосов, так и для винтовых.

В статье специалистов ООО «РИТЭК-ИТЦ» — разработчика и изготовителя вентильных приводов — приведен анализ результатов их эксплуатации в различных регионах НГК РФ.

Первая скважина (№2070, Гожанское месторождение, Чернушка, ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»), оборудованная УЭЦН с приводом на основе вентильного электродвигателя (ВД), была пущена в эксплуатацию 17 марта 2002 г. Остановилась — 14 февраля 2005 г., проработав 1065 суток. По состоянию на ноябрь 2006 г. УЭЦН и УЭВН с вентильными приводами эксплуатируются в 430 скважинах (см. табл. 1). Максимальная глубина спуска УЭЦН с вентильными приводами — 3000 м, температура в зоне расположения оборудования +110 °С.

Динамика изменения фонда скважин, эксплуатируемых УЭЦН и УЭВН

с вентильными приводами, представлена на **рис. 1**.

Позитивные результаты эксплуатации вентильных приводов на российских месторождениях способствовали продвижению этой инновационной разработки на международный рынок. Совместное предприятие, созданное в ООО «РИТЭК-ИТЦ» с одним из ведущих производителей винтовых насосов для добычи нефти фирмой NETZSCH Oilfield Products, GmbH (Германия), с 2005 г. начало поставлять установки погружных винтовых электронасосов типа RN-1, укомплектованные немецкими насосами NSPCP и низ-

кооборотными вентильными электродвигателями ВВД. Получение международного сертификата качества CE на установки RN-1 позволило начать их эксплуатацию в Германии. Специалистами ООО «РИТЭК-ИТЦ», фирмы NETZSCH и компании Gas de France 10 марта 2006 г. была пущена в эксплуатацию первая установка в скважине №60а на месторождении Vorhop.

Ниже приводится анализ результатов эксплуатации погружных насосных установок с приводами на основе вентильных электродвигателей и оценка их соответствия задачам, поставленным при разработке вентильных приводов [1].

Табл. 1. **Фонд скважин, эксплуатируемый УЭЦН и УЭВН с вентильными приводами**

Предприятие	Всего, ед.	В том числе	
		УЭЦН с ВД	УЭЦН с ВВД
ОАО «ЛУКОЙЛ», всего, в т.ч.	420	338	82
ООО «ЛУКОЙЛ - Западная Сибирь»	186	186	-
ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»	99	99	-
ООО «ЛУКОЙЛ - Нижневолжскнефть»	10	10	-
ООО «ЛУКОЙЛ - Коми»	80	2	78
ОАО «РИТЭК»	44	41	3
ООО «Нарьянмарнефтегаз»	1	-	1
Другие нефтедобывающие предприятия России	10	2	8
Итого	430	340	90

Улучшение функциональных характеристик УЭЦН

Возможность регулирования частоты вращения

В табл. 2 приведены значения фактических частот вращения ВД, работающих в составе УЭЦН, коэффициенты изменения подач, напора, потребляемой насосом мощности и ожидаемого изменения его ресурса в зависимости от частоты вращения.

Анализ данных, приведенных в таблице, показывает, что возмож-

Табл. 2. Фактические диапазоны регулирования частот вращения УЭЦН с ВД (по состоянию на ноябрь 2006 г.)

Кол. скважин, всего		Частота вращения, об./мин.									
		2400	2500	2600	2700	2800	2900	3000	3200	3400	3600
единиц	340	34	58	32	42	46	65	47	13	3	-
%	100	10,0	17,0	9,4	12,4	13,5	19,0	14,0	3,9	0,8	-
Коэф. изменения подачи		0,82	0,86	0,89	0,93	0,96	1,00	1,03	1,10	1,17	1,24
Коэф. изменения напора		0,68	0,74	0,80	0,86	0,93	1,00	1,06	1,21	1,37	1,53
Коэф. изменения мощности		0,56	0,63	0,71	0,80	0,89	1,00	1,10	1,33	1,59	1,89
Оценочный коэф. изменения ресурса		1,78	1,58	1,40	1,25	1,12	1,00	0,91	0,75	0,63	0,53

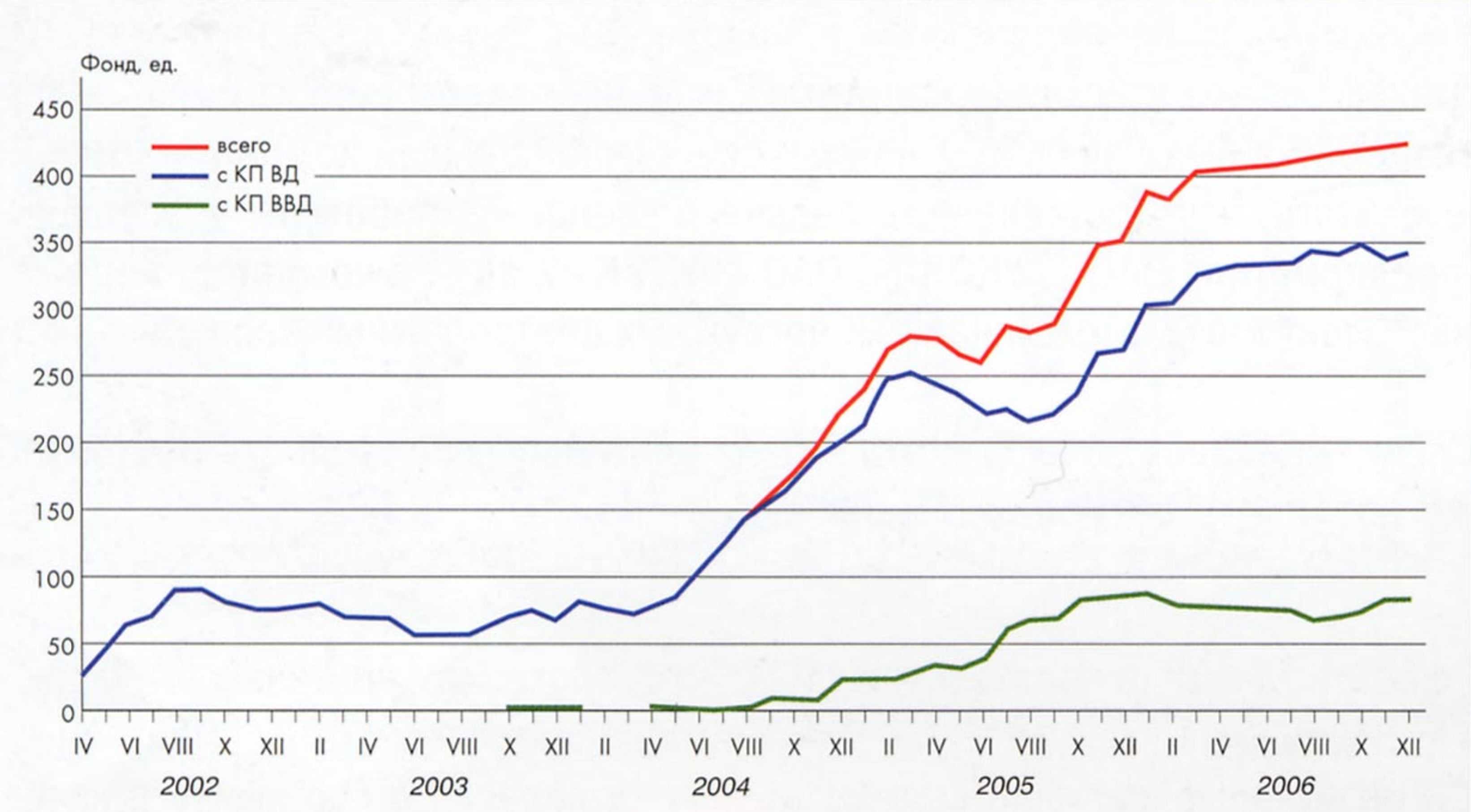


Рис. 1. Динамика изменения действующего фонда скважин, эксплуатируемых УЭЦН и УЭВН с вентильными приводами по состоянию на 12.12.2006 г.

ность регулирования частоты вращения используется в 81% скважин, эксплуатируемых УЭЦН с вентильными приводами. В скважинах, в которых установлены УЭЦН ВД с системой телеметрии, обеспечивается автоматическое поддержание заданного динамического уровня за счет регулирования частоты вращения.

Работа с частотой вращения ниже номинального значения позволила:

- уменьшить отбор продукции из скважины без подъема установки для замены неправильно подобранного насоса на другой, с требуемыми параметрами;
- отказаться от установки штуцера для уменьшения подачи;
- отбирать продукцию из скважин с малыми притоками, которые с использованием нерегулируемых приводов в составе УЭЦН могут эксплуатироваться только в периодическом режиме.

Работа с частотой вращения выше номинального значения позволила:

- увеличить отбор продукции из скважины без подъема установки для замены неправильно подобранного насоса;
- обеспечить требуемое давление на устье.

Анализируя динамику изменения используемых диапазонов регулирования частот вращения в 2004-2005 [2] и в 2005-2006 гг., можно отметить тенденцию повышения эффективности использования этой функциональной характеристики вентильных приводов (см. табл. 3)

Во-первых, увеличилось количество скважин, в которых УЭЦН работает с номинальной частотой вращения, что свидетельствует о том, что полученная информация используется при корректировке расчетов подборов оборудования. Увеличение количества УЭЦН, работающих в диапазоне номинальной частоты

вращения, произошло за счет снижения количества скважин, в которых УЭЦН работают в диапазоне частот вращения ниже номинального значения.

Во-вторых, увеличилось количество скважин, в которых УЭЦН работают с частотой вращения выше номинального значения, что позволяет более полно использовать добывающие возможности скважин. Так, по 63 скважинам, в которых УЭЦН работают с частотой вращения выше номинального значения (средневзвешенная частота вращения 3050 об./мин.), увеличе-

Табл. 3. Фактические используемые диапазоны регулирования частот вращения УЭЦН с ВД, %

Частота вращения, об./мин.	Годы	
	2004-2005	2005-2006
Номинальная, 2910	13	19
Ниже номинальной	77	62,3
Выше номинальной	10	18,7

ние подачи относительно расчётной составило 4,8%.

Возможность работы УЭЦН в скважинах с малыми отборами и нестабильной подачей

При малых отборах и нестабильных подачах ухудшаются условия охлаждения погружных электродвигателей. Техническими условиями на ПЭД теплоотвод регламентируется минимально допустимой скоростью потока откачиваемой жидкости. Более низкий перегрев обмотки вентильных электродвигателей по срав-

Табл. 4. **Сведения о работе малодебитных скважин, эксплуатируемых УЭЦН с ВД в ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» (по состоянию на 12 декабря 2006 г.)**

№ скв.	Месторождение	Дата запуска	Насос	Частота вращения, об./мин.	Дебит, м³/сут.	Скорость охлад. жидкости, м/с	Текущая наработка, сут.
506	Сибирское	02.11.2004	ЭЦН5-18-1700	2900	15	0,07	771
59	Андреевское	03.02.2005	ЭЦН5-18-1350	2600	12	0,05	678
968	Москудьинское	06.04.2005	ЭЦН5-30-1350	2300	15	0,07	616
715	Юрчукское	28.08.2005	ЭЦН5-18-2000	2890	10	0,05	472
401	Гондыревское	20.04.2006	ЭЦН5-18-1200	2700	12	0,05	237

нению с асинхронными [3] позволяет эксплуатировать скважины с режимом отбора продукции, при котором скорость охлаждающей жидкости менее 0,08 м/сек. — минимального значения скорости потока, допускаемого для асинхронных погружных электродвигателей (см. табл. 4).

Возможность освоения скважин после ремонта без остановки УЭЦН для охлаждения электродвигателя

Технологическими регламентами вывода скважин на режим предусматривается циклическая работа УЭЦН до появления притока из пласта: через каждый час работы — на два часа (в некоторых регламентах на один час) остановка для охлаждения двигателя.

При освоении скважин, эксплуатируемых УЭЦН с вентильными приводами, остановка для охлаждения двигателя не требуется, так как даже при отсутствии потока пластовой жидкости двигатель не перегревается до температур, приводящих к снижению его ресурса. Непрерыв-

ная работа УЭЦН с вентильными приводами позволяет существенно сократить время освоения скважин после ее ремонта.

Возможность эксплуатации скважин в периодическом режиме с высоким ресурсом оборудования

Возможность регулирования частоты вращения и способность ВД работать без снижения ресурса при малых скоростях потока охлаждающей жидкости позволили перевести в непрерывный режим эксплуатации скважины, которые ранее эксплуатировались в периодическом режиме. Условия работы оборудования УЭЦН с ВД в скважинах, которые продолжают работать в периодическом режиме, более щадящие, чем при работе УЭЦН с ПЭД, так как запуски установок не сопровождаются токовыми «бросками», снижающими ресурс двигателя и кабеля, а также значительно снижаются динамические нагрузки в зонах шлицевых соединений узлов УЭЦН.

Ресурсные характеристики

Начальный этап внедрения ВД характеризуется некоторыми особенностями. К «стандартному» набору конструкторско-технологических и эксплуатационных причин отказов следует добавить такие факторы, как более высокий процент использования оборудования в так называемых «проблемных» (часто ремонтируемых) скважинах и недостаток

опыта работы персонала с новым видом оборудования. Поэтому средние значения наработок на отказ пока не достигли максимальных значений (см. табл. 5) и составляют от 250 до 500 сут. в разных регионах эксплуатации.

Высокие наработки УЭЦН с ВД, достигнутые по итогам работы достаточно большого количества оборудования (см. табл. 6), позволяют сделать вывод о потенциальных возможностях дальнейшего роста средних наработок УЭЦН с ВД.

Так, с ноября 2005 г. конструктивных отказов введенных в эксплуатацию за год 184 двигателей не было. А двигатели, поднятые из скважин, остановившихся на ремонт по другим причинам, сохранили работоспособность и были повторно использованы после замены масла и тестирования.

Снижение энергопотребления

Снижение энергопотребления при замене асинхронных ПЭД на вентильные электродвигатели ВД обеспечивается за счет более высокого КПД ВД, низких значений рабочих токов и возможности регулирования частоты вращения.

В ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь» была проведена работа по определению энергетической эффективности замены электродвигателей ПЭД на ВД. Прямые замеры потребляемой мощности проводились на скважинах, эксплуатируемых УЭЦН с ПЭД до и после замены в них ПЭД на ВД. В результате такой замены, по заключению ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь», удельное энергопотребление снизилось на 15 -20%.

Табл. 5. **Максимальные наработки УЭЦН с ВД**

Предприятие	Сут.
ОАО «ЛУКОЙЛ», в т. ч.	1523
ООО «ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь»	1017
ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»	1523
ООО «ЛУКОЙЛ-Нижневолжскнефть»	856
ООО «ЛУКОЙЛ-Коми»	1430
ОАО «РИТЭК»	819

Табл. 6. **Наработки УЭЦН с ВД**

Наработки, сут.	300	400	500	600	700	800	900	1000	более 1000
Кол. КП ЭЦН ВД	242	124	102	46	21	21	19	7	7

В работе [4] приведена оценка энергопотребления при добыче нефти УЭЦН в НГК РФ.

Ниже приводится расчёт снижения энергопотребления при замене в среднестатистической скважине УЭЦН с асинхронным ПЭД на УЭЦН с ВД.

Потребляемая УЭЦН с ВД электрическая мощность, $N_{ув}$:

$$N_{ув} = N_{эн} + \Delta N_k + \Delta N_T + \Delta N_{cy} \quad (1)$$

где:

$N_{эн}$ — электрическая мощность, необходимая для подъема и транспортировки до ГЗУ продукции скважины при частоте вращения n , кВт;

ΔN_k — потери мощности в кабеле, кВт.

ΔN_T — потери мощности в трансформаторе, кВт;

ΔN_{cy} — потери мощности в станции управления.

Механическая мощность N_m , необходимая для подъема и транспортировки до ГЗУ продукции скважины при использовании регулируемого привода определяется с учетом фактической частоты вращения ЭЦН:

$$N_m = (n/2910)^3 \times N_{29} \quad (2)$$

где:

n — фактическая частота вращения, об./мин.;

N_{29} — механическая мощность, необходимая для подъема и транспортировки до ГЗУ продукции скважины при номинальной частоте вращения 2910 об./мин., кВт;

В табл. 2 приведен диапазон частот вращения, фактически используемый для оптимизации режима работы системы «насос-пласт». Средневзвешенное значение используемой частоты вращения, при которой работают УЭЦН с ВД, — 2745 об./мин.

По данным табл. 2 и 3 [4] определим значение $N_{29} = 36,63$ кВт (43,35х0,845).

Механическая мощность, необходимая для работы насоса при частоте вращения 2745 об./мин., определяется по формуле (2), $N_m = 30,73$ кВт.

Выбираем для комплектации УЭЦН вентильный электродвигатель мощностью 40 кВт- ВД40-117 с КПД — $\eta_b = 91,5\%$ (0,915 доли ед.) и рабочим током — $I = 26,5$ А. Электрическая мощность, необходимая для подъема и транспортировки до ГЗУ продукции скважины при использовании регулируемого привода $N_{эн} = 30,73:0,915 = 33,58$ кВт.

Потери мощности в кабеле:

$$\Delta N_k = 3 \cdot I_p^2 \cdot R_\phi, \quad (3)$$

где:

I_p — рабочий ток, А;

R_ϕ — активное сопротивление фазы кабеля, Ом.

Рабочий ток I_p электродвигателя ВД40-117 можно определить по формулам (7) и (8) [4]. С учетом коэффициента загрузки ВД по мощности $K = 30,73:40 = 0,768$, рабочий ток $I_p = 20,3$ А. Рассчитанный по формуле (9) с учетом данных таблицы 2 [4] $R_\phi = 2,35$ Ом.

Таким образом, потери мощности в кабеле определяются зависимостью:

$$\Delta N_k = 3 \cdot 20,3^2 \cdot 2,35 = 2,9 \text{ кВт}$$

Потери мощности в трансформаторе:

$$\Delta N_T = (N_{эн} + \Delta N_k) \cdot (1 - \eta_T), \quad (4)$$

где: η_T — КПД трансформатора ТМП, доли ед. $\eta_T = 0,96$.

$$\Delta N_T = (33,58 + 2,9) \cdot (1 - 0,96) = 1,46 \text{ кВт.}$$

Потери мощности в станции управления:

$$\Delta N_{cy} = (N_{эн} + \Delta N_k + \Delta N_T) \cdot (1 - \eta_{cy}),$$

где: η_{cy} — КПД станции управления, доли ед. $\eta_{cy} = 0,96$;

$$\Delta N_{cy} = (33,58 + 2,9 + 1,46) \cdot (1 - 0,96) = 1,51$$

Потребляемая УЭЦН с ВД мощность:

$$N_{ув} = 33,58 + 2,9 + 1,46 + 1,51 = 39,45 \text{ кВт.}$$

Удельный расход электроэнергии на добычу нефти УЭЦН с ВД, $\varpi_{эв}$, кВт.·час/т., рассчитанный по формуле (11) [4], имеет значение:

$$\varpi_{эв} = 24 N_{ув} : 17,7 = 53,49 \text{ кВт.час/т.}$$

Таким образом, в результате замены в УЭЦН асинхронных электродвигателей ПЭД на вентильные типа ВД снижение удельной нормы расхода электроэнергии на добычу нефти составляет $100 \times (67 - 53,49) / 67 = 20,16\%$.

Анализ результатов эксплуатации УЭЦН с вентильными приводами подтверждает, что поставленная разработчиком — ООО «РИТЭК-ИТЦ» — цель создать привод погружных насосных установок с высокими функциональными, ресурсными и энергетическими характеристиками в основном достигнута и нефтяники получили новый инструмент, который позволяет более успешно решать задачи повышения эффективности добычи нефти.

Литература

1. Павленко В.И., Гинзбург М.Я. Новый высокоэффективный привод для погружных центробежных и винтовых насосов. «Технологии ТЭК», №3, 2004.
2. Гинзбург М.Я., Павленко В.И., Камалетдинов Р.С. История одного изобретения. «Нефтегазовая вертикаль» №12, 2006.
3. Павленко В.И., Гинзбург М.Я. Обоснование диапазона регулирования частот вращения приводов на основе вентильных электродвигателей. «Технологии ТЭК», №5, 2006
4. Павленко В.И., Гинзбург М.Я. Вентильные электродвигатели УЭЦН-энергоэффективная техника нефтедобычи. «Технологии ТЭК», №4, 2006.