



ПАВЛЕНКО Владимир Иванович
Генеральный директор
ООО «РИТЭК-ИТЦ»

ЕЩЕ РАЗ ОБ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ВЕНТИЛЬНЫХ ПРИВОДОВ УЭЦН



ГИНЗБУРГ Матвей Яковлевич
Заместитель генерального директора
ООО «РИТЭК-ИТЦ»

В журнале *Инженерная практика*, № 3, 2011 опубликована статья Н.В. Шенгура и А.А. Иванова «Мифы и реальности внедрения вентильного электродвигателя в УЭЦН». Статья содержит много спорных положений, которые, надеемся, еще будут предметом обсуждения специалистов.

В частности, авторы опровергают показатели энергоэффективности вентильных приводов, приведенные в статье М.Я. Гинзбурга и В.И. Павленко «Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления УЭЦН при замене в них ПЭД на ВЭД» (*Инженерная практика*, № 8, 2010).

Н.В. Шенгур и А.А. Иванов отмечают, что «...общее теоретическое повышение КПД УЭЦН от использова-

ния вентильного электродвигателя составит около 5-6% В этой связи утверждение о снижении энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД до 20-25% можно считать ошибочным». При этом никаких расчетов, результатов экспериментов и инструментальных замеров энергопотребления УЭЦН с ПЭД и ВД в статье не приводится. Свои выводы авторы делают, основываясь лишь на общих рассуждениях о вентильных электродвигателях, их КПД и КПД УЭЦН в целом.

Между тем, вентильный привод — пример успешной реализации синергетического эффекта в технике. Если считать, что он был создан для повышения энергетических показателей погружных электродвигателей, то итоговый результат его использования значительно выше первоначально поставленной цели. Вентильный привод имеет не только более высокие КПД и меньшие значения рабочих токов относительно этих значений [асинхронных] ПЭД, но и возможность регулирования частоты вращения, которая является их неотъемлемой функциональной характеристикой.

В последние годы функция регулирования частоты вращения погружного двигателя из категории «опция» переходит в категорию штатной характеристики УЭЦН. Даже самые современные программы подбора УЭЦН не могут рассчитать абсолютно точные параметры эксплуатации и требуют корректировки расчетной величины подачи. Возможность регулирования частоты вращения позволяет оптимизировать отбор продукции скважин без использования дросселирования, при котором снижение энергопотребления ЭЦН значительно ниже, чем при ре-

Редакция журнала «Инженерная практика»

В опрос о том, насколько же на самом деле энергоэффективен вентильный привод в разных вариантах реализации и применения этой технологии, сегодня вне всяких сомнений входит в число наиболее актуальных и неоднозначных. Поскольку направление только-только начинает набирать настоящие обороты, не обходится и без жарких дискуссий.

Так, в ответ на опубликованную в третьем номере «Инженерной практики» за 2011 год статью Н.В. Шенгура и А.А. Иванова «Мифы и реальности внедрения вентильного электродвигателя в УЭЦН» редакция Журнала получила подробный комментарий от Матвея Яковлевича Гинзбурга, заместителя генерального директора ООО «РИТЭК-ИТЦ». Мы предлагаем вашему вниманию присланный комментарий, дав возможность авторам названной публикации, в свою очередь, представить свое мнение.

Таблица 1

Снижение энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД

Характеристики, обеспечивающие снижения энергопотребления	Показатели, определяющие снижение энергопотребление	Не менее,%
Непрерывная эксплуатация скважин		
Энергетические показатели ВД	Более высокие значения КПД вентильных приводов по сравнению с КПД асинхронного привода	5–6
Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения взамен дросселирования	Снижение потребляемой насосом мощности	12–15
	Снижение потерь в кабельной линии за счет более низких номинальных значений токов ВД и доп. их снижения при уменьшении подачи насоса изменением частоты вращения	3–4
Итого, снижение энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВЭД		20–25
Специальная технология		
Метод циклических отборов	Использование в составе УЭЦН насосов с большими подачами и более высокими КПД	25–30

Таблица 2

Расчет снижения энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД 32-117 на ВД32-11 (без учета возможности регулирования частоты вращения)

Параметры	Тип электродвигателя			
	ЭДБ32-117	ПЭДН32-117	ЭД32-117М	ВД32-117
Исходные данные				
Номинальная мощность насоса, P_n , кВт	32*			
Номинальная мощность двигателя, P_d , кВт	32			
Ток, I, А	27,5	26,0	26,0	21,0
КПД, %				
двигателя, η_d	83	84	85	91,2
трансформатора, η_d	96			
станции управления, η_{cy}	100	100	100	97
Длина каб. линии, L, м	1700			
Сеч. жилы кабеля, S, мм ²	16			
Электрическое сопротивление, R, Ом/км	1,83			
Температура среды, °С	80			
Коэффициент, K_T	1,35			
Расчет потерь				
Потри в двигателе, ΔP_d	6,56	6,08	5,63	3,07
Потери в кабеле, ΔP_k	9,52	8,52	8,52	5,56
Потери в ТМП, ΔP_T	2,0	1,94	1,92	1,69
Потери в СУ, ΔP_{cy}	-	-	-	1,31
Суммарные потери в приводе, $\Sigma \Delta P_{пр}$, кВт	18,08	16,54	16,07	11,63
Среднее значение суммарных потерь, $\Sigma \Delta P_{прс}$	16,9			11,63
Среднее значение мощности, потребляемой УЭЦН, $P_{ус}$, кВт	48,9			43,63
Среднее значение снижения суммарных потерь, $\Delta \Sigma \Delta P_{ус}$, %				10,8
* принята для упрощения расчетов				

гулировании подачи насоса изменением частоты его вращения.

Однако большинство компаний пока еще не приняли решения о комплектации всех УЭЦН станциями управления с возможностью регулирования частоты вращения: слишком большая разница в стоимости станций управления прямого пуска и станций, обеспечивающих регулирование частоты вращения.

Можно полагать, что в недалеком будущем вопрос обязательного применения в составе УЭЦН регулируемого привода будет окончательно решен, а потребитель будет решать, какая техника более эффективна в этой технологии: вентильный привод, или асинхронный ПЭД с преобразователем частоты. В ОАО «ЛУКОЙЛ» этот вопрос решен в пользу вентильных приводов.

Правомерность включения в показатель энергоэффективности вентильных приводов экономии электроэнергии за счет регулирования частоты вращения Н.В. Шенгур и А.А. Иванов исключают: «Частотное регулирование, реализованное как с вентильным, так и с асинхронным приводом, само по себе обеспечивает снижение энергопотребления при снижении частоты вращения погружного насоса!»

Нужно учесть, что в качестве базовых УЭЦН, относительно которых рассчитывается снижение энергопотребления, берутся установки с нерегулируемой частотой вращения. Такими установкам оснащено подавляющее количество действующего фонда скважин с УЭЦН в России. Именно поэтому снижение энергопотребления за счет регулирования частоты вращения насоса включено в расчет суммарного снижения энергопотребления при замене в УЭЦН нерегулируемого ПЭД на ВЭД.

Возможность регулирования частоты вращения является штатной характеристикой ВЭД, в отличие от ПЭД, регулирование частоты вращения которого требует комплектации УЭЦН станцией управления с ПЧ. Потребитель, приобретая вентильный привод, получает оборудование с функциональными характеристиками, которых нет в заменяемом приводе. Вентильный привод, обеспечивает интегральную эффективность, которая должна быть учтена, независимо от того, что какая-то часть ее часть может быть обеспечена с помощью другого типа оборудования.

Если же потребитель заменяет в УЭЦН ПЭД с регулируемой частотой вращения на вентильный привод, тогда снижение энергопотребления за счет регулирования частоты вращения насоса учитывается как разность в энергопотреблении регулируемого ПЭД и вентильного электродвигателя. Но в этом случае существенно изменяется соотношение цен приводов ПЭД с преобразователем частоты и вентильного привода.

В статье, на которую ссылаются Шенгур Н.В. и Иванов А.А., приведены перечень характеристик вентильных электродвигателей, обеспечивающих снижение энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД на ВД и значения показателей снижения энергопотребления (табл.1).

Приведенные значения показателей снижения энергопотребления являются оценочными и их величины для каждой скважины, эксплуатируемой УЭЦН с ВЭД, будут разными.

Они обоснованы расчетами, результатами стендовых испытаний и прямыми инструментальными замерами энергопотребления УЭЦН с ПЭД32-117 и с ВД32-117 при их работе в скважинах.

ПОТЕРИ МОЩНОСТИ В ПРИВОДАХ УЭЦН С ПЭД И ВД, ОПРЕДЕЛЯЕМЫЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ ПОКАЗАТЕЛЯМИ ДВИГАТЕЛЕЙ

1. Суммарные потери в приводе УЭЦН, $\Sigma \Delta P_{пр}, \%$

$$\Sigma \Delta P_{пр} = \Delta P_d + \Delta P_k + \Delta P_T + \Delta P_{cy} \quad (1)$$

где P_d — потери в двигателе, кВт; P_k — потери в кабельной линии, кВт; P_T — потери в трансформаторе, кВт; P_{cy} — потери в станции управления, кВт.

1.1 Потери в двигателе, ΔP_d , кВт

$$\Delta P_d = P_d \cdot \left(\frac{100}{\eta_d} - 1 \right) \quad (2)$$

где η_d — КПД двигателя, %

1.2 Потери в кабельной линии, ΔP_k :

$$P_k = 3 \cdot 10^{-3} \cdot I^2 \cdot R \cdot K_T \cdot L \quad (3)$$

где I — номинальное значение тока двигателя, А; R — электрическое сопротивление токопроводящих жил кабеля при температуре 20°C, Ом/км; K_T — коэффициент, учитывающий изменение сопротивления кабельной жилы в зависимости от температуры окружающей среды; L — длина кабельной линии, км.

1.3 Потери в трансформаторе, P_T , кВт

$$\Delta P_m = (P_d + \Delta P_d + \Delta P_k) \cdot \left(\frac{100}{\eta_m} - 1 \right) \quad (4)$$

где: η_T — КПД трансформатора, %;

1.4 Потери мощности в станции управления, ΔP_{cy} , кВт

$$\Delta P_{cy} = (P_d + \Delta P_d + \Delta P_k + \Delta P_m) \cdot \left(\frac{100}{\eta_{cy}} - 1 \right) \quad (5)$$

где: η_{cy} — КПД станции управления, %

В табл.2 приведен расчет снижения энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД32-117 основных российских производителей на ВД32-117 производства ООО «РИТЭК-ИПЦ» (без учета возможности регулирования частоты вращения).

Результаты расчета соответствуют приведенным в табл.1 значениям снижения энергопотребления УЭЦН с ВД за счет более высоких энергетических показателей вентилярных электродвигателей.

Функция регулирования частоты вращения используется более чем в 85% УЭЦН с ВД, работающих в ОАО «ЛУКОЙЛ», при этом с частотой вращения ниже номинальной работают около 73% .

При новой частоте вращения фактическая мощность насоса, $P_{нф}$, кВт:

$$P_{нф} = P_n \cdot \left(\frac{n_{ф}}{2910} \right)^3 \quad (6)$$

где $n_{ф}$ — новая частота вращения насоса, об/мин; 2910 — частота вращения насоса, при которой определена его номинальная мощность, об/мин.

В 2010 году средневзвешенная частота вращения ЭЦН с ВД по фонду скважин, эксплуатируемых в ОАО «ЛУКОЙЛ», составляла 2750 об/мин.

Можно принять, что за счет совершенствования программ расчета режимов эксплуатации, а также повышения точности исходных характеристик скважин, погрешность расчетов снизилась и оптимальный режим отбора продукции скважин может быть обеспечен при частоте вращения насоса 2800 об/мин.

Мощность насоса при частоте вращения $n_{ф} = 2800$ об/мин:

$$P_{нф} = 32 \cdot \left(\frac{2800}{2910} \right)^3 = 28,5 \text{ кВт}$$

При этой мощности загрузка двигателя по моменту: $M_{ф}/M_n = 0,90$.

Таблица 3

Расчет снижения энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД 32-117 на ВД32-117 (с учетом возможности регулирования частоты вращения)

Параметры	Показатели
Исходные данные	
Тип электродвигателя	ВД32-117
Частота вращения, $n_{ф}$, об/мин	2800
Ток, $I_{ф}$, А	19,1
Фактический КПД двигателя, $\eta_{дф}$, %	91,0
Фактическая мощность насоса, $P_{нф}$, кВт	28,5
КПД насоса, %	50,0
Расчет потерь	
Потри в двигателе, ΔP_d	2,8
Потери в кабеле, ΔP_k	4,6
Потери в ТМП, ΔP_T	1,5
Потери в СУ, ΔP_{cy}	1,2
Абсолютная величина суммарных потерь, $\Sigma \Delta P$	10,1
Мощность, потребляемая установкой, P_y	38,6
Среднее значение снижения суммарных потерь, $\Delta \Sigma \Delta P_{ус}$, %	21,1

Таблица 4

Показатели снижения энергопотребления, при замене в УЭЦН ПЭД 32-117 на ВД32-117			
Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления	Показатели		
	Табл. 1	расчетные	
		Табл. 2	Табл. 3
Более высокие значения КПД вентильных приводов по сравнению с КПД асинхронного привода	5–6		
Снижение потерь в кабельной линии за счет более низких значений токов ВД	3–4		
Итого за счет энергетических показателей	8–10	10,8	
Регулирование подачи насоса изменением частоты вращения	12–15		
Итого при непрерывной эксплуатации скв.	20–25		21,1

Значения КПД двигателя при частоте вращения 2800 об/мин, $\eta_{дф} = 91\%$ и величина тока, $I_{ф} = 19,1$ А. получены при испытаниях ВД 32-117 на стенде СИУ-160, технические характеристики которого приведены в статье «Обоснование диапазона регулирования частот вращения приводов на основе вентильных электродвигателей» (Технологии ТЭК, № 5, 2006).

В табл. 3 приведен расчет снижения энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД 32-117 на ВД32-117, а в табл. 4 — сопоставление показателей снижения энергопотребления, приведенных в статье «Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления УЭЦН при замене в них ПЭД на ВЭД» (табл.1) и результатов расчета (табл. 2 и 3).

Приведенные расчеты подтверждены результатами стендовых испытаний, а также инструментальными замерами снижения энергопотребления при замене в УЭЦН ПЭД32-117 на ВД32-117 конструкции ООО «РИТЭК-ИТЦ», проведенными в нефтедобывающих предприятиях ОАО «ЛУКОЙЛ», ОАО «Татнефть» и ООО «ТНК-Нягань» (табл. 5) (см. Инженерная практика, № 8, 2010, стр.22) и замерами, проведенными

ПК «Борец» — на 10,7% и «Газпромнефть-ННГ» — на 23% (А.В. Сагаловский, «Вентильная реальность», С.В. Погорелов, «Методы повышения энергоэффективности эксплуатации механизированного фонда скважин в «Газпромнефть-ННГ». Конференция «Механизированная добыча 2011»).

Приведенные данные свидетельствуют не о разбросе результатов замеров, а лишь о том, что замеры проводились при различных режимах работы оборудования и требуемой глубины регулирования частоты вращения.

Н.В. Шенгур и А.А. Иванов в качестве одного из преимуществ вентильных электродвигателей называют возможность реализации при их использовании «новой технологии при работе УЭЦН», к которой они отнесли технологию периодической эксплуатации скважин.

«Высокая эффективность периодического режима отбора жидкости объясняется работой насоса со значительно более высоким КПД в период откачки и отсутствием потребления энергии в период накопления». Для определенной категории скважин это справедливо. Неверно лишь то, что эта технология названа «новой». Она уже несколько лет применяется как с использованием асинхронных ПЭД (кратковременная эксплуатация скважин КЭС, ООО «Нефть XXI век»), так и с вентильными приводами (метод циклических отборов МЦО, ООО «НЕТЕК»).

Преимущества вентильных приводов при реализации этой технологии описаны в разделе «Энергоэффективность работы УЭЦН в циклическом режиме» статьи «Факторы, обеспечивающие снижение энергопотребления УЭЦН при замене в них ПЭД на ВЭД». В этой статье не говорилось о том, что технологии КЭС и МЦО могут быть реализованы только при работе УЭЦН с ВЭД. Отмечалось лишь возможность достижения большего ресурса УЭЦН с ВЭД относительно УЭЦН с ПЭД за счет меньших температур перегрева вентильных электродвигателей по сравнению с перегревами ПЭД, что особенно важно при периодической эксплуатации скважин. Таким образом,

Таблица 5

Результаты замеров снижения энергопотребления при замене в УЭЦН асинхронных электродвигателей ПЭД на вентильные ВД		
№	Нефтегазодобывающее предприятие	Снижение энергопотребления, %
Непрерывная эксплуатация скважин		
1	ЛУКОЙЛ-Западная Сибирь	10-25
2	РИТЭК	15
3	ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ	24–34
4	ЛУКОЙЛ-Коми	45–60
5	Татнефть	25–48
Специальная технология (Метод циклических отборов)		
6	ТНК-Нягань	50–63

энергетическая эффективность за счет применения известной и применяемой в нефтедобыче технологии периодической эксплуатации скважин отнесена на счет вентильных приводов. Тогда почему снижение энергопотребления УЭЦН за счет возможности регулирования частоты вращения вентильных электродвигателей нельзя учитывать в качестве составляющей их энергоэффективности?

ВЫБОР ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО ДИЗАЙНА УЭЦН: РЕГУЛИРУЕМЫЙ, ВЫСОКОВОЛЬТНЫЙ, ВЫСОКОБОРОТНЫЙ ИЛИ ВЕНТИЛЬНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД?



Регулирование частоты вращения насоса для повышения или оптимизации отбора жидкости из скважины зарекомендовало себя как наиболее эффективный способ управления, который может обеспечить снижение энергопотребления до 15% (см. М.Я. Гинзбург, В.И. Павленко «Еще раз об энергоэффективности вентильных приводов УЭЦН», табл. 1).

При этом применение УЭЦН на постоянной частоте вращения оправдано только при эксплуатации скважин со стабильной продуктивностью или при отсутствии возможности / необходимости покупать более дорогостоящее оборудование. Вентильный электродвигатель следует считать наиболее предпочтительным электромеханическим преобразователем для реализации регулируемых режимов работы УЭЦН, в первую очередь за счет линейных токовых и частотных характеристик и сохранения высокого КПД во всех режимах работы. Вместе с тем реализация частотного управления и достижение указанного эффекта по энергосбережению обеспечивается и при традиционных ПЭД с использованием частотных СУ, при значительно меньших затратах.

Экономические преимущества применения высоковольтного провода в УЭЦН побудили ряд производителей («АЛМАЗ», «БЭНЗ») приступить к производству высоковольтных ПЭД. Делается это, в первую очередь, по запросу нефтяников для снижения потерь тока в системе «трансформатор – кабель – двигатель». При переходе на высоковольтные двигатели снижаются номинальные токи и, соответственно, уменьшаются потери во всех элементах системы электропривода УЭЦН. Снижение энергопотребления, согласно приведенным в статье М.Я. Гинзбурга и В.И. Павленко данным, может составлять 3-4%. При этом абсолютное значение снижения энергопотребления в значительно большей степени зависит от степени «высоковольтности» электродвигателя, чем от его типа – ПЭД или ВЭД. Именно поэтому новые, в том числе и ВЭД делаются высоковольтными (см. каталог завода «Новомет»). Безусловно, значительную роль при выборе того или иного дизайна УЭЦН играет его начальная цена и стоимость эксплуатации. В свою очередь, себестоимость электродвигателя при прочих равных зависит от стоимости используемых материалов. В ВЭД к стоимости традиционных активных материалов (медь,

Несмотря на различие в оценке энергетической эффективности вентильных приводов, можно согласиться с высказанным в статье Н.В. Шенгура и А.А. Иванова мнением о том, что на «конференциях, нефтяных форумах и статьях» часто встречаются «заблуждения». Особенно их много в статье «Мифы и реальности внедрения вентильного электродвигателя в УЭЦН». ♦

электротехническая сталь) добавляется стоимость постоянных магнитов. Если сравнивать ПЭД и ВЭД одной и той же номинальной мощности, рассчитанные на одинаковые условия эксплуатации и традиционную частоту вращения, то, даже с учетом более высокого КПД вентильного электродвигателя, себестоимость ВЭД из-за использования постоянных магнитов будет значительно выше. В ряде случаев низкий экономический эффект от применения ВЭД, работающих на частоте вращения 3000 об/мин, особенно на мало- и среднедебитном скважинном фонде не способствует их широкому внедрению (А.Р. Гарифуллин «Опыт применения вентильных ПЭД в ООО «РН-Юганскнефтегаз»: до массового внедрения пока далеко» // «Инженерная практика», №8 2010). Учитывая это, ряд ведущих производителей («Новомет», «Борец», НПК «Лепсе-Нефтемаш») перешли на производство высокооборотных вентильных двигателей, где использование активных материалов уменьшаетсякратно увеличению частоты вращения, в результате чего уменьшается и их стоимость.

В одной из статей специалистов ООО «Орион» (Н.В. Шенгур, А.А. Иванов «Мифы и реальности внедрения вентильного электродвигателя в УЭЦН» // «Инженерная практика» №3 / 2011) достаточно подробно описаны мифы, сопровождаемые внедрение ВЭД в УЭЦН. Причем ВЭД рассматривается, как класс электрических машин, а эффективность его применения сравнивается с эффективностью ПЭД при одинаковых параметрах и условиях эксплуатации. Сегодня на рынке представлен большой выбор ВЭД, в которых в той или иной степени, реализованы рассмотренные выше особенности электропривода в целом. То есть, интегрально высокий экономический эффект при эксплуатации УЭЦН с вентильными приводами обеспечивается совокупностью параметров электропривода, а не только типом электродвигателя.

В связи с этим хотелось бы, чтобы при выборе дизайна УЭЦН и расчета эффективности его эксплуатации было четкое представление, какое свойство и какие параметры новой техники обеспечивают наибольшее достижение планируемого экономического результата, а выбор типа двигателя был осознан и оправдан.

ИВАНОВ Александр Александрович
Технический директор ООО «Орион», к.т.н.

Уважаемые читатели!

Начиная с августа 2011 года (с №8'2011), инженерно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика» переходит на платное представление материалов.

Бесплатный доступ к содержанию выпусков через интернет-портал www.glavteh.ru будет закрыт. Для того, чтобы оформить подписку на печатную или электронную версию журнала, заполните, пожалуйста, соответствующую анкету на нашем сайте (раздел «Подписка») или свяжитесь с нами по телефону (495) 371-05-74, 371-01-74, (499) 270-55-25. Также Вы можете прислать информацию по факсу (495) 371-01-74 (см. Подписной купон)

СТОИМОСТЬ И УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

Стоимость подписки на печатную/электронную версии*:

на год – 5830 рублей.

на полугодие – 3790 рублей.

* Минимальное количество приобретаемых электронных версий журнала – 3.

Скидки при оформлении корпоративной подписки:

- От 10 до 20 экземпляров – скидка 5%
- От 21 до 30 экземпляров – скидка 10%
- От 31 и более экземпляров – скидка 15%



ПОДПИСНОЙ КУПОН

ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ

Фамилия _____ Имя _____ Отчество _____

Должность _____

Название и юридический статус компании _____

Количество экземпляров журнала _____

Адрес доставки журнала:

Индекс _____ Адрес _____

Код города, телефон, факс _____

E-mail _____ Сайт _____

Менеджер отдела подписки – **Дарья Мирончикова**

Тел.: **+7 (495) 371-01-74, +7 (499) 270-55-25**

E-mail: **info@glavteh.ru**