

ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ ТЕХНОЛОГИИ — БЫТЬ!



«Новомет» благодарит редакцию НГВ за хороший информационный повод представить новые результаты по работе погружных энергосберегающих насосных систем, оснащенных вентильными приводами.

В связи с тем, что данный материал — фактически сжатые комментарии к статьям советника директора ООО «ЭПУ-ИТЦ», члена Экспертного совета по механизированной добыче нефти Гинзбурга М.Я.

«Энергоэффективные УЭЦН: причины прохладной встречи» и начальника отдела Департамента техники и технологии добычи нефти «Газпромнефть НТЦ» Е. Кибирева ⁽¹⁾ поэтому, мы в нем осветим только последние результаты по надежности работы, эксплуатационным затратам, стоимости ремонта и некоторые инженерные аспекты, вызывающие у специалистов значительное непонимание сути предложенной концепции энергосбережения.

Более подробно научно-технические, экономические и иные проблемы, связанные с разработкой и работой энергосберегающего оборудования, рассмотрены в работе «Технология энергосберегающей добычи нефти», размещенной на сайте www.novomet.ru в разделе «пресс-релиз/публикации». Ознакомившись с ней, специалисты и

без наших комментариев смогут ответить на большинство вопросов и реплик, озвученных в дискуссионных статьях.

Ш.Р. АГЕЕВ

Заместитель генерального директора по науке ОКБ БН «КОННАС»

А.М. САНТАЛОВ

Заведующий отделом погружных электроприводов ОКБ БН «КОННАС», к.т.н.

А.И. РАБИНОВИЧ

Советник генерального директора по новой технике АО «Новомет-Пермь»

О.М. ПЕРЕЛЬМАН

Советник генерального директора по стратегии АО «Новомет-Пермь»

П.А. ХАРЛАМОВ

Начальник аналитического отдела ООО «Новомет-Сервис»

Сначала — коротко о самой концепции разработки энергосберегающих насосных систем.

В погружных центробежных насосных системах 80–90% по-

тер мощности происходит в насосе и двигателе. Остальное приходится на кабель, СУ и трансформатор. Поэтому наибольший эффект по сбережению электроэнергии можно получить, подняв КПД именно насоса и привода. При этом будет и заметный кумулятивный эффект, связанный с уменьшением величины тока. Потери в СУ и трансформаторах будут существенно меньше.

Поэтому:

- 1). Переходим на вентильные приводы, имеющие КПД на 8–9% выше, чем асинхронные;
- 2). Увеличиваем КПД насосов, используя гидродинамически совершенные ступени, которые при повышенных частотах вращения имеют напорность выше стандартных ступеней;
- 3). Для сохранения надежности модернизируем систему радиальных и осевых подшипников всех узлов УЭЦН. При этом

конструкции должны быть работоспособны в диапазоне скоростей 3000÷6000 об/мин.; 4). Меняем критерий подбора установок к скважинам. Вместо положения «один типоразмер — одна номинальная подача» переходим на принцип «один типоразмер — диапазон номинальных подач». Обязательное наличие в вентильном приводе частотного преобразователя позволяет осуществить такой переход без особых затрат и проблем. Кроме того, изменение частоты в широких пределах как минимум вдвое уменьшает количество требуемых типоразмеров и обеспечивает работу установок всегда в точке с максимально возможным КПД.

Вначале отметим, что сама величина экономии энергии в размере 25–37%, как показали материалы многих статей в ведущих

ТАБЛ.1 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ ИННОВАЦИОННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Нефтяная компания	Закуплено, шт.	Сделано замеров, шт.	Снижение энергопотребления, %	Мотивация покупателя
Газпром нефть	660	347	27	Оценка стоимости владения
Роснефть	61	61	28	
РуссНефть	48	48	24	Самая низкая цена
ЛУКОЙЛ	4	4	26	
Сургутнефтегаз	21	21	30	
Казахстан	5	5	37	
Колумбия	494	145	34	Контроль на правительственном уровне
Аргентина (YPF)	-	24	37	
Аргентина (Sipetrol)	-	2	38	

профильных журналах и проведенные на конференциях по энергоэффективности активные и всесторонние дискуссии, не вызвала у специалистов особых возражений. Величины эффекта и побудительные мотивы покупки по странам и компаниям показаны в табл.1 [2].

На рис.1 показана общая надежность (ОН) энергосберегающего оборудования последней модификации в сравнении с серийными УЭЦН на фонде «Газпром нефти»¹. Видно, что после устранения «детских болезней» появилась четкая, статистически значимая реакция по увеличению среднего времени работы на 17%, с 537 до 630 суток.

В табл.2 представлены результаты оценки среднего времени работы инновационного оборудования в зависимости от частоты вращения вала установок.

Увеличение объема накопленных за последние годы статистических данных о работе этих установок привело к уменьшению величин доверительных интервалов среднего времени безотказной работы до значений, уже вполне достаточных, чтобы уверенно говорить о независимости ОН от скорости вращения в рассматриваемом диапазоне.

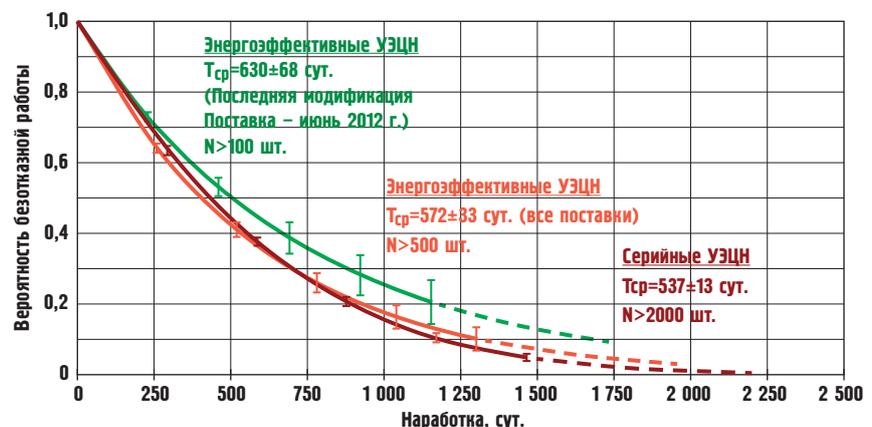
Стоит прокомментировать и данные на рис.2, где показаны соотношения ОН, эксплуатационной (ЭН) и конструкционной (КН) надежности УЭЦН, эксплуатация которых проводилась при скоростях вращения свыше 4500 об/мин. В связи с тем, что КН нового оборудования кратно выше ЭН, у заказчика есть реальные



возможности «внутренними технологическими мероприятиями» добиться еще большего увеличения среднего времени работы установок. Для всего парка но-

вых насосов в силу очень большого объема данных собрать аналогичную информацию не удалось. С большой долей вероятности можно предположить,

РИС1. ОБЩАЯ НАДЕЖНОСТЬ СЕРИЙНЫХ И ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ УЭЦН НА ФОНДЕ ОАО «ГАЗПРОМ НЕФТЬ»



¹ Основной отечественный заказчик энергосберегающего оборудования. Первая из НК, применившая частотное управление практически на всем фонде скважин, оборудованных УЭЦН

ТАБЛ.2. ОБЩАЯ НАДЕЖНОСТЬ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ УЭЦН В РАЗРЕЗЕ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ

Параметры	Рабочая частота вращения, F, об/мин.								
	F≤3500			3500<F≤4500			F>4500		
	2012 г.	2013 г.	2015 г.	2012 г.	2013 г.	2015 г.	2012 г.	2013 г.	2015 г.
Число запусков	135	166	235	91	140	219	42	55	79
Общая надежность*, сут.	673±146	560±87	559±79	748±167	641±81	594±41	680±382	491±309	581±61

* Общая надежность — среднее время наработки, при расчете которого за отказы принимаются подъемы УЭЦН по любой причине, кроме ГТМ, которые относятся к цензурированной выборке

РИС.2 ОЦЕНКА НАДЕЖНОСТИ УЭЦН ПРИ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ >4500 ОБ/МИН.



что соотношение величин надежности и при меньших скоростях вращения мало отличается от показанного [3].

Перейдем к ответам, напрямую связанным со стоимостью владения оборудованием. Многие годы в отрасли существует устойчивый тренд по снижению совокупных удельных затрат на скважину [4]. В основе тренда лежит общеизвестная идея: экономический выиг-

рыш потребителя, оцененный по стоимости владения при использовании более дорогого оборудования, должен быть больше, чем рост затрат на приобретение таких изделий. За 10 лет «Славнефть» сократила удельные затраты на 40%!!! При этом сокращение шло на фоне постоянного усложнения условий добычи. Представленные данные по внедрению энергосберегающего обо-

рудования позволяют нам с уверенностью говорить, что данная разработка должна твердо вписаться в рамки этого тренда.

Опрос сервисных подразделений «Новомета» по проблемам ремонта нового типа оборудования показал, что:

- при соответствующей квалификации персонала трудозатраты на ремонт такие же, как и для серийных установок аналогичного исполнения;
- цена на ЗИП, правда, выше, но этот рост обусловлен соответствующим по надежности исполнением, что, в свою очередь, гарантирует при повторной эксплуатации высокий уровень наработки и экономию по электроэнергии.

На последней конференции по энергоэффективности нами было представлено энергосберегающее оборудование, которое вследствие повышенных оборотов вращения за счет сокращения длины насоса и двигателя имеет цену, соизмеримую со стоимостью серийных установок.

На рис. 3а, 3б показано, как соотносятся между собой длины

ТАБЛ.3 ВЕЛИЧИНА ЭКОНОМИИ ПРИ ЗАМЕНЕ СЕРИЙНОГО ОБОРУДОВАНИЯ НА ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЕ

Подача, м³/сут.	Наименование	КПД УЭЦН*	Разница потребляемой мощности, кВт	Экономия за 2 года при тарифе 2,2 руб. за кВт*ч
700	УЭЦН5А-700Э-1500 (n=4080)	0,61	66,8	2 574 739 руб.
	УВНН5А-700-1500	0,46		
500	УЭЦН5А-500Э-1500 (n=4550)	0,62	54,6	2 104 502 руб.
	УВНН5А-500-1500	0,44		
400	УЭЦН5А-400Э-1500 (n=5170)	0,59	42,7	1 645 829 руб.
	УВНН5А-400-1500	0,43		
320	УЭЦН5А-320Э-1500 (n=4140)	0,58	22,4	994 435 руб.
	УВНН5А-320-1500	0,47		
250	УЭЦН5А-250Э-1500 (n=4040)	0,58	19,52	752 379 руб.
	УВНН5А-250-1500	0,46		
160	УЭЦН5А-160Э-1500 (n=4660)	0,60	19,5	751 608 руб.
	УВНН5А-159-1500	0,42		
125	УЭЦН5А-125Э-1500 (n=3640)	0,60	10,7	412 420 руб.
	УВНН5А-124-1500	0,46		

*Включает в себя погружной насосный агрегат, кабель и наземное оборудование

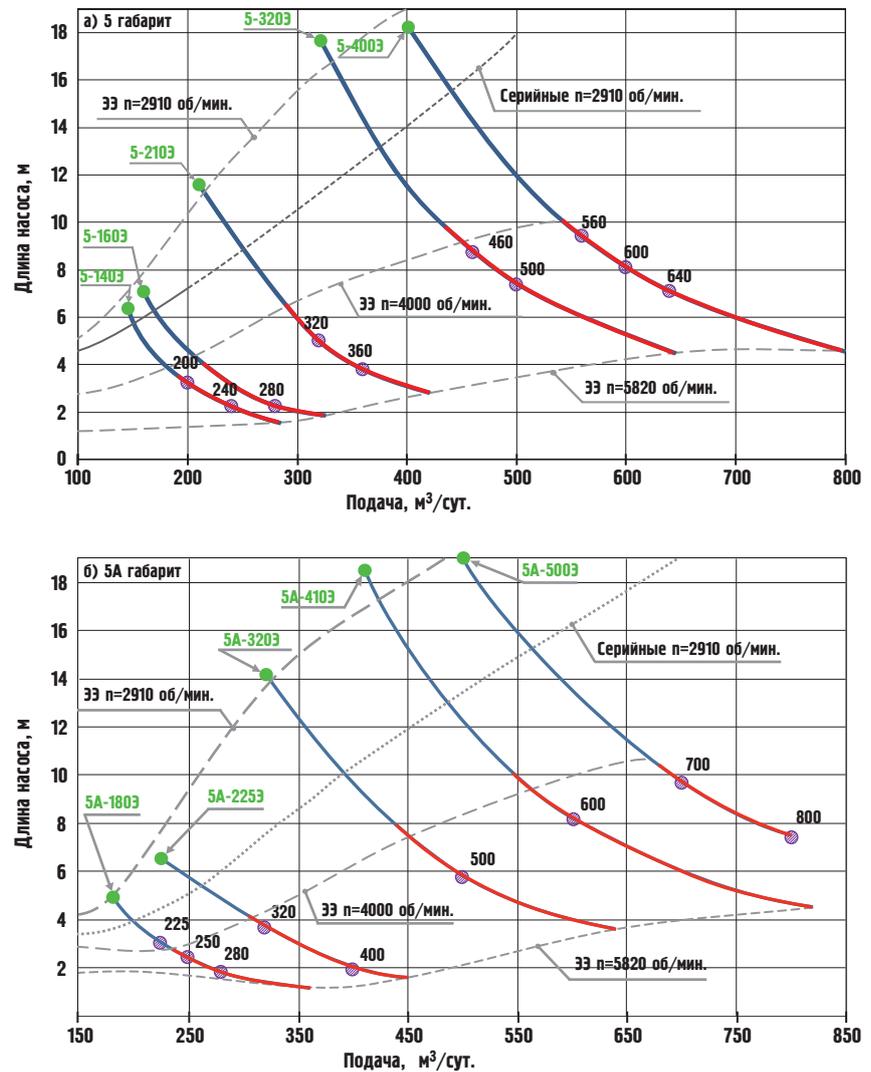
энергосберегающих и серийных насосов в зависимости от подачи и скорости вращения и при каких их значениях себестоимости этих изделий становятся соизмеримы. Видно, что диапазон номинальных подач нового оборудования практически полностью перекрывает весь требующийся для нефтяников интервал подач.

Предлагаемое энергосберегающее оборудование частично вошло в перечень объектов, отнесенных к изделиям высокой энергетической эффективности. Поданы документы на его коррекцию. Согласно постановлению Правительства РФ «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности»^[5] потребители при покупке такого оборудования имеют право на компенсацию части издержек.

Для предварительной оценки стоимости владения двух типов электроцентробежного оборудования заказчику необходимо хорошо ориентироваться в масштабе величины эффекта от экономии электроэнергии. С этой целью в табл.3 для примера приведены размеры эффекта для установок 5А габарита с подачами от 125 до 700 м³/сутки при напоре 1500 метров. При этом за основу для сравнения взяты серийные установки «Новомета» из каталога www.novomet.ru.

Выигрыш по мощности в зависимости от подачи колеблется от 10,7 до 66,8 кВт, и тогда экономия электроэнергии в денежном выражении при тарифе 2,2 руб/кВт*ч за два года составит от 412 тыс. до 2574 тыс. рублей. В соответствии с изложенным считаем, что

РИС.3 а, б ИЗМЕНЕНИЕ ДЛИНЫ НАСОСОВ 5 И 5А ГАБАРИТОВ ПРИ НАПоре 1000 МЕТРОВ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ПОДАЧИ И ЧИСЛА ОБОРОТОВ



Зеленым — типоразмеры энергоэффективных (ЗЭ) ступеней в номинале;

Красным — интервалы номинальных подач, при которых себестоимость новых и серийных насосов соизмерима.

технических и экономических препятствий по внедрению энер-

госберегающего оборудования практически не осталось.

ВОПРОС — ОТВЕТ

И в заключение ответим на часть чисто технических вопросов, заданных нам оппонентами, по-видимому, в порыве полемического азарта.

М.Гинзбург: АО «Новомет–Пермь» декларирует значения КПД высокооборотных двигателей, полученные косвенным методом...

«Новомет»: Значение КПД вентильных двигателей «Новомет» не декларирует, а получает экспериментально-расчетным путем с достаточной точностью, как это рекомендуется в ГОСТ 25941-83 для синхронных машин^[6,7]. Основное достоинство этого метода состоит в том, что он позволяет определить КПД двигателя для любой частоты вращения и мощности. Необходимо лишь иметь возможность нагрузить двигатель любым способом, в том числе насосом в составе УЭЦН, до номинальной мощности. Этот метод автоматически учитывает и эффект от скручивания вала, он проявляется в увеличении потребляемой мощности под нагрузкой.

Специализированный стенд для прямого измерения КПД на мощности до 1 МВт и частотами вращения до 8500 об/мин. (диапазон мощностей и частот вращения двигателей «Новомет») требует затрат в несколько миллионов долларов. Поэтому в мире таких стендов для ПЭД не существует.

М.Г.: Декларируемое АО «Новомет–Пермь» увеличение КПД двигателя с ростом частоты вращения на 1% не имеет практического значения...

Н.: В качестве доказательства почему-то приводится разброс по КПД двигателей, допускаемый ГОСТ 28173-89. По нашему мнению, повышение КПД на 1% объективно обеспечивает соответствующую экономию электроэнергии, независимо ни от того, на какой границе разброса находится КПД конкретного двигателя, ни от содержания нормативного документа.

Кроме того, есть и другой, более значительный эффект от повышения КПД на 1%. Как известно, габариты электродвигателя определяются количеством выделяемого в нем тепла, т.е. потерями в нем.

Потери P в двигателе и его КПД связаны выражением:

$$P = P_2 \cdot (1 - \eta) / \eta, \text{ где}$$

P_2 — мощность на валу двигателя.

Если раскрыть это выражение для исходного КПД 0,92 и для повышенного на 1%, т.е. равного 0,93, то их соотношение составит 1,16. Таким образом, увеличение КПД вентильного электродвигателя на 1% позволяет снизить потери в нем на 16%. Если допустить, что все потери в двигателе пропорциональны квадрату тока, то даже в этом случае с двигателя можно либо снять дополнительно около 10% его мощности, либо уменьшить на эту величину длину активной части без нарушения его температурного режима. Практическое значение, таким образом, более чем очевидно.

Для полной ясности рассмотрим пример замены привода с КПД 85% на 93%. В этом случае (см. формулу) тепловыделение в двигателе уменьшается в 2 раза!!! В этом и заключается главный смысл красивого инженерного решения перехода с асинхронного привода на вентильный.

М.Г.: Ни в нормативной документации, ни в публикациях АО «Новомет–Пермь» не приводится функция зависимости КПД ступеней насосов от частоты их вращения...

Н.: Мы не приводили эти зависимости в предыдущей статье по той причине, что считали их известными всем специалистам. Впервые экспериментальные исследования по определению влияния частоты вращения на КПД ступеней были проведены в ОКБ БН более 60 лет назад. Эти исследования и соответствующая формула были приведены в диссертации П.Д.Ляпкина в 1955 году^[8].

$$\eta_n = 1 - (1 - \eta_{2910})^{0,15} \cdot (2910/n)^{0,15}, \text{ где}$$

η_n — КПД насоса при частоте вращения n об/мин.

Далее эта формула приводилась многократно в различных публикациях^[9–11].

Аналогичную экспериментальную работу на ступенях насосов ВНН провел и «Новомет»^[12].

М.Г.: «Увеличивая частоту, повышаем КПД» — основная концепция создания энергоэффективных УЭЦН производства ЗАО «Новомет–Пермь»...

Н.: Основная концепция представлена в начале нашего сообщения: применяем вентильный двигатель, повышаем КПД ступеней и применяем обороты от 3000 до 6000 в мин, применяем износостойкие конструкции всех узлов установки для обеспечения требуемого уровня надежности, используем энергоэффективные установки в широком диапазоне подач.

Литература:

1. Кибирев Е. Выгода должна быть очевидной. //НГВ-Технологии, №9, 2015
2. Доклад ГД «Новомет-Пермь», <http://government.ru/news/17709/>, заседание Президиума Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России «Об инновационных технологиях в сфере геологоразведки и добычи полезных ископаемых», 17.04.2015 г., Москва.
3. Перельман О.М., Пещеренко С.Н., Рабинович А.И., Слепченко С.Д. Методики определения надежности погружного оборудования и опыт ее применения. //Технологии ТЭК, №3, 2005.
4. Мельниченко В. Увеличение эффективности мехдобычи. Славнефть: итоги и прогнозы. //НГВ, №№17-18, 2015.
5. Постановление Правительства РФ №600 «Об утверждении перечня объектов и технологий, которые относятся к объектам и технологиям высокой энергетической эффективности», 17.06.2015 г., Москва.
6. А. Санталов, О. Перельман и др. Погружные вентильные электродвигатели. //НГВ, №12, 2011.
7. Е. Пошвин, Ш. Агеев, А. Санталов. Правильный выбор. Тернистый путь инноваций «Новомет», // «НГВ-Технологии», №9, 2015.
8. Ляпков П.Д. «Анализ некоторых особенностей конструирования и эксплуатации погружных центробежных электронасосов для добычи нефти и методика расчета их рабочих органов» – Дис...канд. техн. наук. М.1955.
9. Богданов А.А., Гринштейн Н.Е., Розанцев В.Р., Карелина Н.С., Агеев Ш.Р., Златкис А.Д. «К расчету и проектированию ступеней погружных центробежных насосов для добычи нефти.» — «Труды ВНИИГидромаша». Исследование и расчет гидромашин. 1978.
10. Чичеров Л.Г., Молчанов Г.В., Рабинович А.И. и др. «Расчет и конструирование нефтепромыслового оборудования.» — М.: «Недра», 1987.
11. Агеев Ш.Р., Григорян Е.Е., Макиенко Г.П. «Российские установки лопастных насосов для добычи нефти и их применение.» Энциклопедический справочник. — Пермь, 2007.
12. Лебедев Д.Н., Пещеренко М.П., Пещеренко С.Н., Пошвин Е.В. «Особенности пересчета коэффициента полезного действия энергоэффективных насосов на разные частоты вращения.» - Нефтяное хозяйство, 2013, №6, 110-113.