Погружные вентильные электродвигатели

ЕВГЕНИЙ ПОШВИН
Директор департамента инновационных разработок
АО «Новомет-Пермь»

ДЕНИС ТРОШИН
Начальник отдела маркетинга ДИР АО «Новомет-Пермь»

АНАТОЛИЙ САНТАЛОВ
Заведующий отделом погружных электроприводов
ОКБ БН КОННАС, к.т.н.

ИСТОРИЯ ВОПРОСА

Более 20 лет – именно столько насчитывает российская история создания, производства и внедрения погружных вентильных электродвигателей (ПВЭД) для УЭЦН.

Так, в октябре 1996 года участникам VI Всероссийской технической конференции «Производство и эксплуатация УЭЦН», проходившей в г. Альметьевске, в заводской испытательной скважине ОАО «Алнас» была впервые продемонстрирована установка с номинальной частотой вращения 6000 об / мин., с ПВЭД мощностью 45 кВт разработки «Алнас» и ЗАО «АВАНТО» [1]. При длине (двигатель + гидрозащита + насос) 5,6 метра УЭЦН обеспечивала расход 140 м³ / сут. и напор 1200 м. Была изготовлена опытная партия (105 шт.) установок с трехпроводной и однопроводной линией питания для промысловых испытаний. Несмотря на положительные в целом результаты испытаний, программа производства ПВЭД была свернута в связи с недостаточной надежностью существовавших в то время насосов.

В конце 1996 года по заказу ПАО «ЛУКОЙЛ» был изготовлен макетный образец ПВЭД разработки ОАО «Аэроэлектрик». А два года спустя начаты эксплуатационные испытания опытных образцов УЭЦН с вентильным электродвигателем номинальной частотой вращения 3000 об / мин. К 2011 году электродвигатели производства РИТЕК ИТЦ с номинальной частотой вращения 3000 об / мин. для УЭЦН и низкоскоростные ПВЭД для винтовых насосов произведены общим числом более 2000 шт. [2]

В 1997 году была изготовлена, а в 1998 году спущена в скважину УЭЦН с вентильным электродвигателем с частотой вращения до 9000 об / мин. мощностью 35 кВт разработки КБ «Нефтемаш» [3]. В настоящее время производятся мелкие партии УЭЦН «ЦУНАР» и «АКМ», работающие в диапазоне частот вращения 7~10 тыс. об / мин. Всего было произведено около 180 различных модификаций таких установок.

ООО «ПК Борец» приступило к разработке и производству ПВЭД в 2004 году. Было изготовлено около 2000 изделий [4].

В открытой печати данных об изготовлении такого оборудования за пределами России и тем более об его эксплуатации найти не удалось. Конструкция двигателей Baker Hughes и Shlumberger, как известно, не вентильная. Правда, есть информация, что для винтовых насосов одно из подразделений компании Shlumberger под названием Kudu выпускает вентильные тихоходные двигатели, но она требует проверки.

Если говорить вообще о зарубежной практике, то, к примеру, «Борец» производит вентильные двигатели и имеет представительства за рубежом.

НОВОМЕТОВСКИЕ ПВЭД

«Новомет» приступил к разработке и внедрению ПВЭД в 2005 году. При этом была поставлена задача охвата всего диапазона габаритов от 81 мм до 185 мм, частот вращения от 100 до 6000 об / мин. и мощностей до 1,2 МВт.

Очередность внедрения в производство определялась, естественно, спросом со стороны нефтяных компаний.

Первый ПВЭД 117-го габарита мощностью 400 кВт был изготовлен в 2006 году. За период до 2009 года освоена полная линейка мощностей ПВЭД-117 на 3000 и 6000 об / мин. и подготовлено серийное производство ПВЭД 81-го габарита максимальной мощностью одной секции 80 кВт. До 2012 года линейку продукции компании пополнили вентильные двигатели в габаритах 130 и 185 мм.

Таким образом, к 2013 году задача освоения вентильных электродвигателей для УЭЦН средних и больших габаритов компанией «Новомет» была успешно выполнена – количество этих машин превысило 25% от всех производимых ПЭД в компании.

Предстояло освоить малый и супермалый габариты. А именно: ПВЭД-81. В конце 2012 года было изготовлено менее 200 секций данного габарита, а к середине 2014 года их количество достигло почти 800.

Результаты расчетов по методике оценки пилотных проектов подтвердили среднюю наработку УЭЦН 3-го габарита в пределах 540 суток. В декабре 2014 года на Самотлорском месторождении была запущена установка УЭЦН3-160Э-2100 / 36–240 с первым секционным вентильным двигателем 81-го габарита мощностью 125 кВт.

Опыт освоения УЭЦН 3-го габарита выявил большую потребность нефтяной отрасли в малогабаритных установках для скважин с малым дебитом добычи.

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ

На роторе вентильного двигателя вместо короткозамкнутой «беличьей клетки» размещены постоянные магниты – именно этим данные машины в основном отличаются от асинхронных.

В вентильных электродвигателях «Новомета» герметизация магнитов осуществляется специальными элементами конструкции, которые исключают их контакт с жидкостью внутри двигателя и, следовательно, коррозию и вспучивание магнитов.

По сравнению с вентильными машинами других производителей, новометовские двигатели имеют увеличенный электромагнитный зазор, не содержат магнитомягких полюсов, а значит, их подшипники подвергаются меньшим нагрузкам от сил одностороннего магнитного притяжения и обладают потенциально бóльшим сроком службы. Статор изделий компаундирован, внутри обмотки размещен датчик температуры, на все габариты двигателей имеются системы ТМС.

Ротор электродвигателя на частоту вращения до 3000 об / мин. имеет традиционную конструкцию со сплошным валом и подшипниками в расточке статора. В конструкции электродвигателей на частоты вращения выше 4000 об / мин. применены инновационные решения. Благодаря им, а также предварительной балансировке пакетов удается получить низкий уровень вибрации как при первоначальной сборке электродвигателя, так и при замене части пакетов ротора.

ПВЭД ПРОИЗВОДСТВА АО «НОВОМЕТ-ПЕРМЬ», на начало 2018 г.

Страна	ПВЭД в работе на текущую дату, шт.	Средняя текущая наработка, сут.
Аргентина	59	430
Канада	4	278
Колумбия	171	755
Эквадор	38	179
Египет	13	640
Индонезия	2	103
Кувейт	7	282
Малайзия	1	236
Румыния	29	179
Южный Судан	2	119
США	29	187
Венесуэла	5	131
Всего	**360**	**293 (среднее значение)**

ПРЕИМУЩЕСТВА

Вентильные электродвигатели обладают рядом технических и эксплуатационных преимуществ по сравнению с асинхронными.

Прежде всего ПВЭД имеют увеличенный КПД (88–94% в зависимости от диаметра) и обусловленные им пониженное удельное тепловыделение на единицу мощности и низкое энергопотребление. Это позволяет снизить массу и габариты активной части двигателя примерно в два раза. Так, ПВЭД 117-го габарита в односекционном исполнении при 3000 об / мин. выдает мощность до 310 кВт, а при 6000 об / мин. – до 420 кВт.

В случае необходимости вентильные двигатели могут быть выполнены с высоким коэффициентом мощности, в том числе равным 1.

Возможность регулирования частоты вращения и контроля параметров позволяет оптимизировать отбор жидкости из скважин и сократить номенклатуру двигателей. Диапазоны регулирования частоты вращения составляют 100–500, 500–1500, 1500–4200 и 4000–6000, 5000–8500 об / мин.

ПВЭД могут применяться:

- в скважинах осложненного фонда;
- при добыче вязкой нефти;
- при нестабильной подаче;
- в малодебитных скважинах;
- в скважинах, вводимых после гидроразрыва пласта (ГРП) и после других операций по интенсификации добычи нефти.

ТОНКОЕ ВЕНТИЛЬНОЕ РЕШЕНИЕ

В 2014 году компанией был разработан вентильный двигатель для установки 2-го габарита ЭЦН2-50-2000 с наружным диаметром корпуса ПВЭД 55 мм. А в 2016 году компания вывела на рынок революционную технологию ColibriESP, составной частью которой и являлась данная разработка.

На ней стоит остановиться подробней.

Погружной маслозаполненный вентильный электродвигатель содержит от одной до трех унифицированных секций. Все секции обмотаны проводом одного диаметра, это позволило сделать их универсальными и применять в любом сочетании, в зависимости от требуемой мощности ПЭД. Длина одной модуль-секции ПЭД составляет 2, 3 и 4 метра, мощность изготавливаемых секций электродвигателей принята 15, 25 и 35 кВт соответственно. Максимальная суммарная мощность электродвигателя (105 кВт) ограничена сечением выводных проводов, соединяющих секции между собой. Номинальные токи до 28 А и напряжение до 3000 кВ позволили получить минимальный перегрев электродвигателя (25°С).

Мощность первого изготовленного двухсекционного двигателя для 2-го габарита составила 70 кВт, чего достичь в корпусе 55 мм еще пару лет назад было практически невозможно. В данном габарите, кроме магнитопровода, обмотки и магнитов, размещены вал с трансмиссией, соединение токоведущих выводных проводов, а также быстроразъемное бесфланцевое соединение секций ЭЦН. КПД двигателя составил 85%.

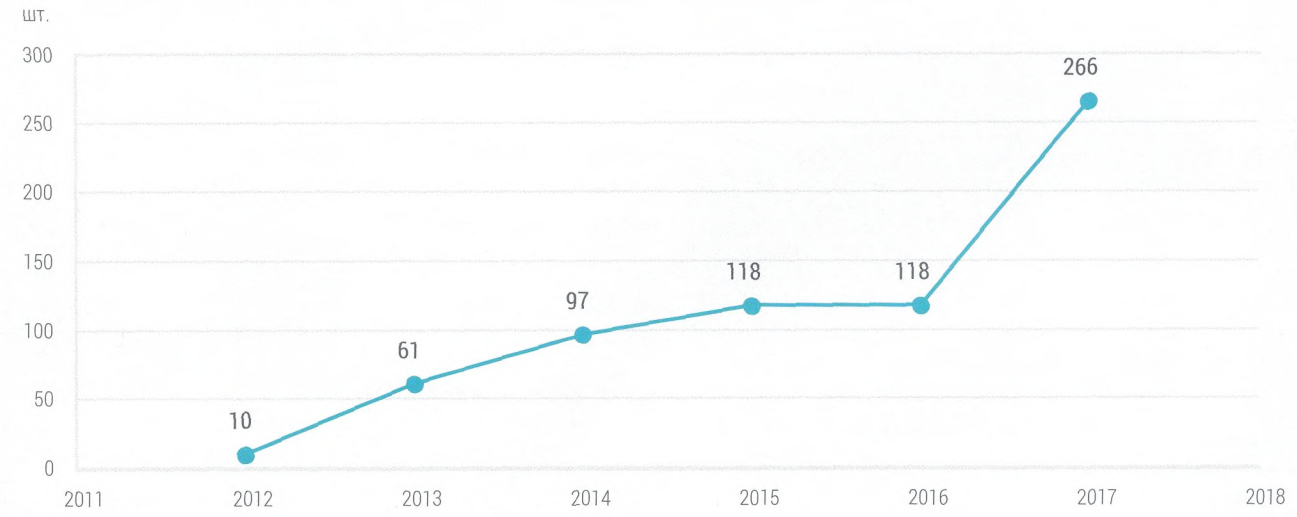
Разработка уникальна, аналогов в мире не существует.

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ

Важнейшее преимущество вентильных двигателей заключается в том, что они являются составной частью энергоэффективных установок.

Повышение энергоэффективности добычи нефти остается одной из наиболее актуальных задач не толь-

ДИНАМИКА ВНЕДРЕНИЯ ПВЭД



ко в России, но и в мире. Согласно статистике, доля затрат нефтяных компаний на электроэнергию в структуре себестоимости добычи увеличивается в среднем на 3–4% в год. При этом более 50% расходов на электроэнергию приходится на подъем скважинной жидкости механизированным способом. Только в России энергопотребление в сегменте механизированной добычи нефти составляет не менее 28,3 млрд кВт*ч в год.

Для решения проблемы высокого энергопотребления инженеры АО «Новомет-Пермь» разработали линейку энергоэффективных УЭЦН с максимальным КПД до 79% при номинальной подаче до 3000 м³/сут.

Предлагаемая линейка оборудования включает УЭЦН с высокооборотными (до 5820 об/мин.) погружными вентильными электродвигателями. От серийно выпускаемых моделей данные установки отличаются меньшими габаритами, более высоким КПД и повышенными напорными характеристиками.

В качестве привода в этих установках используется серийно производимый погружной вентильный электродвигатель серии ПВЭДН в габаритных группах 81, 103, 117, 130 и 185 мм. Трехфазный и маслонаполненный, он представлен в двух вариантах исполнения: одно- и двухсекционном. В его конструкции применяется ротор на базе четырехполюсного магнита, изготовленного из высокотемпературных магнитотвердых спеченных материалов.

Энергетический расчет показывает, что энергопотери в вентильном двигателе примерно в два раза меньше, чем в асинхронном. При использовании установки с вентильным двигателем наблюдается не только снижение энергопотребления в узлах УЭЦН, но и уменьшение потерь в кабеле, станции управления и масляных трансформаторах погружных насосов (ТМПН).

Проведенные на стендах-скважинах ОАО «ОКБ БН КОНАС» сравнительные испытания серийной установки и энергоэффективной установки с вентильным двигателем подтвердили, что применение ПВЭДН позволяет на 24% снизить энергопотребление УЭЦН. Испытания проводились в присутствии представителей компаний-заказчиков и независимых наблюдателей.

Согласно ГОСТ Р 56624–2015, все вентильные электродвигатели производства АО «Новомет-Пермь» соответствуют классу энергоэффективности е2. К этому классу относятся электродвигатели с высоким КПД, у которых суммарные потери мощности не менее чем на 40% (Ке=0,4) меньше суммарных потерь мощности стандартных электродвигателей с аналогичными мощностью и частотой вращения.

НОМЕНКЛАТУРА ВЕНТИЛЬНЫХ ПЭД ПРОИЗВОДСТВА АО «НОВОМЕТ-ПЕРМЬ»

	Диапазон мощностей вентильных ПЭД, кВт										
	Односекционные					Двухсекционные			Трехсекционные		
	Номинальная частота вращения, об/мин.										
	500	3 000	4 500	5 000	8 500	3 000	6 000	8 500	3 000	6 000	8 500
ПВЭДН-55	–	–	–	–	5–35	–	–	35–70	–	–	70–105
ПВЭДН-81	–	10–45	–	22–90	–	50–100	100–200	–	95–135	190–270	–
ПВЭДН-103	–	6–140	–	12–280	–	140–280	285–540	–	–	–	–
ПВЭДН-117	3–40	12–310/400	–	40–400	–	420–620	420–600	–	–	–	–
ПВЭДН-130	–	32–300	–	63–600	–	325–600	125–1200	–	–	–	–
ПВЭДН-185	–	63–800	1200	–	–	–	–	–	–	–	–

– серийные
– подготовка производства
– в разработке

ВНЕДРЕНИЕ УЭЦН С ВЕНТИЛЬНЫМИ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯМИ В РОССИИ

Начиная с 2009 года установки с вентильными электродвигателями успешно применяются на месторождениях многих крупных российских нефтяных компаний. В качестве примера можно привести результаты промышленного внедрения оборудования на объектах ПАО «Газпром нефть» и еще одной крупной нефтяной компании в период 2013–2014 годов.

В рамках сервисного (прокатного) проекта ООО «Новомет-Сервис» в АО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» и его структурном подразделении (Филиале) «Газпромнефть-Муравленко» было внедрено соответственно 630 и 423 ед. ПВЭД. Помимо стоимости проката УЭЦН, в сервисных контрактах были закреплены ключевые показатели эффективности, предусматривающие снижение удельного расхода электроэнергии (УРЭ) на добычу тонны жидкости и ежегодное увеличение МРП и наработки на отказ (НнО). После внедрения оборудования в АО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» МРП установок увеличился с 598 до 761 сут., в «Газпромнефть-Муравленко» – с 428 до 584 сут.

Общая наработка энергоэффективных УЭЦН на фонде АО «Газпромнефть-Ноябрьскнефтегаз» к настоящему времени превысила наработку как серийно выпускаемых установок производства АО «Новомет-Пермь», так и аналогов, предлагаемых другими отечественными заводами-изготовителями.

ВНЕДРЕНИЕ ПВЭД ПРОИЗВОДСТВА «НОВОМЕТ» ЗА РУБЕЖОМ

Вентильные электродвигатели пермской компании работают в Аргентине, Канаде, Колумбии, Эквадоре и других странах.

Первый монтаж УЭЦН с вентильным двигателем состоялся в Египте 6 февраля 2012 года. Всего ПВЭД производства АО «Новомет-Пермь» было внедрено в 12 странах в количестве 670 двигателей. Из них на начало 2018 года в работе находилось 360 установок со средней наработкой 293 суток. Отметим, что максимальная наработка в Колумбии доходит до 1921 суток.

ДИНАМИКА ВНЕДРЕНИЯ ПВЭД

Ведущие мировые нефтяные компании проявляют серьезный интерес как к новометовскому оборудованию в целом, так и конкретно к его вентильным электродвигателям. В 2017 году пермская компания заключила соглашение с концерном Statoil Petroleum AS (Норвегия) по НИОКР на разработку высоконадежной УЭЦН с вентильным электродвигателем для применения на офшоре.

ВЕНТИЛЬНАЯ РЕВОЛЮЦИЯ

Благодаря появлению на рынке вентильных двигателей произошел существенный рывок в механизированной добыче в целом. Компании «Новомет» удалось вывести на рынок целый ряд новых установок:

- высокооборотные УЭЦН с подачей до 1600 м^3/сут., при этом обладающие КПД на 40 % выше, чем у серийных, до двух раз компактнее;
- малогабаритные УЭЦН для спуска в боковой ствол диаметром 102 мм, что дает прирост добычи в среднем равный 15 м^3/сут.;
- УЭЦН сверхмалого габарита для эксплуатации внутри НКТ 73 мм, спускаемую на грузонесущем кабеле (на ее монтаж требуется в пять-семь раз меньше времени, чем на монтаж серийной УЭЦН);
- установки винтового насоса с нижним приводом, а также насосы нового типа – объемно-роторные (установки приводятся в действие низкооборотным двигателем и используются для добычи вязкой нефти).

В стадии подготовки находятся решения для эксплуатации в условиях сверхвысоких температур, а также установки со сверхвысокой надежностью – обе технологии выполнены на базе вентильных приводов.

Сегодня стало очевидно, что конструкция асинхронных электродвигателей свои возможности по увеличению КПД и повышению коэффициента мощности исчерпала и будущее однозначно за вентильными электродвигателями.

ЛИТЕРАТУРА:

[1]. Санталов А.М. ***Вентильные электродвигатели для погружных электронасосов.*** *// Сборник докладов VI Всероссийской технической конференции «Производство и эксплуатация УЭЦН». Альметьевск. 1996.*

[2]. Павленко В.И., Гинзбург М.Я. ***Тенденция замены ПЭД на ВД: мир последовал за инновацией ЛУКОЙЛа.*** *// Нефтегазовая Вертикаль. 2010. № 20.*

[3].Шенгур Н.В., Иванов А.А. ***Мифы и реальности внедрения вентильного электродвигателя в УЭЦН.*** *// Инженерная практика. 2011. № 3.*

[4] Слепченко С.Д. ***Математика прогноза*** *// Нефтегазовая Вертикаль. 2006. № 12. С. 48–51.*

Россия, 614065,
г. Пермь, ш. Космонавтов, 395.
Тел.: (342) 296-27-56, 296-27-59
Факс: (342) 296-23-02
E-mail: post@novomet.ru

NOVOMET