РЕШЕНИЯ ООО «ПК «БОРЕЦ» ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЛУАТАЦИИ МЕХАНИЗИРОВАННОГО ФОНДА СКВАЖИН

КОКУНИН Евгений Иванович
Начальник технического департамента ООО «ПК «Борец»

За последнее время специалистами ООО «ПК «Борец» была разработана широкая гамма технических решений, направленных на повышение эффективности эксплуатации механизированного фонда, в том числе малодебитных и осложненных скважин.

В предлагаемой Вашему вниманию статье представлен краткий обзор некоторых из этих инноваций, среди которых энергоэффективные УЭЦН; установки винтовых насосов с вентильными двигателями; газопреобразователи; УЭЦН уменьшенных габаритов; серия станций управления «БОРЕЦ-15»; фильтры входные – модули щелевые для ЭЦН и ЭВН, а также система предупреждения солеотложений и система удаленного мониторинга погружного оборудования «Борец WEB-SCADA».

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ УЭЦН

Энергоэффективные УЭЦН разработаны компанией «Борец» как для низкодебитных (до 50 м³/сут), так и для высокодебитных (до 1000 м³/сут) скважин. Это оборудование прошло успешные испытания на месторождениях ряда нефтедобывающих предприятий, в том числе в ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». В 2015 году на объекты этой компании было поставлено более 20 комплектов энергоэффективных УЭЦН «Борец», внедрение которых обеспечило в среднем 35%-ную экономию электроэнергии (рис. 1,2).

Повышенная энергоэффективность установок ЭЦН «Борец» достигается за счет использования новых энергоэффективных насосов с более высоким (по сравнению со стандартными насосами) КПД и вентильных электродвигателей, которые также обладают увеличенным КПД и пониженным энергопотреблением по сравнению с асинхронными приводами (табл. 1). Эти факторы позволяют существенно снизить затраты на электроэнергию (рис. 3).

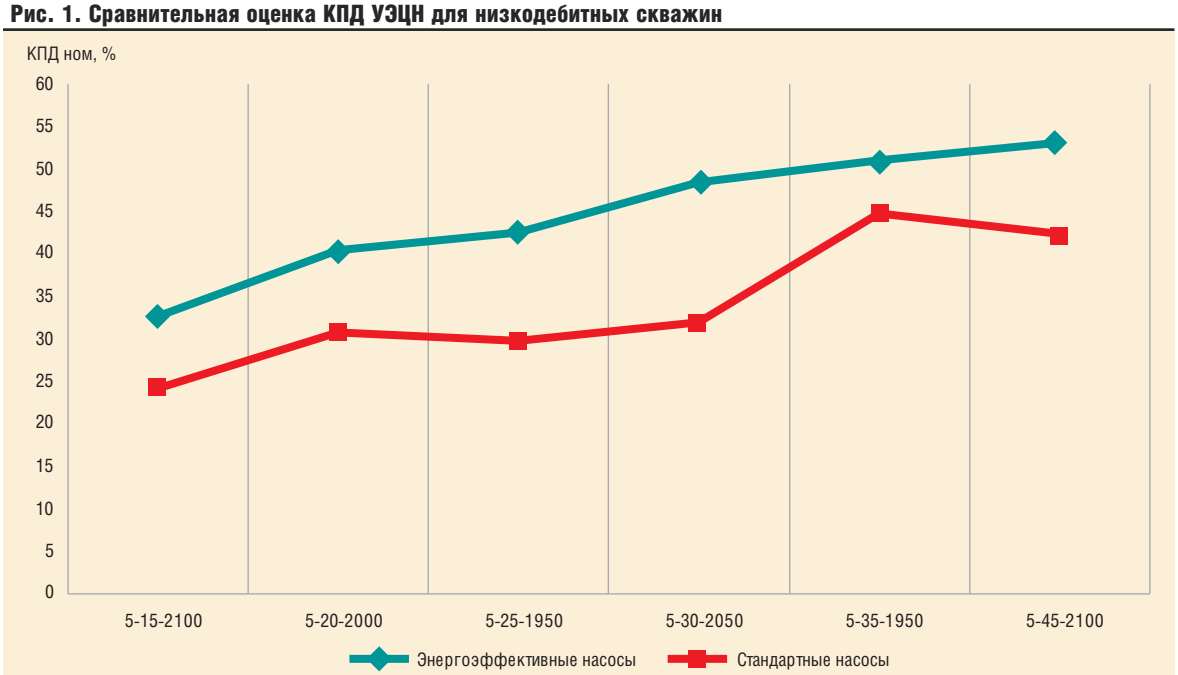
ВЕНТИЛЬНЫЕ ДВИГАТЕЛИ

Как было отмечено, ключевой компонент энергоэффективных установок «Борец» – вентильный электродвигатель. Погружные вентильные электродвигатели признаны нефтяниками наиболее эффективным приводом для установок механизированной добычи нефти благодаря высоким значениям КПД (более 90%), коэффициенту мощности cos (более 0,95), сниженному на 10-15% энергопотреблению, меньшим (более чем в два раза) габаритам (рис. 4, 5).

Конструкторская служба ООО «ПК «Борец» постоянно работает над совершенствованием существующих моделей двигателей и разработкой новых типоразмеров. За последнее время линейка вентильных двигателей дополнилась новыми образцами. Сейчас выпускается следующий номенклатурный ряд электродвигателей этого типа:

- тихоходные вентильные двигатели с частотой вращения 250-2000 об/мин, применяемые для комплектации установок винтовых насосов;

Рис. 1. Сравнительная оценка КПД УЭЦН для низкодебитных скважин



- стандартные двигатели с частотой вращения до 3900 об/мин – для УЭЦН;
- высокооборотные двигатели (до 6000 об/мин) – для установок, использующих электроцентробежные насосы, изготовленные по технологии МИМ (MIM, Metal Injection Molding).

УСТАНОВКИ ВИНТОВЫХ НАСОСОВ С ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Благодаря своим преимуществам вентильные двигатели открывают принципиально новые возможности применения установок механизированной добычи в скважинах с трудноизвлекаемыми запасами, с природными и техногенными осложнениями.

Солеотложения, мехпримеси, высокий газовый фактор приводят к ощутимому снижению эффективности основных способов механизированной добычи, таких как УЭЦН, УШГН и УШВН (рис. 6). Указанные осложнения наиболее сильно влияют на работу УЭЦН, делая этот вид добычи экономически невыгодным. ПК «Борец» предлагает альтернативный вариант – установки одновинтовых насосов (КПД винтового насоса в среднем на 25% превышает КПД ЭЦН) с тихоходным вентильным приводом (табл. 2-4).

Использование на малодебитном фонде установок винтовых насосов с вентильным приводом, помимо прочих преимуществ, обеспечивает устойчивую подачу пластовой жидкости без потери напора за счет возможности регулирования частоты вращения насоса. Кроме того, в процессе работы винтовой насос не создает высоковязких водонефтяных эмульсий, образование которых характерно для ЭЦН, что существенно влияет на их работоспособность.

Совокупность преимуществ УЭВН в итоге снижает удельное потребление электроэнергии и, следовательно, уменьшает общие затраты на эксплуатацию нефтедобывающего оборудования. В ходе сравнительных испытаний на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» установки винтовых насосов с вентильным приводом показали снижение потребления электроэнергии на 80% по сравнению с УЭЦН, на 25% – по сравнению с УШГН и на 17% – по сравнению с УШВН.

СТАНЦИЯ УПРАВЛЕНИЯ «БОРЕЦ – 15»

Отличительная особенность энергоэффективных УЭЦН и УЭВН «Борец» – применение в их составе универсальной частотно-регулируемой СУ – собственной разработки компании. Универсальная станция управления «Борец-15» предназначена для управления асинхронными и вентильными двигателями и защиты их в установках ЭЦН и ЭВН. Станция обеспечивает работу этих установок в различных скважинных условиях

Рис. 2. Сравнительная оценка КПД энергоэффективных и стандартных УЭЦН для высокодебитных скважин

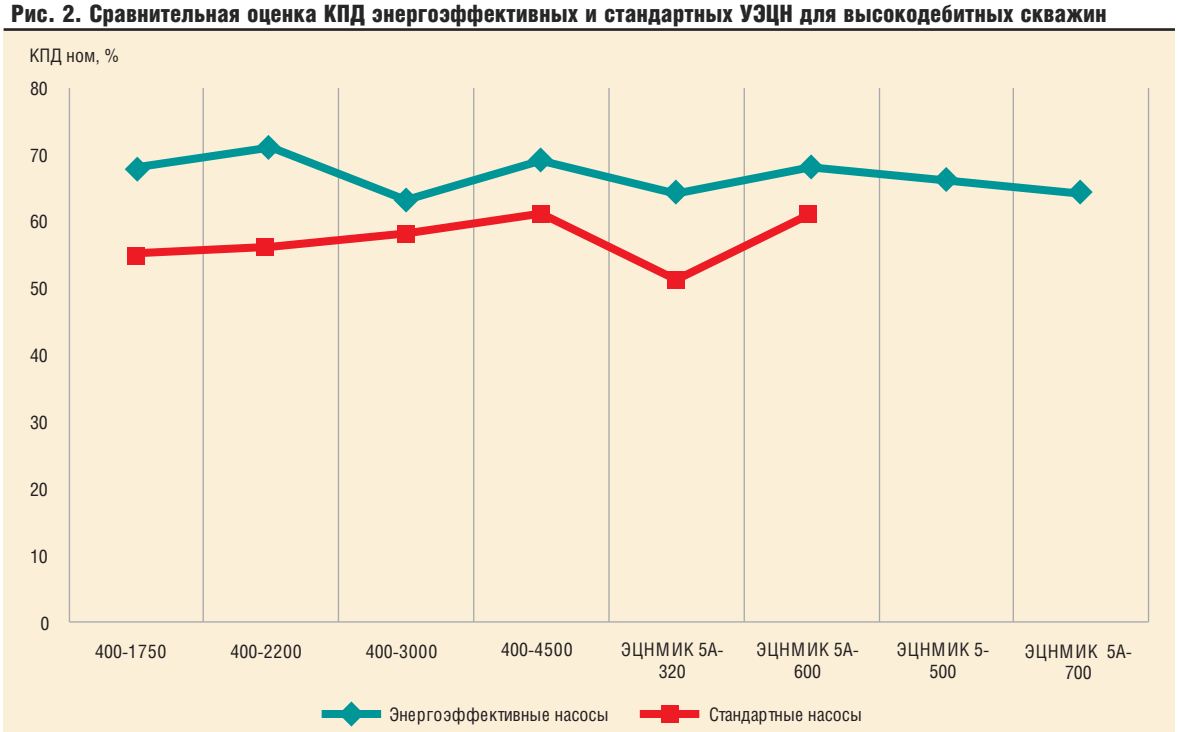
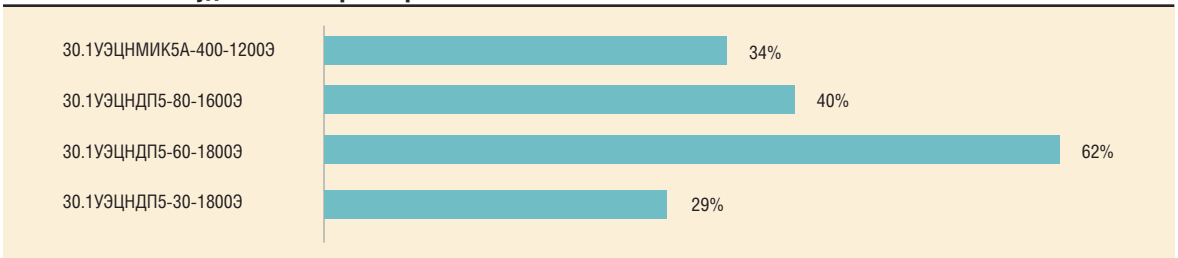


Рис. 3. Снижение удельного энергопотребления



и включает функции автоматического перезапуска, частотного регулирования, расклинивания, подхвата и остановки турбинного вращения, удаления газовых пробок и другие.

В станции управления «Борец-15» используются контроллеры КАСКАД-НТ или АРГУС. В конструкции станции «Борец-15-1200» вместо медных шин используются алюминиевые, предусмотрено снижение мощ-

Таблица 1

Сравнение характеристик стандартной и энергоэффективной установок ЭЦН для дебитов до 50 м³/сут

Характеристики	10.1ЭЦНД5-15-2100 с асинхронным ПЭД ЭДБ20-117В5	30.1ЭЦНД5-15-2100 Э с вентильным ПЭД 1ВЭДБТ26-117/3
КПД насоса, %	24,1	32,5
Номинальная потребляемая мощность насоса, кВт	16	10,2
Максимальная потребляемая мощность насоса, кВт	18	13,1
Параметры ПЭД при номинальном режиме:		
Ток, А	23	18,0
КПД, %	84	90,5
cosφ	0,83	0,955
Потребляемая мощность ПЭД в номинальном режиме, кВт	25,1	13,5
Потери мощности в кабеле 3 16, кВт	3,8	2,3
Потери мощности в трансформаторе, кВт	0,6	0,4
Потери мощности на станции управления, кВт	0,0	0,4
Полная потребляемая мощность установки, кВт	29,5	16,7
Активная потребляемая мощность установки, кВт	24,5	15,9
Средняя стоимость 1 кВт-ч, руб.	2,46	2,46
Затраты электроэнергии в год (полные), тыс. руб.	636	360
Затраты электроэнергии в год (активные), тыс. руб.	528	344
Экономия электроэнергии в год (полная / активная), тыс. руб.		276 / 184
Экономия электроэнергии (полная / активная), %		43 / 34

ности силовых модулей и уменьшено число конденсаторов в накопителе и фильтре, что позволяет повысить надежность работы станции. На базе СУ «Борец-15-1200» разработаны станции на 1000 и 1600 А.

В начале 2017 года были успешно проведены испытания станции «Борец-15-400» для тихоходного вентильного двигателя, используемого в установках винтовых насосов.

УЭЦН УМЕНЬШЕННОГО ГАБАРИТА

Для использования в колоннах боковых стволов скважин Компания предлагает установки ЭЦН уменьшенных габаритов – УЭЦН 4У и УЭЦН 2А.

Установка ЭЦН 4У с максимальным поперечным габаритом 96,2 мм предназначена для работы в эксплуатационных колоннах с условным наружным диаметром 114, 120 и 127 мм и внутренним диаметром от 99 мм. Данное оборудование производится ООО «ПК «Борец» серийно и является альтернативой УЭЦН габаритной группы 3А.

В установке используются концевые детали ЭЦН уменьшенного размера, гидрозащита ПБ86АУ модернизированной конструкции с закрепленным на ней кабельным удлинителем, которая не выступает за габариты двигателя. Удлинитель изготовлен из специально разработанного кабеля ЭПОП 3х6 с изоляцией EPDM и бронепокровом из ленты Monel уменьшенного габарита (рис. 7).

Одна из последних разработок ПК «Борец» – установка ЭЦН 2А – включает в себя следующие компоненты:

- ЭЦН в 69-мм исполнении на базе ступеней 2А-70 и 2А-100;
- входной модуль;
- газостабилизирующие устройства;
- гидрозащиту ПБ69А (габарит корпуса 69 мм);
- дополнительный модуль, обеспечивающий смещение осей двигателя и протектора на 5 мм;
- вентильный электродвигатель мощностью до 90 кВт (частота вращения 6000 об/мин) с диапазоном регулирования от 3000 до 6000 об/мин;
- кабельный удлинитель УБУ-6;
- погружной блок телеметрии СПТ-4БП-81 в габарите 81 мм.

Габарит установки в максимальном сечении составляет 81 мм, что позволяет осуществлять ее монтаж в скважины с минимальным внутренним диаметром эксплуатационной колонны 89 мм. Конструкция узлов установки предусматривает эксплуатацию в горизонтальных скважинах (рис. 8).

ГАЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ

Газопреобразователи «Борец» серии ГПРБ предназначены для повышения эффективности эксплуатации скважин установками погружных центробежных насосов в условиях высокого содержания попутного газа в откачиваемой среде. ГПРБ представляет собой комбинацию элементов газосепаратора вихревого серии ГСВБ и фазопреобразователя типа 3, состоящего из осевых ступеней. Устройство обеспечивает стабильную работу установок, при содержании: свободного газа на входе до 85%, механических примесей в откачиваемой среде до 1 г/л и температуре до 170°С.

Газопреобразователи разработаны в габаритах 5 и 5А в износостойком и износо-коррозионностойком исполнениях, без осевой опоры вала и отвечают всем техническим требованиям нефтяных компаний.

Рис. 4. Вентильные электродвигатели для установок ЭЦН и ЭВН

Насос	Погружной вентильный электродвигатель		
	Частота вращения, об/мин	Габаритная группа	Диапазон мощности электродвигателя, кВт (25, 50, 100, 150, 200, 300, 400)
Винтовой насос	250-2000	117	5 – 35
УЭЦН	500-3900	103	10 – 140
		117	18 – 250
		130	28 – 400
УЭЦН МИМ	3000-6000	117	70 – 180

ФИЛЬТР ЩЕЛЕВОЙ – МОДУЛЬ ВХОДНОЙ (ФЩ-МВБ) ДЛЯ ЭЦН И ЭВН

Разработка входного модуля ЭЦН с щелевым фильтром была вызвана необходимостью защиты рабочих органов насосов при работе в скважинах с высоким содержанием мехпримесей.

ФЩ-МВБ предназначен для комплектации ЭЦН габаритных групп 5 и 5А в скважинах с внутренним диаметром обсадной колонны не менее 121,7 мм и 124,3 мм соответственно. Использование данного модуля позволяет:

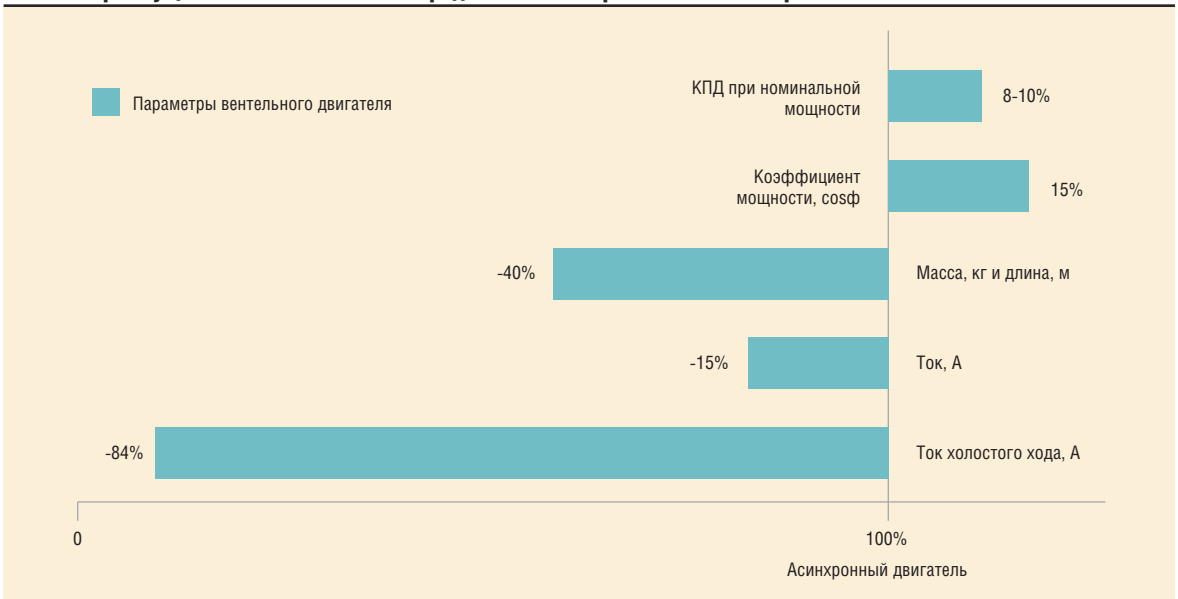
- снизить гидравлические потери;
- повысить ресурс работы фильтра за счет использования защищенной от пластовой жидкости пары трения (радиальных подшипников);
- исключить вероятность засорения внутренней полости фильтра отфильтрованными мехпримесями.

Таблица 2

Характеристики одновинтовых насосов «Борец»

Типоразмер ЭОВНБ	Типоразмер пары РСР и Лемаз*	Диапазон регулирования подачи при 350-750 (об/мин), м³/сут	Опорный модуль	Клапан промывочный	Потребляемая мощность при 500 об/мин в номинальном режиме, кВт	Вентильный привод (рекомендуемый ТУ)	ГЗ	УБ	СУ
6-1500	1,2-1500	3 9	4МСБ92	КПМБ-73 + КОШ-73	1,9	9.2ВЭДБТ7-117/0,5В5	1ПБ92	УБ10/25-02	«БОРЕЦ-ВД50 М.4.8» и наземка СПТ-2
6-2500	1,2-3000	3 9	4МСБ92		3,9	9.2ВЭДБТ11-117/0,5В5			
7-1200 10	1,4-1200	4 10	4МСБ92		1,7	9.2ВЭДБТ7-117/0,5В5			
7-2000 10	1,4-2400	4 10	4МСБ92		3,4	9.2ВЭДБТ7-117/0,5В5			
12-1500	2,4-1500	8 16	4МСБ92		3,4	9.2ВЭДБТ7-117/0,5В5			
12-2500	2,4-3000	8 16	4МСБ103, 4МСБ92		6,8	9.2ВЭДБТ14-117/0,5В5			
16-1500	3,2-1500	10 25	4МСБ92		4,5	9.2ВЭДБТ11-117/0,5В5			
16-2500	3,2-3000	10 25	4МСБ103, 4МСБ92		9	9.2ВЭДБТ18-117/0,5В5			
20-1000 10	4-1200	11 28	4МСБ92		4	9.2ВЭДБТ11-117/0,5В5			
20-2000 10	4-2400	11 -28	4МСБ103, 2МСБ92		8	9.2ВЭДБТ14-117/0,5В5			
20-1500	4-1500	12 30	4МСБ92		5,25	9.2ВЭДБТ14-117/0,5В5			
20-2500	4-3000	12 30	4МСБ103, 4МСБ92		10,6	9.2ВЭДБТ18-117/0,5В5			
30-1000 10	6-1200	15 40	4МСБ92		6	9.2ВЭДБТ14-117/0,5В5			
30-2000 10	6-2400	15 40	4МСБ103, 4МСБ92		12	9.2ВЭДБТ18-117/0,5В5			
30-1500	6-1500	15 40	4МСБ92		7,5	9.2ВЭДБТ14-117/0,5В5			
30-2500(2800)	6-3000	15 40	4МСБ103		15	9.2ВЭДБТ21-117/0,5В5			
55-1000 10	11-1200	35 80	4МСБ103, 4МСБ92		9,25	9.2ВЭДБТ18-117/0,5В5			
55-2000 10	11-2400	35 80	5МСБ103, 2МСБ92		17,5	9.2ВЭДБТ25-117/0,5В5			
55-2800 10	11-3000	35 80	5МСБ103		22	9.2ВЭДБТ35-117/0,5В5			БОРЕЦВ Д105 М.4.8 и наземка СПТ-2
80-1200 10	16-1400	50 110	4МСБ103		16	9.2ВЭДБТ25-117/0,5В5			
80-2000 10	16-2100	50 110	5МСБ103		24,4	9.2ВЭДБТ35-117/0,5В5			
125-1500 10	25-1600	80 170	5МСБ103		26,8	9.2ВЭДБТ35-117/0,5В5			

Рис. 5. Преимущества вентильного электродвигателя по сравнению с асинхронным



К середине марта 2017 года российским нефтяным компаниям было поставлено более 150 комплектов щелевых фильтров. Максимальная наработка на отказ составила 590 суток. За период эксплуатации отказов по причине выхода из строя фильтра щелевого – модуля входного зафиксировано не было.

Для комплектации УЭВН в Компании разработан специальный модуль ФЩ-МВБ для винтовых насосов габаритных групп 5 и 5А. Отличие данной модификации состоит в том, что она предназначена для работы в скважинах после проведения в них гидроразрывов пласта (ГРП). Это изделие унифицировано с серийным входным модулем винтового насоса, и их сочленение осуществляется в условиях сервисных баз.

СИСТЕМА ПРЕДУПРЕЖДЕНИЯ СОЛЕОТЛОЖЕНИЙ (СПС)

СПС предназначена для непрерывной защиты погружного скважинного оборудования от отложений минеральных солей при работе в скважинах, подверженных солеотложениям, и в скважинах с высоким газовым фактором (рис. 9).

Защита погружного оборудования от солеотложений обеспечивается непрерывным воздействием на добываемую пластовую жидкость электромагнитного поля специального вида, за счет чего предотвращается отложение солей в погружном насосном оборудовании.

К ключевым отличиям СПС от аналогов можно отнести высокую выходную мощность и надежность.

Таблица 3

Условия применения винтовых насосов

Параметры	Значение
Глубина спуска, м	2400
Производительность, м^3/сут	4-210
Содержание попутной воды на приеме, %, не более	99
Плотность среды, кг/м^3, не более	1400
Водородный показатель попутной воды, pH	6,0...8,5
Максимальная вязкость перекачиваемой жидкости, м^2/с	до 1*10^{-3}
Массовая концентрация твердых частиц, г/л, не более	0,6
Микротвердость частиц, баллов по Моосу, не более	5
Содержание свободного газа на приеме насоса, %, не более	50
Концентрация сероводорода, г/л, не более	1,25
Температура перекачиваемой среды, °С	80

Рис. 6. Сравнение КПД винтового насоса и ЭЦН5

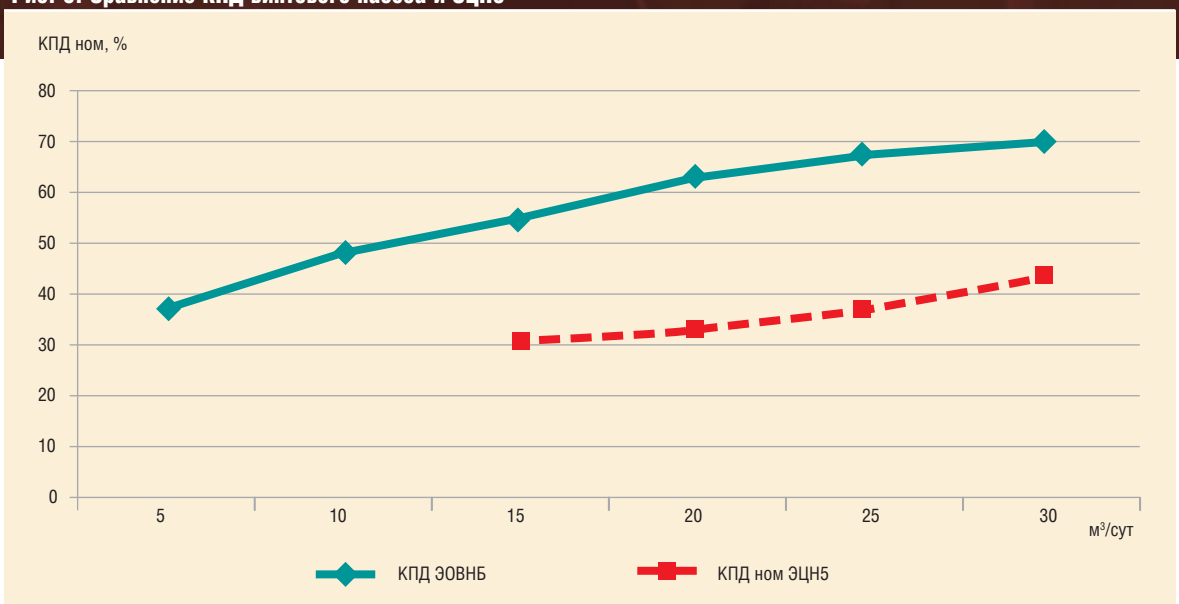
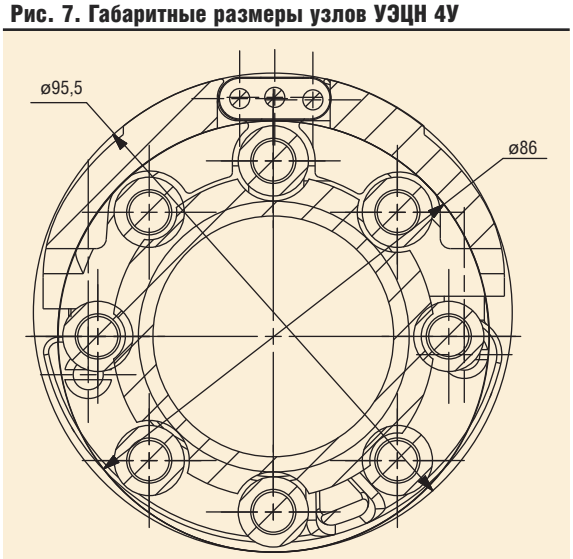


Таблица 4

Варианты комплектации винтовых насосов с опорными модулями

Минимальный внутренний диаметр обсадной колонны, мм	Габарит насоса	Рабочий диапазон, подача, м³/сут (350-750 об/мин)	Опорный модуль	Восприятие осевых усилий, тс
121.3	5	4-80	4МСБ92	3,5
			2МСБ92	7
130.7	5А	4-180	4МСБ103	5
			5МСБ103	10
144.1	6	98-210	1МСБ114	6,5

Рис. 7. Габаритные размеры узлов УЭЦН 4У



В зависимости от проводимости скважиной жидкости выходная мощность электромагнитных импульсов СПС может достигать 1500 Вт и более. Эффективность СПС возрастает с увеличением обводненности скважины. Применение современных технических решений и специализированных высоконадежных компонентов обеспечивает значительный ресурс при температуре пластовой жидкости до 150°С, а также защиту устройства СПС от нештатных режимов работы.

В зависимости от конкретных скважинных условий СПС может поставляться в вариантах, обеспечивающих надежную работу при температуре до 120 или 150°С.

Режим работы СПС может быть оптимизирован под конкретные условия работы, вплоть до адаптации к характеристикам отдельной скважины. При этом электропитание и передача данных не требуют развертывания дополнительных линий связи.

Наличие встроенных каналов телеметрии с помощью наземной аппаратуры обеспечивает полный конт-

Рис. 8. Комплектация и основные характеристики узлов УЭЦН 2А

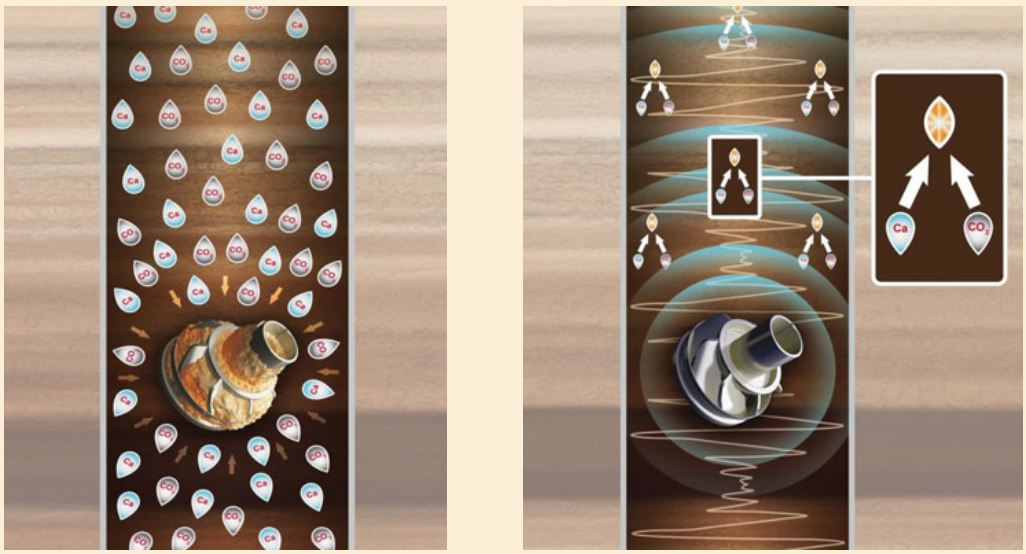
ЭЦН 2А	*Ступень*	*Номинальная подача при частоте 100 Гц, м³/сут*	*Рабочий диапазон частот вращения, Гц*	*КПД, %*
	2А-70	70	50-100	48
	2А-100	100	50-100	50
Гидрозащита с ПБД	**ПБ69 А** – стандартное исполнение **ПБ69 АК** – коррозионностойкое исполнение			
ВЭД	*Наименование*	*Мощность при 3000 об/мин, кВт*	*Мощность при 6000 об/мин, кВт*	
	9.5ВЭДБТ 60	30	60	
	9.5ВЭДБТ 90	45	90	
Кабельный удлинитель	**УБУ-6/L** – стандартное исполнение **УБК-6/L** – коррозионностойкое исполнение			
Станция управления	**Борец-15** – универсальная станция управления			

Таблица 5

Основные характеристики СУ «Борец-15»

Параметры	**Тип станции управления**					
	Борец-15-160	**Борец-15-250**	**Борец-15-400**	**Борец-15-630**	**Борец-15-800**	**Борец-15-1200**
Номинальное напряжение питания, В (Гц)	380 (50) / 480 (60)					
Диапазон отклонения питающего напряжения от номинального значения, %	-25… +30					
Номинальный ток силовой цепи, А	160	250	400	630	800	1200
Максимальная мощность подключаемого электродвигателя, кВт при 50 Гц						
асинхронного	63	90	150	240	300	450
вентильного	70	110	180	280	350	530
Полная выходная мощность, КВА, 50Гц/60Гц	105/132	164/207	262/329	414/512	526/650	789/986
КПД со встроенным выходным фильтром, не менее, %	95					
Степень защиты	IP43, IP54					
Диапазон регулирования частоты вращения двигателя						
асинхронного, Гц	2…75					
вентильного, об/мин	250…6000					

Рис. 9. Принцип работы системы предупреждения солеотложений (СПС)



При электромагнитном воздействии на добываемую жидкость происходит изменение ее структуры и образование микроскопических кристаллов во флюиде. Микрокристаллы не осаждаются на поверхности рабочих органов насосов, а выносятся потоком жидкости на устье скважины.

роль работы СПС в скважине и позволяет проводить анализ характеристик работы насосного оборудования в режиме реального времени.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ

Для оперативного решения проблем, возникающих в процессе эксплуатации погружного оборудования, специалистами ООО «ПК «Борец» разработана и активно используется интеллектуальная система управления (ИСУ) скважиной с электропогружными установками компании «Борец». Ключевой элемент системы – программный продукт «Борец WEB-SCADA», который способен обеспечить контроль работы оборудования на удаленных месторождениях, кустах и скважинах. «Борец WEB-SCADA» гарантирует дистанционный контроль работы оборудования в режиме реального времени из любой точки мира с поддержкой интерфейса на разных языках, быструю реакцию на любые изменения параметров процесса добычи, регулирование работы установки (включение/выключение и изменение частоты вращения), добавление и изменение считываемых параметров контроллера, диагностику неисправностей и предотвращение отказов установки (рис. 10).

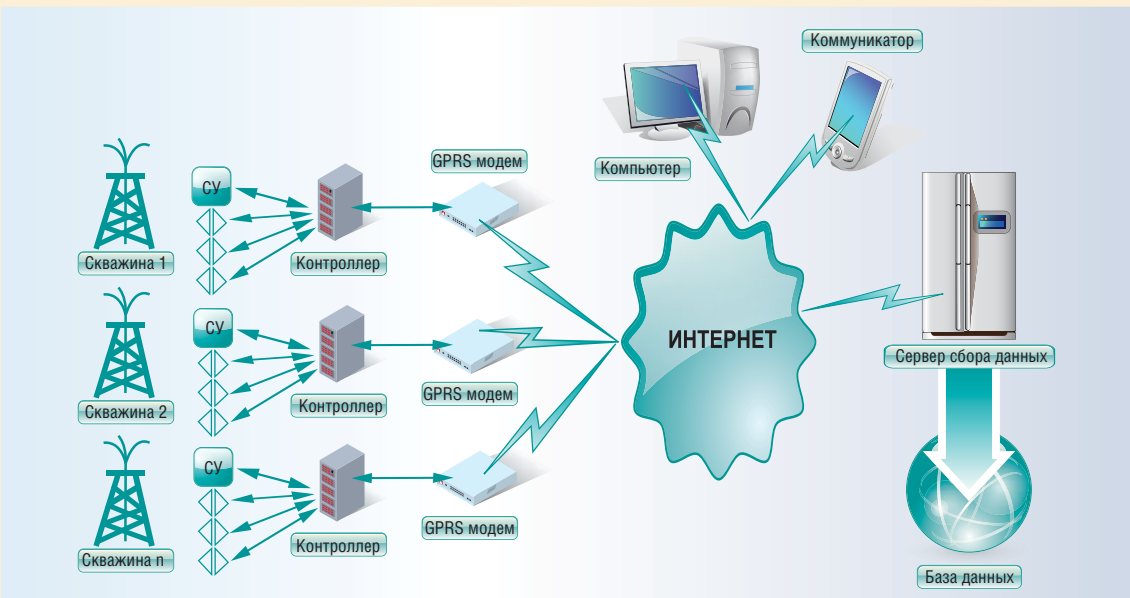



Рис. 10. Схема организации информационной системы «Борец WEB-SCADA»