

НЕФТЬ И КАПИТАЛ ИЗДАТЕЛЬСКИЙ ДОМ

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ
Технологии ТЭК



ИЮНЬ
2004

Новый высокоэффективный привод для погружных центробежных и винтовых насосов

Владимир Павленко, к.т.н., ген. директор ООО «РИТЭК-ИТЦ»

Матвей Гинзбург, зам. генерального директора ООО «РИТЭК-ИТЦ»

Установки погружных центробежных насосов являются одним из основных видов техники добычи нефти в России. За последние годы качество российских электропогружных установок существенно повысилось и приблизилось к уровню ведущих мировых производителей.

Однако и сегодня они нуждаются в дальнейшем техническом совершенствовании, которое позволило бы обеспечить рост эффективности их использования в нефтяной отрасли.

В установках погружных центробежных насосов (УЭЦН) в качестве привода используется асинхронный электродвигатель ПЭД.

При эксплуатации УЭЦН с таким электродвигателем в определенных режимах отбора жидкости из скважины возникают некоторые технологические проблемы, которые приводят к существенному снижению ресурса оборудования. Практически исчерпаны возможности дальнейшего повышения энергетической эффективности работы УЭЦН с асинхронными ПЭД.

Какие функции приводов ЭЦН нуждаются в дальнейшем совершенствовании?

Работа в этой области, как нам представляется, должна вестись в трех основных направлениях:

- улучшение функциональных характеристик приводов для повышения добывных возможностей УЭЦН и УЭВН;
- повышение ресурса приводов;
- повышение энергетических характеристик приводов.

Рассмотрим каждое из этих направлений.

Улучшение функциональных характеристик приводов погружных насосов

Подбор оборудования к скважине, проведенный даже по самой совер-

шенной программе, не обеспечивает максимальное соответствие системы «пласт—насос» по ряду причин.

Во-первых, сам алгоритм подбора основан на определенных допущениях, во-вторых, в расчетах используются эмпирические коэффициенты, в-третьих, исходные характеристики скважинной продукции не всегда точны. Кроме того, количество ступеней в подобном насосе не расчетное, а ближайшее в нем, установленное в стандартной насосной секции.

На практике отклонение количества ступеней в насосе может отличаться от расчетного еще больше, если насосы и насосные секции выбираются из наличия, которое не всегда содержит полный набор секций. Необходимо также учесть изменение характеристики скважинной продукции во времени и то, что характеристики насосов имеют разброс параметров производительности и напора в пределах поля допуска.

В этих условиях часто после запуска скважины требуется корректировка режима отбора, которая наиболее эффективно решается регулированием частоты вращения. Такую корректировку частоты вращения погружного асинхронного двигателя можно произвести с помощью специального регулятора частоты, выпускаемого как в виде отдельного бло-

ка, так и встроенного в специальную станцию управления. Однако широкого распространения регуляторы частоты вращения ПЭД в России до настоящего времени не получили, хотя они, за счет оптимизации режима отбора, могут дать прирост добычи.

Регулятор частоты вращения может обеспечить плавный запуск установки, а также форсировать работу насоса при снижении напора и подачи в результате его износа. Причины ограниченного применения регуляторов связаны с высокой ценой таких систем, приобретение которых не планируется бюджетом нефтяных компаний, ориентирующихся на закупку основного комплекта оборудования.

Таким образом, задача создания регулируемого привода, который найдет действительно широкое применение, видится в том, что возможность регулирования должна быть неотъемлемой характеристикой привода, а цена такой дополнительной возможности должна быть компенсирована другими дополнительными преимуществами, которых нет в приводах с частотным регулированием асинхронных двигателей.

Повышение ресурса приводов

Ресурс привода зависит от многих факторов: конструкции, применяе-



мых материалов и технологии изготовления. Основной причиной выхода из строя двигателя является пробой и снижение изоляции. Поэтому усилия разработчиков двигателей направлены на повышение электрической и механической прочности, используемой в обмотке и в выводных концах. Однако полностью использовать прочностные характеристики изоляции в двигателе не удастся из-за перегрева.

Серьезным недостатком асинхронных приводов является необходимость обеспечения требуемой скорости охлаждения двигателя. Эти ограничения требуют при освоении скважин после их ремонта останавливать двигатель через каждый час работы на два часа для остывания, что затягивает процесс освоения.

Высокий перегрев двигателя не позволяет успешно эксплуатировать скважины с малой и нестабильной подачей.

Особенно опасна для двигателя его работа при течи в трубах или при работе без подачи, когда в результате отсутствия потока жидкости относительно корпуса двигателя он перегревается и происходит пробой изоляции.

Задача: для повышения ресурса погружных двигателей необходимо максимально возможно снизить величину его перегрева в процессе работы.

Другой причиной пробоя изоляции является нарушение в работе токовой защиты. В некоторых случаях, когда асинхронный ПЭД недогружен, разница в токе холостого хода и рабочего тока столь незначительна, что не удается правильно настроить защиту по минимальному току. В результате в различных нештатных режимах (влияние газа, слом вала и др.) установка не отключается и через некоторое время происходит пробой изоляции.

Задача: для повышения эффективности токовой защиты необходим привод с малой величиной тока холостого хода.

Необходимо решить проблему увеличения ресурса асинхронного при-

вода УЭЦН при их эксплуатации в периодическом режиме. Пуск асинхронного электродвигателя сопровождается существенным ростом токовых и динамических нагрузок на двигатель, кабель, сочленения узлов установки. Это приводит к преждевременному выходу из строя электрооборудования и даже аварийным «полетам» установки или ее узлов.

Пусковые токи отрицательно влияют на состояние электрических сетей, особенно при одновременном запуске установок. Применение специальных станций управления с плавным пуском электродвигателя для скважин с УЭЦН, работающих в периодическом режиме эксплуатации, всех проблем этого режима эксплуатации не решает. Остается проблема эффективного охлаждения двигателя, так как основной объем откачиваемой жидкости попадает на прием насоса не из пласта, а с уровня, установленного режимом эксплуатации. Эти недостатки снижают ресурс оборудования УЭЦН, поэтому периодический способ эксплуатации скважин установками УЭЦН применять не рекомендуется. Однако периодический режим эксплуатации скважин со слабым притоком иногда бывает единственно возможным способом получения продукции из скважин.

Задача: для повышения эффективности эксплуатации скважин в периодическом режиме необходим привод с регулируемым плавным пуском и допускающим длительную работу двигателя без его интенсивного охлаждения потоком откачиваемой из пласта жидкости.

Повышение энергетических характеристик приводов

Широкое внедрение энергосберегающих технологий в развитых странах и определенные экономические и политические решения приводят к периодическим и резким изменениям мировых цен на нефть и нефтепродукты. В этих условиях актуализируется проблема снижения издержек при добыче.

Одним из направлений снижения этих издержек является создание и внедрение в отрасли оборудования с высокими показателями энергетической эффективности.

Следует отметить, что до последнего времени вопросы снижения энергопотребления не были приоритетными как при создании нового оборудования, так и при его эксплуатации во многих отраслях экономики страны. Нефтяная отрасль не является исключением. Однако в нынешних условиях требуются кардинальные изменения в вопросе подхода к задаче снижения энергопотребления. Тарифы на электроэнергию непрерывно растут. Согласно прогнозам к 2015 г. они возрастут в 3,7 раза по сравнению с действующими, поэтому доля затрат на электроэнергию в общих затратах на производство нефти и нефтепродуктов будет непрерывно возрастать.

Федеральной целевой программой «Энергосбережение России», утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 24 января 1998г. № 80, в целом по экономике страны планируется на ближайшую перспективу снизить энергопотребление на 3-4%. В нефтяной отрасли эта задача должна решаться как за счет многочисленных локальных задач по каждому технологическому процессу и оборудованию, так и путем создания и широкого использования оборудования нового поколения со значительно более высокими технологическими и энергетическими параметрами.

Объектами совершенствования в первую очередь должно стать оборудование, потребляющее значительное количество электроэнергии. К такому оборудованию относится оборудование нефтедобычи: установки погружных центробежных насосов, установки штанговых насосов и др. оборудование с годовым потреблением электроэнергии в 15-20 млрд кВт-часов. Поэтому снижение энергопотребления этих видов оборудования является существенным фактором уменьшения затрат на добычу нефти.

В структуре прямых издержек на добычу нефти УЭЦН затраты на электроэнергию составляют 20-30%, поэтому повышение энергетических характеристик электропогружных установок является важным резервом снижения себестоимости добычи.

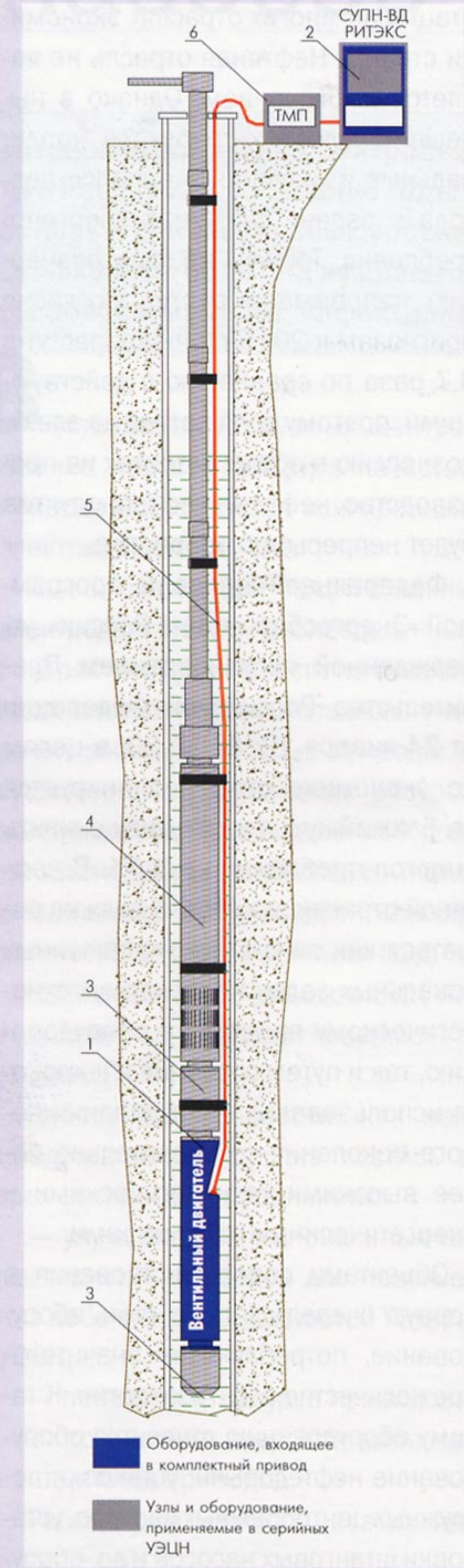


Рис. 1. Установка погружного центробежного (винтового) насоса с приводом на основе вентильных электродвигателей:
1 — двигатель, 2 — станция управления, 3 — гидрозащита, 4 — насос ЭЦН, 5 — кабельная линия, 6 — трансформатор.

Рассматривая задачу создания более эффективного привода для погружных насосов, следует отметить и необходимость создания привода погружных винтовых насосов на частоту вращения 250-500 об./мин., которая позволит существенно повысить ресурс УЭВН и довести его до уровня ресурса винтовых насосов с поверхностным приводом, работающих, в основном, в этом диапазоне частоты вращения.

Однако создание погружных асинхронных двигателей с частотой вращения менее 1000 об./мин. практически невозможно, да и двигатель с частотой вращения 1000 об./мин. удалось создать мощностью только 16 кВт, так как большая мощность требует перехода на секционные двигатели, что увеличивает их стоимость и снижает надежность. Поэтому основным двигателем для привода винтовых насосов остается 4-х полюсный двигатель с частотой вращения 1500 об./мин. В последние годы за рубежом и в России ведутся работы по снижению частоты вращения двигателя за счет установки редуктора.

Технически эта задача нашла решение, однако, на наш взгляд, остаются проблемы цены, ресурса, возможности их обслуживания и ремонта.

Для повышения эффективности работы погружных винтовых электронасосов необходимо создать двигатель с регулируемой частотой вращения в диапазоне 250-1000 об./мин.

Поставленные задачи наиболее успешно решены созданием установок погружных центробежных насосов с приводами на основе вентильных электродвигателей (рис. 1).

Вентильные электродвигатели не являются изобретением последних лет, тем не менее их широкое использование стало возможным только на базе последних достижений в области микроэлектроники, силовой электроники и программных средств управления.

В нефтедобывающем оборудовании приводы на основе вентильного электродвигателя до последнего времени не использовались.

В результате совместной работы специалистов ОАО «ЛУКОЙЛ» и ОАО «РИТЭК» создан и поставлен на производство новый тип привода погружных центробежных насосов, который обладает лучшими по сравнению с серийными асинхронными электродвигателями функциональ-

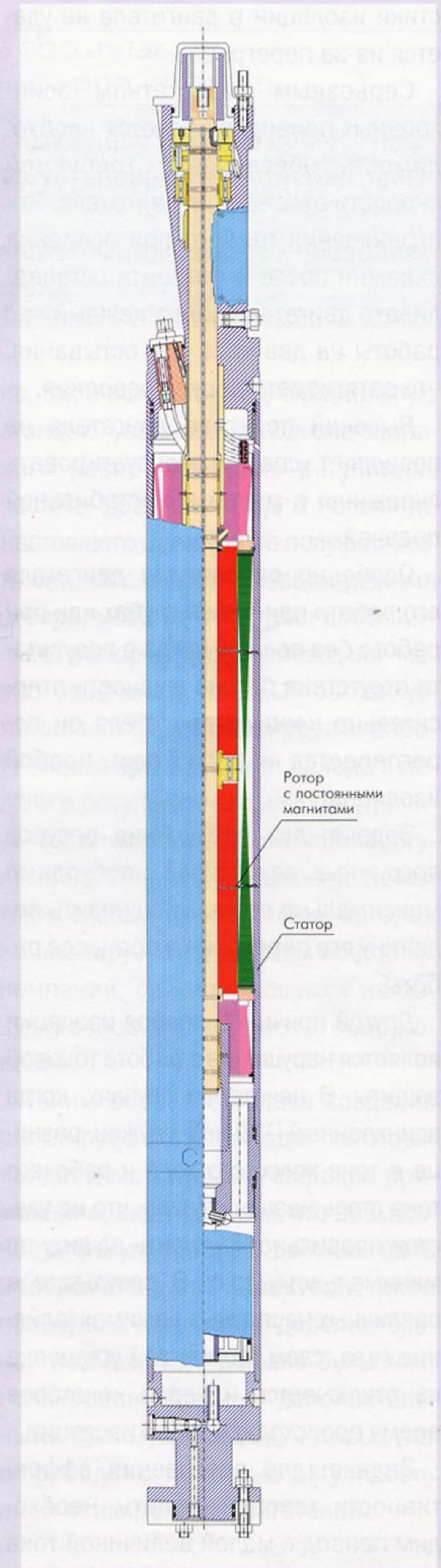


Рис. 2. Вентильный погружной электродвигатель типа ВД

ными, ресурсными и энергетическими характеристиками.

Привод состоит из погружного электродвигателя типа ВД (рис. 2) и специальной станции управления (см. рис. 1).

Привод работает в комплекте с насосами, кабельными линиями и трансформаторами, используемыми в составе УЭЦН с асинхронными погружными электродвигателями типа ПЭД.

Диапазон регулирования частоты вращения электродвигателя — 500÷3500 об./мин.

Технические характеристики КП ЭЦН-ВД представлены в табл. 1.

Погружные электродвигатели типа ВД

Вентильный погружной электродвигатель типа ВД представляет собой синхронную электрическую машину, у которой ротор 1 выполнен на постоянных магнитах, а питание обмотки статора 2 осуществляется по определенному алгоритму от находящейся на поверхности специальной станции управления типа «Рит-экс».

Электродвигатель ВД имеет высокую степень унификации с электродвигателем типа ПЭД. В нем применены материалы, комплектующие

Табл. 1. **Технические характеристики КП ЭЦН-ВД**

Тип привода	Мощность номинальная, кВт	Напряжение номинальное, В	Ток номинальный, А	КПД, %	cos φ
КП ЭЦН-ВД16-117В5	16	800	14,5	89,7	0,95
01КП ЭЦН-ВД24-117В5	24	1200	14,5	89,7	0,95
08КП ЭЦН-ВД24-117В5	24	850	20	89,7	0,95
02КП ЭЦН-ВД32-117В5	32	1150	20	89,7	0,95
09КП ЭЦН-ВД32-117В5	32	900	25,5	90	0,95
03КП ЭЦН-ВД40-117В5	40	1400	20,5	89,7	0,95
10КП ЭЦН-ВД40-117В5	40	1150	25,5	89,2	0,95
04КП ЭЦН-ВД48-117В5	48	1350	25,5	90,2	0,95
11КП ЭЦН-ВД48-117В5	48	1050	33,5	90,2	0,95
05КП ЭЦН-ВД56-117В5	56	1600	25,5	90,2	0,95
12КП ЭЦН-ВД56-117В5	56	1200	34	90,2	0,95
06КП ЭЦН-ВД64-117В5	64	1800	25,5	90,2	0,95
13КП ЭЦН-ВД64-117В5	64	1400	34	90,2	0,95

изделия и отработанные технические решения, которые используются в асинхронных электродвигателях ПЭД.

Технические характеристики вентильных электродвигателей типа ВД при частоте вращения 3000 об./мин. представлены в табл. 2.

В табл. 3 указаны преимущества приводов на основе вентильных электродвигателей и их параметры, за счет которых обеспечиваются эти преимущества.

Возможности созданного вентильного привода могут быть реализованы:

- при эксплуатации УЭЦН, подобранных с учетом характеристик насоса при номинальной частоте вращения 2910 об./мин.;
- при эксплуатации УЭЦН с выбранной частотой вращения.

Номинальная частота вращения насоса 2910 об./мин. в серийной УЭЦН определена частотой вращения работающего в составе установки погружного асинхронного 2-х полюсного электродвигателя типа ПЭД. Однако эта частота вращения не для всех условий эксплуатации является оптимальной. Для некоторых скважин более близкие к опти-

Табл. 2. **Характеристики вентильных электродвигателей типа ВД-117 при частоте вращения 3000 об./мин.**

Тип электродвигателя	Мощность номинальная, кВт	Напряжение номинальное, В	Ток, А		КПД	COSφ не менее	Скорость охлаждающей жидкости, не менее, м/сек.	Диаметр корпуса, мм	Длина, мм	Масса, кг
			Номинальный, I _н	Холостого хода, I _{хх}						
ВД16-117В5	16	800	14,5		91,5	0,99	0,02	117	1717	117
01ВД24-117В5	24	1200	14,5		91,5	0,99	0,02	117	2097	146
08ВД24-117В5	24	850	20		91,5	0,99	0,02	117	2097	146
02ВД32-117В5	32	1150	20		91,5	0,99	0,04	117	2477	169
09ВД32-117В5	32	900	25,5		92	0,99	0,04	117	2477	169
03ВД40-117В5	40	1400	20,5	не более	91,5	0,99	0,04	117	2857	196
10ВД40-117В5	40	1150	25,5	0,1 I _н	91	0,99	0,04	117	2857	196
04ВД48-117В5	48	1350	25,5		92	0,99	0,04	117	3237	227
11ВД48-117В5	48	1050	33,5		92	0,99	0,04	117	3237	227
05ВД56-117В5	56	1600	25,5		92	0,99	0,06	117	3617	249
12ВД56-117В5	56	1200	34		92	0,99	0,06	117	3617	249
06ВД64-117В5	64	1800	25,5		92	0,99	0,06	117	3997	278
13ВД64-117В5	64	1400	34		92	0,99	0,06	117	3997	278

Табл. 3. **Преимущества приводов на основе вентильных электродвигателей**

Преимущества приводов ЭЦН на основе вентильных электродвигателей КП ЭЦН ВД	Параметры вентильных электродвигателей							
	Возможность регулирования частоты вращения	Высокий кпд	Высокий cos φ	Незначительное изменение кпд и cos φ при снижении нагрузки	Низкие значения токов			Низкий перегрев обмоток статора
					Рабочих	Пусковых	Холостого хода	
Функциональные характеристики								
Регулирование подачи насоса								
Возможность работы в скважинах с малым отбором и нестабильной подачей								
Возможность плавного запуска УЭЦН								
Возможность освоения скважин после ремонта без остановки УЭЦН для охлаждения двигателя								
Возможность эксплуатации скважин в периодическом режиме с высоким ресурсом электрооборудования								
Ресурсные характеристики								
Повышение ресурса электродвигателя и гидрозащиты								
Повышение ресурса кабеля								
Повышение ресурса насоса								
Снижение энергопотребления								

мальным значениям рабочих показателей подачи, напора, мощности, наработки на отказ, КПД и др. можно достичь при работе установки с частотой вращения, отличающейся от номинальной частоты 2910 об./мин.

Регулируемый вентильный привод позволяет также изначально выбрать частоту вращения насоса, при которой будет обеспечена более эффективная работа ЭЦН в скважинах с низким пластовым давлением, высоким газовым фактором, высокой вязкостью продукции, большим содержанием механических примесей и других осложняющих факторах. Новая частота вращения может снизить вероятность возникновения резонансных явлений в установке, являющихся одной из причин самопроизвольного их расчленения в процессе работы.

Если в используемой на предприятии программе или методике не предусмотрен алгоритм подбора ЭЦН, работающего при новой частоте вращения, то подбор насоса производится с использованием параметров, рассчитанных для насосов, работающих с частотой вращения

2910 об./мин., с последующим пересчетом на новую частоту вращения.

При пересчете используются известные зависимости подачи, напора, мощности и ожидаемого ресурса от частоты вращения насоса:

$$Q_n = Q_{29} \cdot n / 2910 \tag{1},$$
$$H_n = H_{29} \cdot (n / 2910)^2 \tag{2},$$
$$N_n = N_{29} \cdot (n / 2910)^3 \tag{3},$$

где:
 Q_n, H_n, N_n — подача, напор, мощность при частоте вращения n ;
 Q_{29}, H_{29}, N_{29} — подача, напор, мощность при номинальной частоте вращения 2910 об./мин.

При выборе новой частоты вращения насоса следует руководствоваться условием:

$$n_{\min} < n < n_{\max} \tag{4},$$

где:
 $n_{\min}$ — частота вращения меньше номинальной, нижнее значение которой ограничивается конструктивной и экономической целесо-

образностью использования в конкретной скважине насосов с увеличенным количеством ступеней;

$n_{\max}$ — частота вращения больше номинальной, верхнее значение которой ограничивается допустимой величиной снижения ресурса деталей проточной части насоса, работающего при повышенных частотах вращения.

Ориентировочное значение ожидаемого ресурса деталей проточной части насоса при новой частоте вращения n :

$$R_n = R_{29} \cdot (2910 / n)^3 \tag{5},$$

где R_n — ожидаемый ресурс при частоте вращения n ;
 R_{29} — среднее значение ресурса деталей проточной части насоса в данной скважине при номинальной частоте вращения 2910 об./мин.

Вентильный привод позволяет эксплуатировать УЭЦН в широком диапазоне частот вращения. Для практического использования принят:

Рабочий диапазон частот вращения насосов:



2500 < n < 3500 об./мин. (6).
Рекомендуемый диапазон частот вращения насосов:

2700 < n < 3100 об./мин. (7).

Вентильные электродвигатели для комплектации насосов, которые планируется эксплуатировать при различных частотах вращения n, выбираются из условия обеспечения требуемой мощности, ресурса, КПД и модификации по номинальному напряжению.

Требования по мощности должны удовлетворять условию:

$$N_{дп} > N_{нп}, \quad (8)$$

где $N_{нп}$ — мощность, потребляемая насосом, при частоте вращения n;

$N_{дп}$ — мощность, развиваемая ВД, при частоте вращения n.

$$N_{дп} = N_{30} \times n / 3000, \quad (9),$$

где N_{30} — номинальная мощность ВД, кВт;

3000 — номинальная частота вращения ВД, об./мин.

Требования по ресурсу обеспечиваются при выполнении следующих условий:

- эксплуатация ВД при любой частоте вращения из рабочего диапазона 2500-3500 об./мин. допускается при рабочем токе, не превышающем номинальный ток вентильного электродвигателя I_n ;
- с увеличением частоты вращения более номинальной величины — 3000 об./мин., мощность, развиваемая электродвигателем, превышает номинальную. При этом ухудшается тепловой режим работы ВД, что может привести к снижению его ресурса. Поэтому загрузка ВД при работе с частотой вращения более 3000 об./мин. не должна превышать его номинальной мощности;
- комплектацию насосов вентильными электродвигателями рекомендуется производить по мощности максимального ресурса, которая принимается на 20% ниже его мощности при частоте вращения n.

При $n < 3000$ об./мин.

$$N_{Rn} = 0,8 N_{дп} \quad (10),$$

где N_{Rn} — мощность максимального ресурса при частоте вращения n, кВт.

При $n > 3000$ об./мин.

$$N_{R30} = 0,8 N_{30} \quad (11),$$

где N_{R30} — мощность максимального ресурса при частоте вращения $n = 3000$ об./мин., кВт.

Требования по обеспечению высокого КПД: для обеспечения работы ВД с высоким КПД не рекомендуется загружать двигатель ниже 30% его номинальной мощности.

Таким образом для обеспечения требуемой мощности, КПД и ресурса выбранный вентильный электродвигатель должен удовлетворять условию:

$$0,3 N_{дп} < N_{нп} < 0,8 N_{дп} \quad (12).$$

При выборе модификации вентильного электродвигателя по номинальному напряжению должны быть учтены следующие факторы:

1. Двигатели с большими значениями номинальных напряжений имеют меньшие значения номинальных токов.

При уменьшении тока:

- сокращаются потери мощности в кабельной линии;
- возможно использование кабеля меньших сечений;
- повышается надежность электрических разъемов кабельной муфты.

При увеличении напряжения снижается надежность электриче-

ской системы «кабель — ВД» в условиях падения в процессе эксплуатации диэлектрической прочности изоляции кабеля, обмоточных проводов и заполняющего полость ВД масла.

2. При оценке значения фактора величины рабочего тока необходимо учитывать различия в условиях работы систем «кабель — ПЭД» и «кабель — ВД» при пусковых режимах.

Пуск ВД происходит при токах, плавно возрастающих от нуля до рабочих, в отличие от пуска асинхронных ПЭД, при котором пусковые токи кратно превышают токи рабочей нагрузки. Поэтому пусковые режимы ВД не приводят к снижению ресурса вентильного электродвигателя и кабеля.

3. Абсолютная величина потерь мощности в кабеле зависит от длины кабельной линии и сечения жил кабеля, поэтому доля этих потерь в общих энергозатратах при эксплуатации УЭЦН, спускаемых на большую глубину, возрастает.

4. Наличие на предприятии трансформатора с требуемой ступенью напряжения, с учетом падения напряжения в кабельной линии.

Максимальная частота вращения насоса ограничивается мощностью работающего в составе УЭЦН вентильного электродвигателя:

$$N_{нпmax} = N_{дпmax}, \quad (13),$$

где $N_{нпmax}$ — мощность, потребляе-

Табл. 4. Показатели работы скважин, эксплуатируемых УЭЦН с приводами на основе вентильных электродвигателей

Предприятие	Кол-во скважин, ед.	Максимальная наработка сут.	
		остановившихся на ремонт	работающих
ООО «ЛУКОЙЛ», всего	73	545	800
ООО «ЛУКОЙЛ — Западная Сибирь»	44	545	779
ООО «ЛУКОЙЛ — Коми»	14	480	637
ЗАО «ЛУКОЙЛ — Пермь»	6	117	800
ООО «ЛУКОЙЛ — Нижневолжскнефть»	9	-	632
ОАО «РИТЭК»	15	377	383
ИТОГО	88	-	-

Табл. 5. **Технические характеристики вентильного электродвигателя типа ВВД 22-117 для привода погружных винтовых насосов**

Показатель	Частота вращения, об./мин.		
	1000	500	250
Мощность, кВт	22	11	5,5
Момент, Нм		210	
Отношение перегрузочного момента к номинальному		2	
Напряжение, В	630	335	150
Ток, А	22	21	20,5
Коэффициент полезного действия, %	91	86	80
Коэффициент мощности, COSφ		0,99	
Минимальная скорость охлаждающей жидкости, м/сек		0,01	
Перегрев обмотки статора при скорости охлаждения 0,01 м/сек, °С	19	16	15
Максимальная температура перекачиваемой среды, °С		100	
Габариты:			
— диаметр корпуса, мм		117	
— длина, мм		3997	
Масса, кг		278	

мая насосом, при максимальной частоте вращения n_{max} ;
 $N_{дпmax}$ — мощность, развиваемая ВД, при максимальной частоте вращения n_{max} .

$$N_{нпmax} = N_{29}(n_{max} / 2910)^3. \tag{14}.$$

Рекомендуется максимально допустимую частоту вращения ВД рассчитывать из условия ограничения мощности вентильного электродвигателя мощностью максимального ресурса при номинальной частоте вращения 3000 об./мин.

$$N_{дпmax} = N_{R30} = 0,8N_{30} \tag{15}.$$

С учетом (13), (14) и (15) максимальная частота вращения насоса n_{Rmax} из условия загрузки ВД по мощности максимального ресурса:

$$n_{Rmax} = 2700(N_{30} / N_{29})^{1/3} \tag{16}.$$

Максимальные значения параметров насосов, при частоте вращения n_{Rmax} :

$$Q_{Rmax} = Q_{29}(n_{Rmax} / 2910) \tag{17},$$

$$H_{Rmax} = H_{29}(n_{Rmax} / 2910)^2 \tag{18}.$$

С учетом ограничений $n_{max} < 3500$ об./мин.

$$Q_{max} = 1,2Q_{29} \tag{19}$$

$$H_{max} = 1,45H_{29} \tag{20}$$

Производство и поставка приводов УЭЦН на основе вентильных электродвигателей были организованы в конце 2001 года.

По состоянию на 25.05.04 количество скважин, эксплуатируемых УЭЦН с приводами на основе вентильных электродвигателей, составляет 88 единиц.

Максимальная текущая наработка по нефтедобывающим предприятиям ОАО «ЛУКОЙЛ» представлена в табл. 4.

Большинство установок эксплуатируются в диапазоне частот вращения 2200-3100 об./мин., что позволяет поддерживать оптимальный режим эксплуатации системы «насос-пласт». Регулирование подачи за счет частоты вращения взамен штучирования и высокий КПД вентильного электропривода позволяют снизить энергопотребление при эксплуатации УЭЦН.

Снижение энергопотребления на одну скважину при замене в УЭЦН асинхронного электродвигателя ПЭД32 на вентильный составляет 39000 кВт-час/год.

При тарифе за 1 кВт-час 0,90 руб. снижение энергозатрат на одну скважину составляет 35,1 тыс. руб.

На базе вентильного электродвигателя для привода погружных цент-

робежных насосов создан низкооборотный высокомоментный вентильный электродвигатель типа ВВД для привода винтовых насосов. Его характеристики представлены в табл. 5.

Технические характеристики вентильного электродвигателя типа ВВД 22-117 для привода погружных винтовых насосов приведены в табл. 5.

Двигатель комплектуется станцией управления «РИТЭКС-01» (рис. 3). При работе с частотой вращения до 500 об./мин. напряжение на двигатель подается напрямую от станции управления. При частотах вращения более 500 об./мин. — через трансформатор ТМП63/856.



Рис. 3. Станция управления «РИТЭКС-01»

Две установки УЭВН с приводами на основе вентильного электродвигателя находятся в ООО «ЛУКОЙЛ-Коми» в подконтрольной эксплуатации в скважинах, в которых серийные установки с асинхронным 4- полюсным погружным электродвигателем из-за большой вязкости скважиной продукции практически не работает. Средние наработки оборудования в этих скважинах составляли 11 суток и 32 суток. УЭВН с вентильными электродвигателями ВВД22-117 работает в регулируемом диапазоне частот вращения 350-500 об./мин. Текущая наработка на 25.05.04 г. составляет 170 суток.

Появление на рынке нефтяного оборудования низкооборотных приводов УЭВН значительно расширит географию использования погружных винтовых насосов.