

Результаты опытно-промышленных испытаний энергоэффективных УЭЦН ЗАО "Нововет-Пермь"

Авторы: М.С. Попов (главный технолог – начальник Производственного отдела ОАО "ТНК-Нягань), Е.Г. Ветохин (заместитель начальника Производственного отдела ОАО "Самотлорнефтегаз"), М.Н. Каверин¹ (начальник Отдела механизированной добычи), В.П. Тарасов² (главный специалист Отдела механизированной добычи)
^{1,2}Филиал "ТНК-ВР Менеджмент", "Центр экспертной поддержки и технического развития БН Рид", г. Тюмень)

Одной из основных проблем, препятствующих внедрению инновационных технологий, направленных на снижение энергопотребления, является их низкая технико-экономическая эффективность. В силу относительно невысоких тарифов на электроэнергию и высокой стоимости высокотехнологичного энергосберегающего оборудования сроки окупаемости проектов не всегда соответствуют критериям ТНК-ВР. Иными словами, инвестиции в проекты замены оборудования на более энергоэффективное имеют меньший приоритет по сравнению с другими технологическими проектами. Тем не менее, в Компании постоянно ведутся опытно-промышленные испытания новых энергосберегающих технологий, производится технико-экономическая оценка их применения в текущей ситуации и на перспективу с учетом продолжающейся тенденции увеличения стоимости электроэнергии. В данной статье сделана технико-экономическая оценка применения новейшей инновационной разработки одного из лучших российских предприятий ЗАО "Нововет-Пермь" – энергосберегающей установки электроцентробежного насоса в комплекте с вентильным электродвигателем, выполнен анализ результатов опытно-промышленных испытаний этой установки на восьми месторождениях пяти целевых дочерних обществ ОАО "ТНК-ВР", а также анализ изменения удельного энергопотребления во время эксплуатации подконтрольного оборудования.

Описание проблемы и предмета испытаний

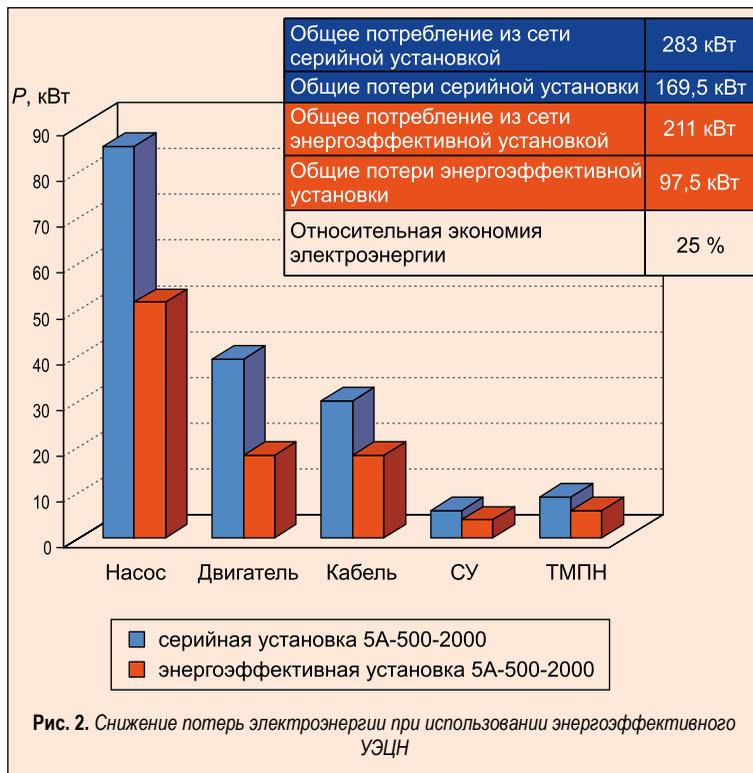
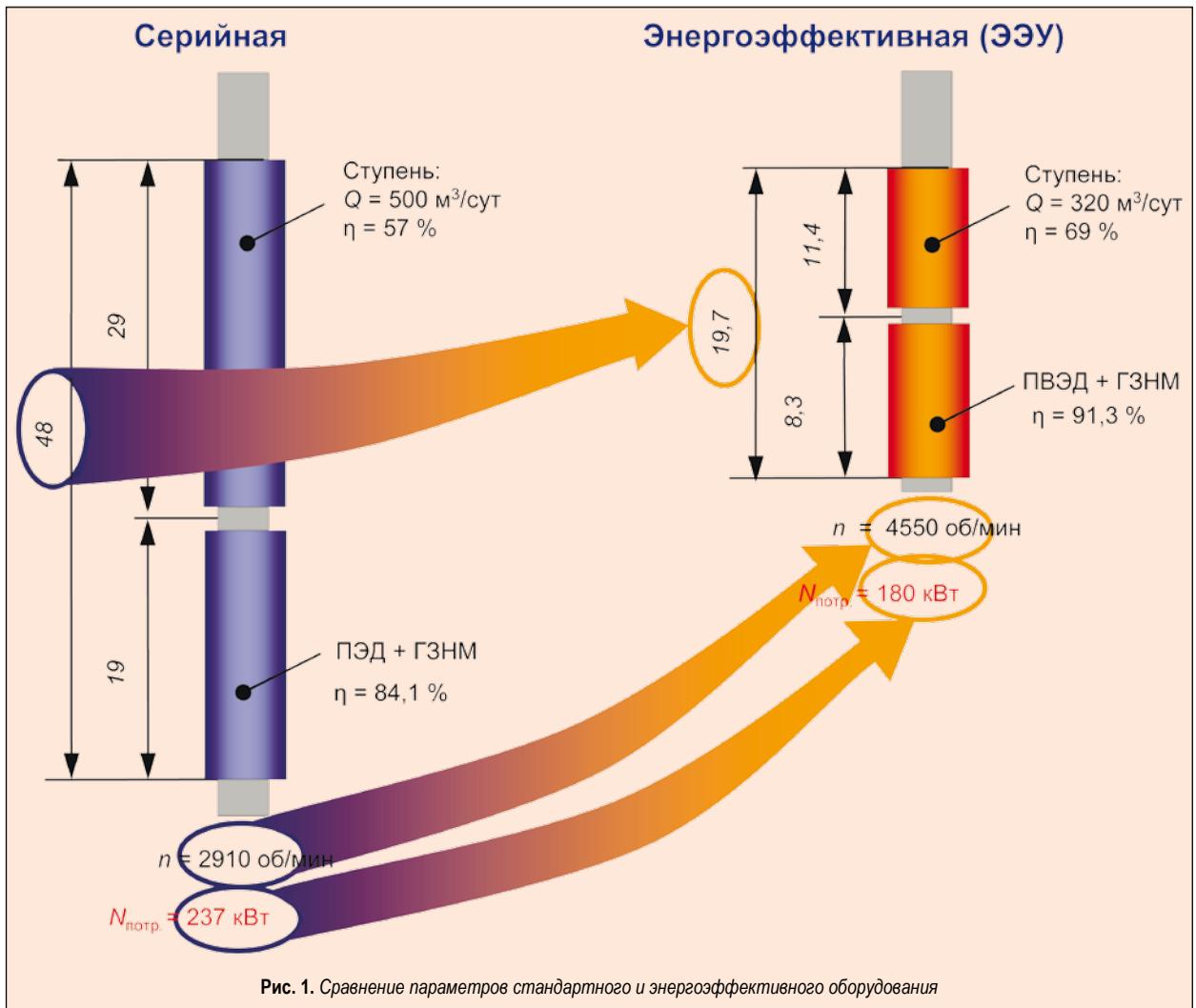
В структуре потерь электроэнергии в УЭЦН на долю насоса приходится 50...70 % потребления электроэнергии. В силу этого повышение коэффициента полезного действия (КПД) насоса является техническим мероприятием, способным принести наибольший эффект. В техническом плане, увеличение КПД может быть достигнуто двумя способами: оптимальным проектированием рабочей точки насоса на этапе подбора оборудования к скважине и конструированием ступеней рабочих колес УЭЦН с более высоким КПД. Применение насосов с более высоким КПД является наиболее перспективным мероприятием, хотя пока не получило широкого распространения из-за высокой стоимости оборудования. Лидером в области разработки и изготовления рабочих колес с высоким КПД, т. е. энергоэффективных ЭЦН, в России является ЗАО "Нововет-Пермь". Предприятию удалось создать насосы, превосходящие по КПД не только все российские, но и многие зарубежные аналоги. Этой же компанией была разработана линейка двигателей с постоянными магнитами (вентильными), позволяющих получать дополнительное снижение энергопотребления на уровне 8...10 %. Энергоэффективная УЭЦН, включающая в себя ЭЦН с повышенным КПД и вентильный двигатель, способна снизить абсолютное энергопотребление на 25...30 %.

Особенностью энергоэффективной УЭЦН ЗАО "Нововет-Пермь" является значительное снижение числа рабочих ступеней в насосе по сравнению со стандартным. Необходимый напор при этом достигается путем увеличения числа оборотов вентильного двигателя. Вентильный двигатель имеет более высокий по сравнению с асинхронным КПД и низкий рабочий ток. Снижение рабочего тока в свою очередь позволяет снизить тепловые потери в кабельной линии, а также потери в станции управления и трансформаторе.

На рис. 1 наглядно показано отличие серийного и энергоэффективного оборудования УЭЦН.

На рис. 2 показана расчетная диаграмма снижения потерь электроэнергии при использовании энергоэффективной УЭЦН. Расчетное снижение энергопотребления составляет 25 %.

Анализ ключевых характеристик стандартных и энергоэффективных насосов показал существенное преимущество последних (табл. 1). Так, например, потребляемая мощность насосов одинакового напора энергоэффективных УЭЦН "Нововет" в среднем на 29,1 % ниже, чем у стандартных насосов остальных производителей. Также и КПД энергоэффективной ступени в среднем на 21 % выше стандартной ступени. Сопоставимым по значению КПД могут быть только ступени насосов зарубежного производства.



Кроме очевидного эффекта по данным КПД и потребляемой мощности можно также отметить преимущество энергоэффективного оборудования и в габаритных размерах при одинаковых напорах насосов (см. рис. 3), что не может положительно не сказаться на наработке на отказ. В то же время эксплуатация насосов "Новомет" предполагается с частотой вращения вала, практически в 2 раза большей, чем при использовании стандартного оборудования. Следовательно, можно сделать вывод, что для скважин с осложненными условиями эксплуатации в виде абразивного износа рабочих органов целесообразность применения данного оборудования неочевидна.

Философия, лежащая в основе данной технологии, предполагает достижение необходимого дебита за счет применения различного числа одинаковых по конструкции ступеней и различных рабочих частот вращения при эксплуатации. Тем самым уменьшается количество различных типоразмеров насосов, что в теории дол-



Сравнительные данные КПД и потребляемой мощности рабочей ступенью ЭЦН разных производителей

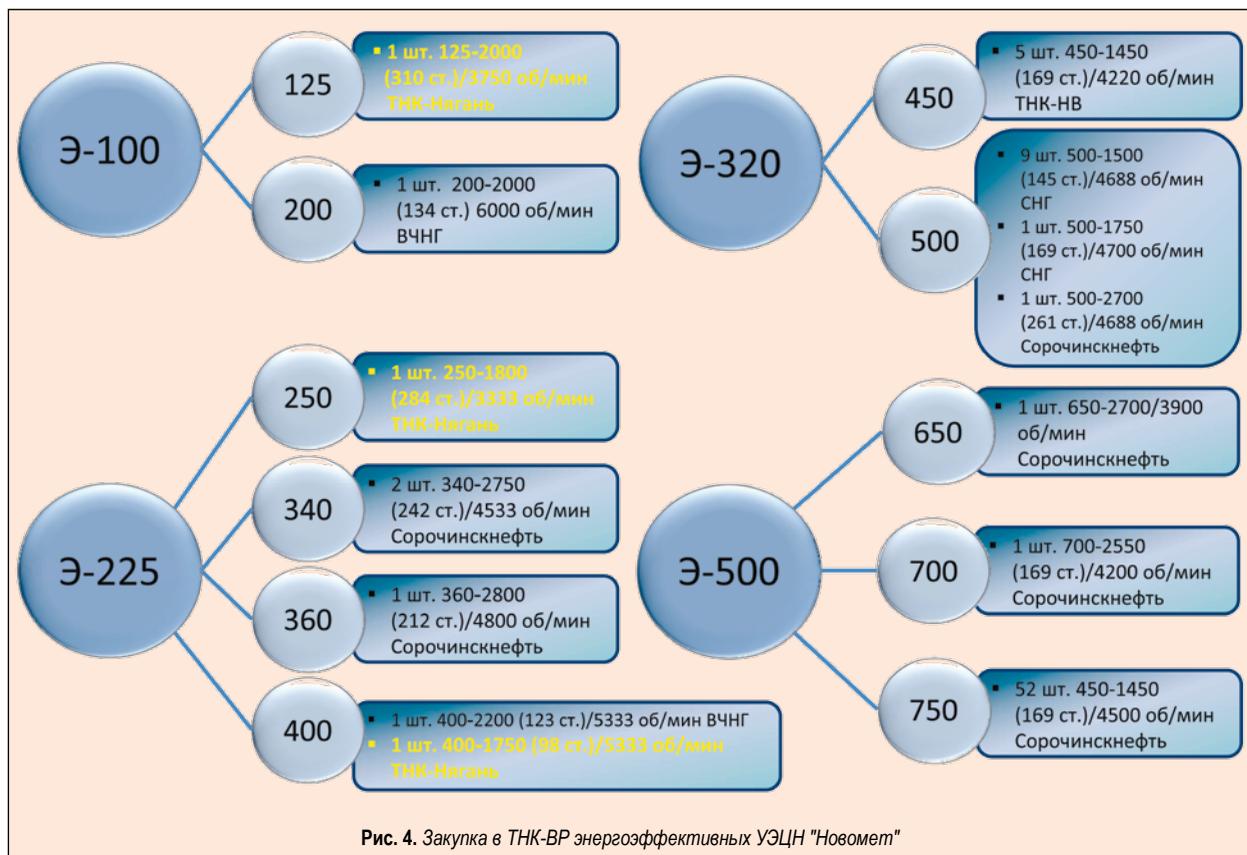
ЭЦН	Производитель	КПД, %	Потребляемая мощность одной ступени N, кВт
Энергоэффективные			
ЭЦНА-5А-100	"Новомет"	70,0	0,066
ЭЦНА-5А-200		71,0	0,186
ЭЦНА-5А-400		69,0	0,324
10ЭЦНД-5А-100	"Борец"	53,0	0,15
1ЭЦНДП-5А-200		65,0	0,225
10ЭЦНД-5А-400		57,0	0,36
ЛЭЦНД-5А-100	"Лемаз"	53,99	0,143
ЛЭЦНД-5А-200		55,43	0,254
ЛЭЦН-5А-400		57,67	0,370
ЭЦНД-5-200	"Алмаз"	48,5	0,198
ЭЦНД-5А-400		56,0	0,365
ЭЦНАКИ-5А-200	"Алнас"	50,0	0,227
ЭЦНАКИ-5А-400		56,0	0,349

жно положительно сказаться на стоимости ремонта данного оборудования.

Так, из данных рис. 4 видно, что в 2011 г. ЦДО планировали эксплуатировать 11 различных типоразмеров энергоэффективных насосов – от ЭЦН-125 до ЭЦН-750. В то же время конструктивно завод-изготовитель предлагает использовать рабочие органы всего 4 типоразмеров, комбинируя их количество и рабочую частоту вращения. В этой связи может наблюдаться отличная от стандартной ситуация, когда с увеличением типоразмера насоса цена его снижается. Например, УВНН5А-400-1750 для "ТНК-Нягань" был в 1,7 раза дешевле, чем поставленный в это же ЦДО УВНН5А-250-1800 и в 2,4 раза дешевле, чем УВНН5А-125-2000. Причем в случае с ЭЦН-400 и ЭЦН-250, по сути это был один и тот же насос, про-

сто для первого использовалось меньшее число ступеней, но рассчитанная рабочая частота вращения была выше на 2000 мин⁻¹.

Рассмотрим более подробно разницу в характеристике энергоэффективного насоса "Новомет" и стандартного насоса на примере первого из поставленных в Компанию комплектов оборудования, пред-



ЭЦН5А-225Э ХАРАКТЕРИСТИКИ СТУПЕНЕЙ

ЭЦН5А-225Э (1415 баррель/сут)

50 Гц/2010 об/мин

406 серия/наружный диаметр 103 мм

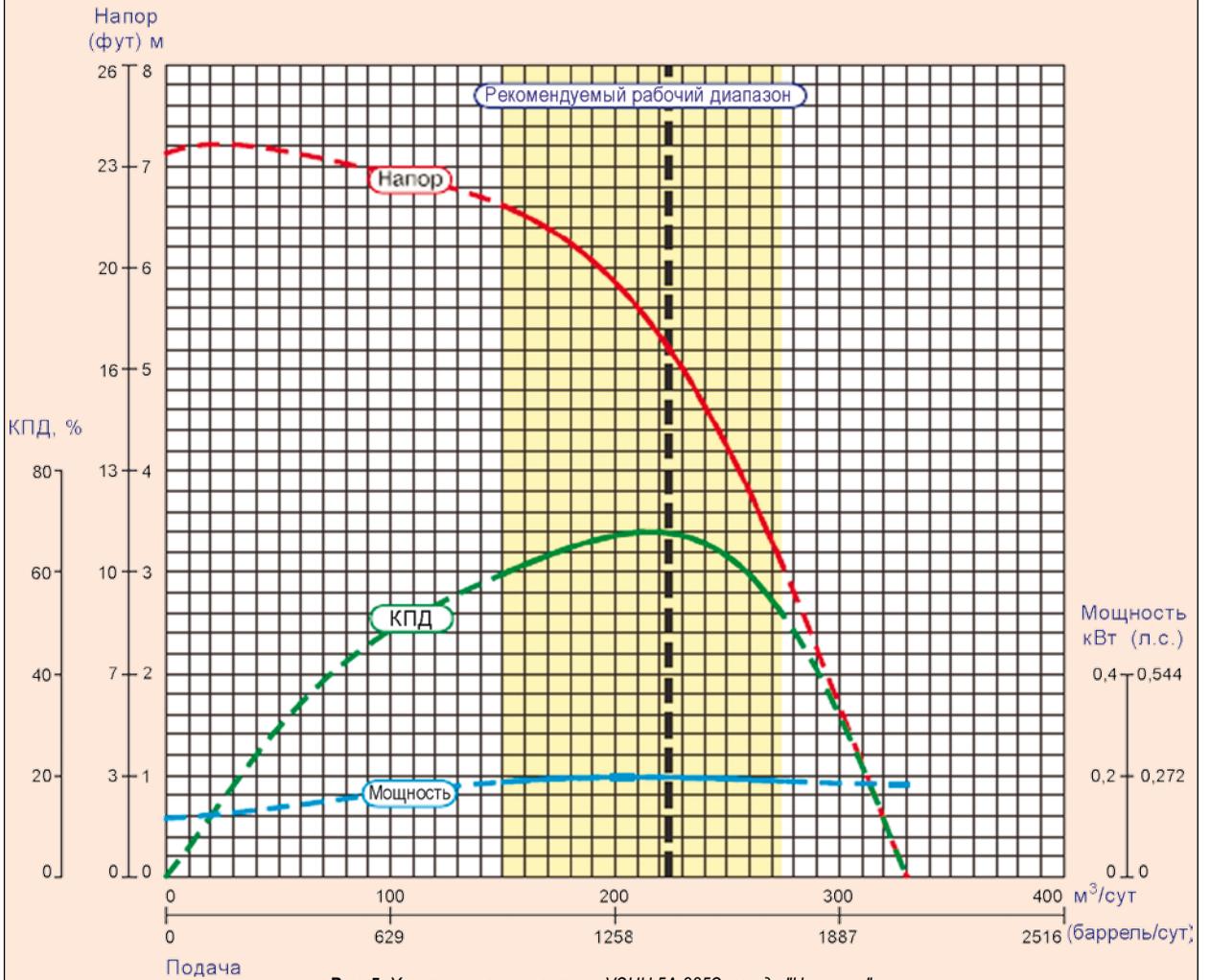


Рис. 5. Характеристика ступени УЭЦН 5А-225Э завода "Новомет"

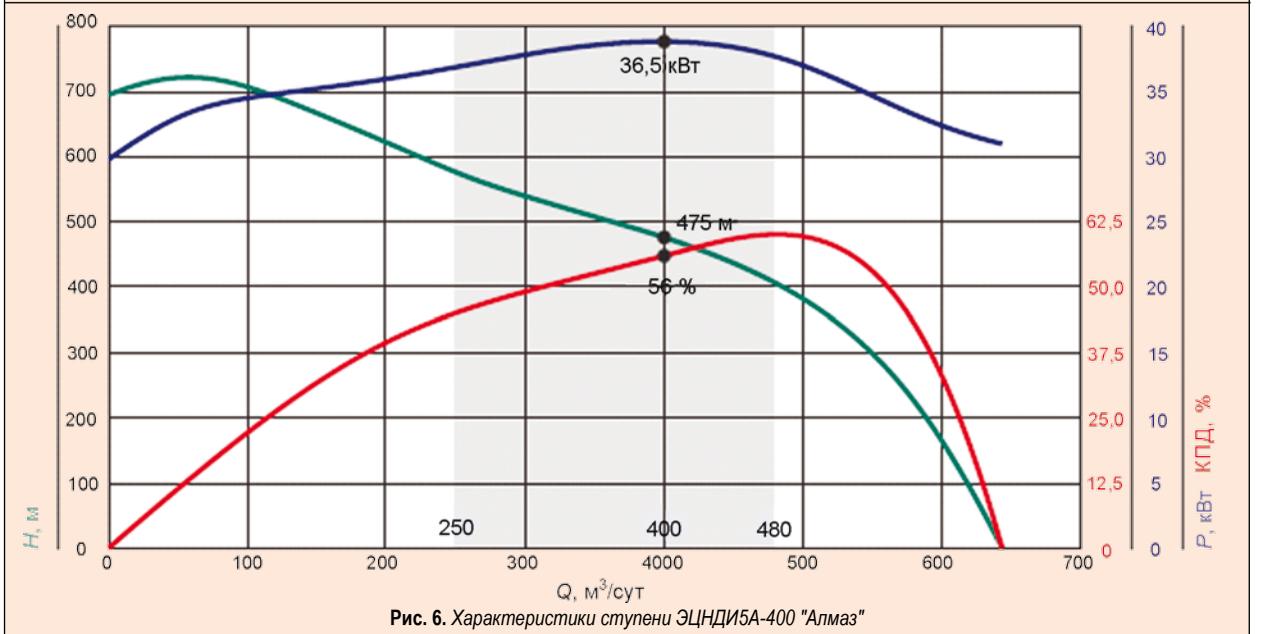


Рис. 6. Характеристики ступени ЭЦНДИ5А-400 "Алмаз"

ставляющего собой насос ЭЦН5А-225Э-98 ступеней + модуль входной МВ5А-20.13 + вентильный двигатель ПВЭДН70П-117-3000-6,0 + кабель $3 \times 16 \text{ мм}^2$ + НКТ(60 + 73) мм + СУ "Электон 05Н-400", $H_{\text{сп}} = 1994 \text{ м}$. Характеристика данного насоса представлена на рис. 5. За счет работы на повышенной частоте вращения 5400 мин^{-1} ЗАО "Новомет" позиционировало эту установку как ЭЦН-400-1750.

10 февраля 2011 г. энергоэффективный насос был смонтирован в скважину 1955, куст 537 Талинско-го месторождения. До ремонта в данной скважине эксплуатировался УЭЦНДИ5А-400-1650 (356 ступеней, производство завода "Алмаз") + ПЭДЯ140-117-М1В5 + кабель $3 \times 16 \text{ мм}^2$ + НКТ (60 + 73) мм + СУ "Электон-04", $H_{\text{сп}} = 2000 \text{ м}$. Характеристика данной установки представлена на рис. 6.

При сравнении характеристик старой и новой установок (табл. 2) видно, что КПД ступени ЭЦН-400 энергоэффективного насоса "Новомет" на 12 % выше, чем у стандартной ступени.

Таблица 2

Параметры рабочих ступеней применявшегося и экспериментального насосов, спущенных в скв. 1955, куст 537

Показатели	Тип насоса	
	ЭЦН5А-400Э "Новомет"	ЭЦНДИ5А-400 "Алмаз"
Напор ступени, м	15,30	4,75
Потребляемая мощность ступени, кВт	0,995	0,365
Потребляемая мощность всей установки, кВт	97,51	129,94
КПД, %	68,00	56,00
Число ступеней, шт.	98,00	356,00
Число оборотов вала, мин^{-1}	4993	2917,00

Подробного пояснения требует ситуация по напору и потребляемой мощности насосом. Из табл. 2 видно, что напор ступени насоса "Новомет" в 3,2 раза выше, чем обычной, но при этом и потребляемая мощность одной ступенью в 2,7 раза больше. Следовательно, достичь желаемой экономии энергопотребления при условии сохранения прежнего напора, возможно, только выполнив дизайн насоса так, чтобы общее количество ступеней в энергоэффективной установке по сравнению со стандартным оборудованием было существенно ниже, а требуемый напор достигался, во-первых, лучшей характеристикой самой ступени, а во-вторых, – большей рабочей частотой вращения вала. В нашем случае ЭЦН-400Э-1750 "Новомет" имеет всего лишь 98 ступеней против 356 ЭЦН-400-1650 "Алмаз", но при этом эксплуатируется с частотой вращения вала 4993 мин^{-1} против стандартных 3000 мин^{-1} .

Проведение промысловых испытаний

С целью оценки эффективности энергосберегающей УЭЦН ЗАО "Новомет-Пермь" по сравнению со стандартной УЭЦН в 2011 г. было запланировано проведение опытно-промышленных испытаний в пяти ЦДО Компании: "ТНК-Нягань", "СНГ", "ВЧНГ", "Сорочинскнефть", "ТНК-Нижневартовск". Согласно программе испытаний, необходимо было оценить следующие преимущества оборудования:

- фактическое снижение абсолютного потребления электроэнергии;
- фактическое снижение удельного потребления электроэнергии;
- достижение окупаемости проекта по критериям компании "ТНК-ВР".

На 1 апреля 2012 г. оборудование испытано во всех пяти дочерних обществах Компании.

В соответствии с программой ОПИ, замер энергопотребления до и после применения энергоэффективного оборудования производился при помощи сертифицированных счетчиков, параллельно энергопотребление определялось расчетным путем, исходя из данных, полученных с контроллера станции управления.

В качестве примера приведем материалы, полученные в ходе ОПИ на скв. 1955, куст 537 ОАО "ТНК-Нягань".

25 января 2011 г. на скважине был выполнен замер энергопотребления при работе УЭЦН-400-1650 "Алмаз" при помощи счетчика "Меркурий-230ART-03СN", параллельно были сняты показания энергопотребления со станции управления "Электон-04".

Согласно составленному акту, суточное энергопотребление скважины составляет 4296 кВт·ч (активная мощность – 179 кВт). С учетом суточного дебита жидкости в $330 \text{ м}^3/\text{сут}$ удельное энергопотребление на 1 м^3 добываемой жидкости составило $13,02 \text{ кВт}/\text{м}^3$. При этом следует отметить, что показания эталонного счетчика "Меркурий" и данные с контроллера станции управления совпали. Тем не менее дополнительно был выполнен расчет потребляемой мощности на программе "Subpump", который теоретически подтвердил практические замеры.

Энергоэффективная установка "Новомет" была укомплектована станцией управления "Электон-05Н-400", позволяющей контролировать энергопотребление спущенного оборудования. Согласно данным с контроллера станции управления, суточная потребляемая мощность составила 3064,8 кВт·ч (активная мощность 127,7 кВт) (табл. 3).

Контрольный замер энергопотребления, выполненный также при помощи эталонного счетчика "Меркурий", показал, что суточное энергопотребление УЭЦН5А-400Э "Новомет" равно 3192,2 кВт·ч. Удельное энергопотребление на 1 м^3 добываемой жидкости с учетом возросшего дебита составило $7,66 \text{ кВт}/\text{м}^3$.

В табл. 4 показаны результаты применения энергоэффективных установок различных типоразмеров в скважинах пяти ЦДО Компании "ТНК-ВР". Сниже-

Данные потребляемой мощности со станции управления УЭЦН-400Э-1750

Дата, время	F, Гц	Ia, А	Ib, А	Ic, А	U _{выл.} , В	P _{акт.} , кВт	P, кВт	cos F	Загрузка, %	U _{выл.} АВ, В
27/02/11, 5:49	165,8	30,1	30,7	30,3	393	127,8	181,5	0,7	60	403
27/02/11, 9:49	165,6	30,5	30,5	30,2	393	127,8	181,4	0,7	60	398
27/02/11, 11:49	166,4	30,5	31,0	30,6	393	127,7	182,9	0,69	60	399
27/02/11, 13:49	165,4	30,2	30,3	30,0	393	127,8	181,5	0,7	60	397
27/02/11, 15:49	166,5	30,4	30,6	30,4	393	127,8	183,0	0,69	60	392
27/02/11, 17:49	165,6	30,6	30,7	30,2	393	128,0	181,7	0,7	60	400
27/02/11, 19:49	166,8	28,5	31,9	30,8	393	128,0	182,2	0,7	57	399
27/02/11, 21:49	166,0	30,6	30,9	30,5	393	128,0	182,1	0,7	61	398
27/02/11, 23:49	165,6	30,4	30,7	30,4	393	128,0	181,6	0,7	61	398
28/02/11, 1:49	166,6	30,1	30,9	30,6	393	127,5	182,3	0,69	59	401
28/02/11, 3:49	165,9	30,5	30,7	30,3	393	127,6	182,1	0,7	60	400
28/02/11, 5:49	165,7	30,4	30,4	30,2	393	127,4	181,7	0,7	60	400
28/02/11, 7:49	166,2	30,1	30,4	30,2	393	127,7	182,7	0,69	59	397
28/02/11, 9:49	167,0	30,8	30,9	30,3	393	127,7	181,9	0,7	60	395
28/02/11, 13:21	166,5	30,4	30,7	30,0	393	127,4	182,4	0,69	59	394

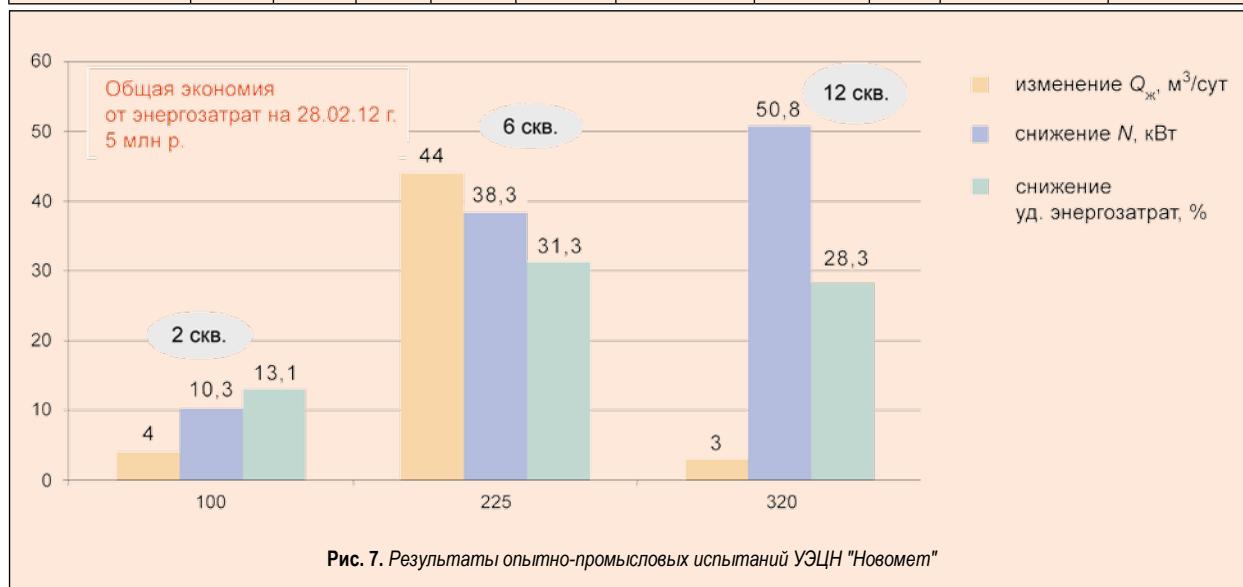


Рис. 7. Результаты опытно-промышленных испытаний УЭЦН "Новомет"

ние удельного энергопотребления составило 25,6 %! Максимальный результат – снижение на 119 кВт активной мощности и на 45 % удельного энергопотребления получен в ОАО СНГ на скв. 12669.

Особо следует рассмотреть результат, полученный в ОАО "Верхнечонскнефтегаз". По скв. 987 был получен крайне низкий эффект от применения энергоэффективного оборудования (мощность снижена на 5 кВт, удельное энергопотребление – на 3,4 %). Основной причиной этого явился неоптимальный подбор оборудования. Энергоэффективный насос ЭЦН5А-100Э-559, работающий на повышенной частоте (4500 мин⁻¹), имеет оптимальный дебит при максимальном КПД 155 м³/сут, в то время как по факту получен дебит 112 м³/сут. Добиться работы с максимальным КПД не представляется возможным. Так, снижение частоты для смещения оптимальной точки к точке работы насоса в левой части рабочей характеристики неиз-

бежно приведет к снижению дебита жидкости, что опять же не позволит увеличить КПД ЭЦН. Согласно заводским характеристикам, ЭЦН5А-100Э-559 при дебите 112 м³/сут имеет КПД 54 % (максимальный КПД 63 %). До ремонта в данной скважине насос Э-125-1600 работал с КПД в рабочей точке 52 %.

Отсюда следует вывод, что требования к подбору высокоэффективного оборудования аналогичны требованиям к подбору стандартных насосов и даже наличие вентильного двигателя с гибкой характеристикой, позволяющей эксплуатировать его в широком диапазоне частот, не позволяет получать эффект снижения энергопотребления при насосе, несоответствующем продуктивности скважины.

На рис. 7 представлены результаты внедрения энергоэффективных насосов "Новомет" в ТНК-ВР. При эксплуатации двух УЭЦН5А-100Э получена экономия электроэнергии 10,3 кВт на скважину, шести

Результаты ОПИ энергоэффективных насосов "Новомет" в ТНК-ВР в 2011–2012 гг.

ЦДО	Куст	Скважина	Оборудование до ремонта				Оборудование после ремонта						Измененные параметров				
			Тип насоса/число ступеней	Тип ПЭД	Тип ПЭД	Q _ж	Потребляемая мощность, кВт	Удельное энергопотребление на 1 м ³ добычаемой жидкости, кВт·ч/(м ³ ·сут)	Дата запуска	Тип насоса	Тип ПЭД	Q _ж	Потребляемая мощность, кВт	Удельное энергопотребление на 1 м ³ добычаемой жидкости, кВт·ч/(м ³ ·сут)	Отработавшее время, сут	Изменение активной мощности, кВт	Изменение удельного энергопотребления, %
ТНК-Нязель	537	1955	5А-400-1650	140-117	330	179,0	13,0	10.02.2011 г.	5А-225Э-507/98ст. (1750)	70-117	390	142,3	8,8	376	-36,7	-32,7	-62,5
	277	1101	5А-250-1800	110-117	252	102,9	9,8	25.07.2011 г.	5А-225Э-1460/284ст. (250-1800)	80-117	260	93,9	8,7	35	-9,0	-11,5	-10
ВЧНГ	110	5536	5-125-2000	63-117	115	70,8	14,8	23.07.2011 г.	5А-100-1280/310ст.(125Э-2000)	50-117	115	54,7	11,4	247	-16,1	-22,7	-9,5
	8	1168	УВНН5А-159-1200	70-117	223	72,0	7,7	10.06.2011 г.	5А-225Э-637	200-117	254	51,0	4,8	290	-21,0	-37,8	-21,6
СРН	8	987	УВНН5А-125-1600	63-117	120	51,0	10,2	16.06.2011 г.	5А-100Э-559	50П-117	112	46,0	9,9	284	-5,0	-3,4	-11
	1	596	5А-400-2450	250-117	360	272,1	18,2	22.09.2011 г.	5А-225Э-1097 (5А-360-2800)	125П-117	351	214,1	14,6	186	-58,0	-19,6	-23,3
	2	705	5А-400-2100	250-117	246	262,3	24,9	09.10.2011 г.	5А-225Э-1250 (5А-320Э-2550)	125П-117	344	209,6	15,2	2	-52,7	-39,1	-7
	2	705	5А-400-2100	250-117	246	262,3	24,9	18.10.2011 г.	5А-225Э-1250 (5А-320Э-2550)	125П-117	344	193,7	13,2	160	-68,5	-47,1	-64,5
СНГ	4	167	5А-125-2800	125-117	194	132,8	16,8	16.02.2012 г.	5А-500-1645(5А-650-2700)	190-117	507	289,0	13,7	39	156,2	-18,5	-61
	23	2021	5А-500-1500	200-117	535	192,8	8,6	15.10.2011 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145 ст.	90-117	535	129,8	5,8	163	-63,0	-32,7	-24,6
	1384	12669	5А-500-1500	180-117	464	237,4	12,3	03.11.2011 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145 ст.	Отказ на ВНР							
	1384	12669	5А-500-1500	180-117	644	237,4	8,8	06.11.2011 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145 ст.	90-117	583	118,0	4,9	141	-119,4	-45,1	-32,8
	1720	9102	5А-500-1200	140-117	432	117,4	6,5	25.11.2011 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145ст.	90-117	428	91,8	5,1	44	-25,6	-21,1	-2,6
	14Е	309Е	5А-320-1350	140-117	400	125,5	7,5	12.12.2011 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145ст.	90-117	410	108	6,3	105	-17,5	-15,7	-5,1
	1472	31137	5-30-1600	32-103	66,0	27,1	9,6	31.12.2011 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145ст.	90-117	Остановлена через 10 сут после запуска из-за обводненности 99 %						
	4505	40082Е	5А-500-1700	250-117	578	201,5	8,4	04.01.2012 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145ст.	90-117	425	98,3	5,6	82	-103,2	-33,7	-9,8
	1703	35731	5А-500-1500	180-117	492	179,9	8,8	07.01.2012 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145ст.	90-117	523	144,9	6,6	79	-35,0	-24,3	-8,8
	402Б	6103Б	DV3500 (400-1600)	187,5	429	105,1	5,8	17.02.2012 г.	ЭЦНСА-320Э-665/145ст.	90-117	506	121,5	5,8	38	16,4	-0,6	-1
	1918	39215	D4500 EZ-290 ст.	140-117	550	138,8	6,1	15.03.2012 г.	ЭЦНСА-320Э-738/161ст.	110-117	539	103,2	4,6	11	-35,6	-24,1	-9
	ТНК-НВ	1579	5А-400-1300	125-117	447	122,8	6,6	22.12.2011 г.	5А-320-740/67ст. (450-1450, 4090 минг-)	90-117	450	87,5	4,7	95	-35,3	-29,2	-8,2
	3 ГЕ	254	5А-400-1600	140-117	420	149,0	8,5	25.01.2012 г.	5А-320-740/67ст. (450-1450, 4090 минг-)	90-117	450	111,0	5,9	61	-38,0	-30,5	-7,1
	1578	50809	5А-400-1200	125-117	410	98,2	5,8	15.01.2012 г.	5А-320-740/67ст. (450-1450, 4090 минг-)	90-117	460	85,8	4,5	71	-12,5	-22,2	-4,2

ЭЦН5А-225Э – 38,3 кВт на скважину, и двенадцати
ЭЦН5А-320Э – 50,8 кВт на скважину.

Сравнение результатов работы энергоэффективного оборудования

Параллельно с внедрением энергоэффективных насосов "Новомет" в Компании проводятся испытания УЭЦН производства Schlumberger серии EZLine. В связи с этим особый интерес вызывает анализ работы оборудования в скв. 39215 Самотлорского месторождения. Дело в том, что 8 сентября 2011 г. в эту скважину был спущен энергоэффективный УЭЦН D4500EZLine, который отработал до отказа 185 сут. Во время его работы было получено снижение энергопотребления на 34,6 кВт и удельного энергопотребления на 18,1 % в сравнении со стандартным УЭЦН-500-1500 (Лемаз). После отказа УЭЦН D4500EZLine в эту скважину был спущен энергоэффективный УЭЦН 5-500-1750 "Новомет". Энергопотребление снизилось на 35,6 кВт, удельное энергопотребление на 24,2 % уже в сравнении с D4500EZLine. Дебит жидкости практически остался неизменным.

В этой связи интересен результат, полученный по скв. 61036 Самотлорского месторождения. В ней в течение 593 сут эксплуатировался УЭЦН DV3500 (Schlumberger), при этом средний дебит жидкости составлял 429 м³/сут, удельное энергопотребление – 5,8 кВт/(м³·сут). 17 февраля в данную скважину был смонтирован УЭЦН-500-1500 (Новомет). В результате дебит скважины вырос до 506 м³/сут с одновременным ростом абсолютной мощности на 16 кВт, удельное же энергопотребление снизилось всего на 0,6 %. Таким образом, можно сделать вывод, что установка "Новомет" совсем незначительно превысила по эффективности УЭЦН DV3500, и экономически привлекательной ее эксплуатация будет только в том случае, если наработка отечественного оборудования будет существенно выше наработки зарубежного.

Анализ причин отказов энергоэффективного оборудования

В течение 2011 г. и I квартала 2012 г. было получено восемь отказов энергоэффективного оборудования производства завода "Новомет" и две скважины были остановлены для проведения ГТМ.

Семь установок из десяти были подвергнуты комиссионному разбору с целью установления причин отказа и оценки состояния рабочих органов. Три УЭЦН пока ожидают комиссионного разбора.

ОАО "ТНК-Нягань"

Скважина 1101 Талинского месторождения

Отказ ЭЦН5А-225Э-1450(250-1800) с наработкой 35 сут.

Причина остановки – R-0.

Согласно акту комиссионного разбора, отказавшим узлом явилась кабельная линия. Причина отказа – конструктивная недоработка кабеля КПпТФБК-150 сечением 3×16 мм² производства ООО "Камский кабель", выраженная в деформации изоляции трех жил, произошедшей после эксплуатации в скважине. В то же время по результатам приемосдаточных испытаний верхняя и средняя секции насоса признаны негодными ввиду повышенной потребляемой мощности. Также при разборе были выявлены следующие дефекты оборудования:

- сквозной промыв защитной гильзы (рис. 8, а), замковой части распорной втулки (рис. 8, б) и внутреннего диаметра корпуса газосепаратора – диспергатора;

- недостаточная фиксация в расточке статора ПВЭД подшипников ротора с одним стопорным кольцом.

Скважина 1955 Талинского месторождения

Отказ ЭЦН5А-225Э-507(400-1750) с наработкой 377 сут.



а



б

Рис. 8. Промыв: защитной гильзы (а) замковой части распорной втулки (б)



Рис. 9. Разрушение 3-го пакета ротора (а), рабочего колеса отказавшего УЭЦН (б)

Причина остановки – клин.

Согласно акту комиссионного разбора, отказ УЭЦН произошел по причине электропробоя обмотки статора вентильного двигателя ПЭВДН 70-117 из-за разрушения третьего пакета ротора (рис. 9, а). Состояние насоса удовлетворительное, вращение вала свободное, рабочие органы с незначительным износом (рис. 9, б). Следует отметить, что реальная причина остановки скважины – снижение изоляции. В этой связи необходимо особо отметить, что слабым звеном системы явился вентильный двигатель.

ОАО "Сорочинскнефть"

Скважина 705 Боголюбовского месторождения

Отказ ЭЦН5А-225Э-1250(320-2550) с наработкой 5 сут.

Причина остановки – ток холостого хода.

Согласно акту комиссионного разбора, причиной отказа явился слом вала входного модуля УЭЦН в области шлицевого соединения выше верхнего подшипника (рис. 10). Слом хрупкий, на поверхности слома раковина.

Вал был отдан в лабораторию материаловедения ЗАО "Новомет-Пермь" для проверки на соответствие требованиям конструкторской документации.

Особо следует отметить, что эксплуатация насоса происходила на повышенной частоте – 4200 мин⁻¹.

ОАО "СНГ"

Скважина 12669

Отказ ЭЦН5А-320Э-665(500-1500) с наработкой 2 сут.

Причина остановки – отсутствие подачи.

Согласно акту комиссионного разбора, причина отказа связана со срезом шлицев муфты со стороны нижнего основания верхней секции УЭЦН. Также было выявлено, что со стороны верхнего основания средней секции шлицы значительно деформированы, вы-

вернут и деформирован регулировочный болт из вала. Поперечные штифты развальцованы и свободно извлекаются из муфты (рис. 11).

Эксплуатация насоса происходила на частоте 4500 мин⁻¹.

Скважина 9102

Отказ ЭЦН5А-320Э-665(500-1500) с наработкой 44 сут.

Причина остановки – снижение подачи.

При разборе установки комиссия не выявила дефектов рабочих органов, которые могли бы привести к снижению подачи. В результате пока без ответа остался вопрос о герметичности НКТ и корректности работы алгоритма станции управления.

Скважина 2021

Отказ ЭЦН5А-320Э-665(500-1500) с наработкой 107 сут.

Причина остановки – снижение подачи.

Согласно акту комиссионного разбора, причиной отказа явился сквозной промыв корпуса обратного клапана величиной 6×7 мм (см. рис. 12, а). Также были отмечены износ лопаток и промыв гидрозамковой части направляющего аппарата.

Скважина 31337

Отказ ЭЦН5А-320Э-665(500-1500) с наработкой 10 сут.

Причина остановки – проведение на скважине ГТМ.

При разборе установки было определено, что все ее узлы находятся в рабочем состоянии, износ рабочих органов отсутствует. Принято решение выполнить текущий ремонт УЭЦН с сохранением гарантийных обязательств для дальнейшего проведения ОПИ.

Таким образом, можно сделать общий вывод – в двух случаях отказ происходил по причине поломки насосного оборудования, эксплуатирующегося на по-



Рис. 10. Слом вала входного модуля



а



б

Рис. 11. Разрушение шлицы муфты:

а – полностью отсутствуют шлицы со стороны нижнего основания верхней секции; б – значительная деформация со стороны верхнего основания средней секции шлицы



Рис. 12. Промыв сквозной в корпусе обратного клапана (а); обратного клапана изнутри (б)

вышенной частоте в первые 5 сут после запуска. Серьезных следов влияния осложняющих факторов (значительные отложения солей, механических примесей) не обнаружено. Выявлены недостатки конструкции газосепаратора (проявляется выше 3600 мин⁻¹) и вентильного погружного электродвигателя (проявляется на частотах вращения 4500...6000 мин⁻¹). Еще один отказ произошел по причине выхода из строя обратного клапана. По двум остановленным и извлеченным УЭЦН замечаний не выявлено, и еще три насосные установки на данный момент ожидают комисионного разбора.

Экономическая оценка эффективности применяемой технологии

Экономическая целесообразность применения данного оборудования базируется на трех составляющих:

- собственно, цена самого оборудования;
- надежность оборудования или, иными словами, период времени его безотказной работы;
- экономия средств за счет снижения энергопотребления.

И, если результаты проведенных ОПИ энергоэффективных УЭЦН, эксплуатировавшихся в разных условиях, показали их высокую эффективность, то по первым двум пунктам однозначных ответов нет. Так, цена комплекта, состоящего из энергоэффективного насоса, вентильного двигателя и специализированной станции управления для него, в период с конца 2011 г., когда только начинался Проект, и до сегодняшнего момента выросла практически в 2 раза. Также открытым остается вопрос и по надежности данного оборудования. Из 23 запущенных в работу УЭЦН отказали 8 (35 %). Максимальная наработка по данному типу оборудования составила 377 сут, причем по достижении этой наработки произошло разрушение ротора вентильного двигателя – отказ, практически невозможный для стандартного асинхронного ПЭД.

Таким образом, если оценка экономической целесообразности применения энергоэффективных УЭЦН

ЗАО "Новомет-Пермь", проводившаяся в начале 2011 г., показала, что значение индекса PI для варианта "энергоэффективный насос + вентильный двигатель" составляет 3,3 со сроком окупаемости в 1 год, то, на данный момент, с учетом изменившейся цены и существующей неопределенностью по надежности данного оборудования, Проект внедрения УВННЭ является экономически малопривлекательным.

Краткие итоги опытно-промышленных испытаний энергосберегающих УЭЦН ЗАО "Новомет-Пермь" в ТНК-ВР

1. Промысловые испытания показали, что оборудование является энергосберегающим и может быть отнесено к группе инновационных технологий. **Потребление активной мощности снизилось на 38,7 кВт·ч в среднем на скважину. При этом снижение удельного энергопотребления составило 25,6% !**

2. Заложенный в проектирование энергоэффективного оборудования принцип эксплуатации на повышенной частоте привел к тому, что из 4 конструктивно различных типоразмеров УВННЭ были созданы 11 различных по подаче и напору насосов для Заказчика.

3. В ходе расследования произошедших отказов выявлены конструктивные недостатки УВННЭ и приняты меры по их устранению, в частности:

- разработана новая конструкция газосепаратора ГН5А-500-22.13/253 с геликоидальным шнеком, что должно предотвратить повышенный износ гильзы, промыв ее и корпуса газосепаратора;

- изменена и внедрена в производство конструкция подшипников ротора ПВЭД с двумя стопорными кольцами из резины с контролируемым набуханием, что должно улучшить фиксацию подшипников ротора в расточке статора ПВЭД и позволит избежать проворачивания корпуса подшипника, износа его наружной поверхности и разрушения пакета ротора от механического контакта со статором. По результатам динамических расчетов ведется работа опытного образца двигателя с уменьшенной длиной пакетов рото-

ра, соответственно, с увеличенным количеством подшипников.

4. Повышение стоимости оборудования ЗАО "Новомет" в течение года спровоцировало корректировку планов Компании по его закупке.

Рассмотрение вопроса о масштабном внедрении энергоэффективных УЭЦН ЗАО "Новомет" возможно только после соблюдения следующих условий:

– получение подтверждения сохранения заявленных характеристик по энергопотреблению во время всего срока эксплуатации;

– получение средней наработки на отказ по данному виду оборудования, равной наработке на отказ УЭЦН в ТНК-ВР (на 01.04.2012 г. наработка на отказ по всем 23 запущенным УЭЦН составила 321 сут, максимальная наработка – 377 сут);

– PI внедрения УЭЦН "Новомет", рассчитанный с помощью модели экономического расчета по выбору УЭЦН по критерию энергоэффективности, должен быть выше PI внедрения оборудования других производителей с близкими характеристиками, испытание которых будет проводиться в 2012 г.

ТНК-ВР

**Филиал "ТНК-ВР Менеджмент",
"Центр экспертной поддержки и технического развития БН Рид", г. Тюмень**
625000 Россия, г. Тюмень, ул. Первомайская, 6.
Тел.: 8 (3452) 38-00-00, доб. 7055, 7032.
E-mail: MNKaverin@tnk-bp.com;
E-mail: VPTarasov@tnk-bp.com

ОАО "Самотлорнефтегаз"

628606 Россия, г. Нижневартовск, ул. Ленина, 4.
Тел.: 8 (3466) 62-20-41.
E-mail: EGVetokhin@tnk-bp.com

ОАО "ТНК-Нягань"

628183 Россия, Тюменская обл., ХМАО–Югра,
г. Нягань, ул. Сибирская, 10, корп. 1.
Тел.: 8 (3467) 29-22-22.
E-mail: MSPopov@tnk-bp.com
