



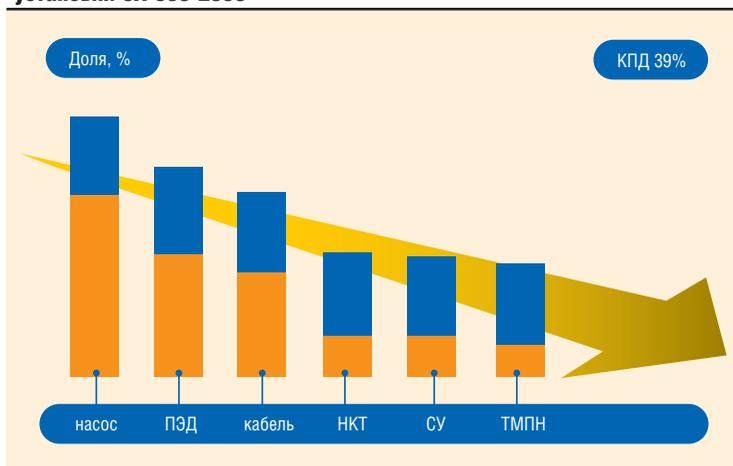
# КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИ ДОБЫЧЕ НЕФТИ УЭЦН

**МАРТЮШЕВ Данила Николаевич**

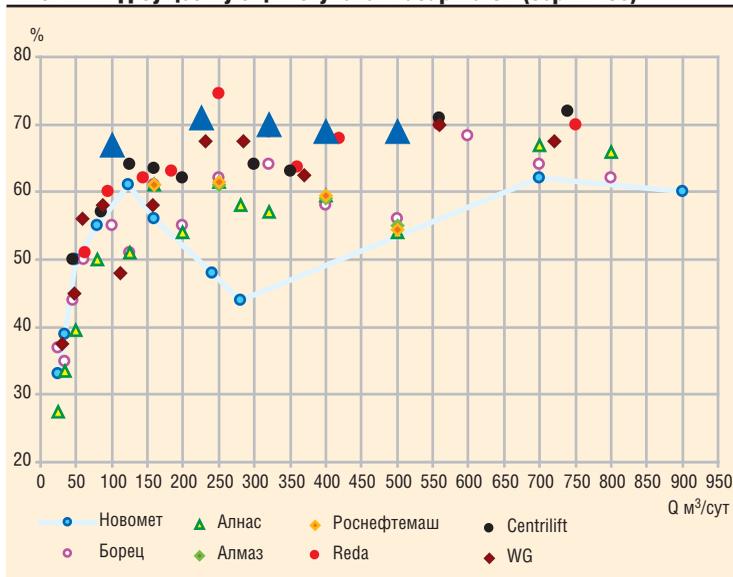
Заместитель главного конструктора ЗАО «Новомет-Пермь»

**К**омплексный подход «НОВОМЕТ» к энергосбережению при добыче нефти основан на трех составляющих: энергоэффективное оборудование; подбор оборудования по критерию максимального КПД при добыче; обеспечение работы насосной установки с максимальным КПД при эксплуатации средствами интеллектуальной СУ. Использование в УЭЦН энергоэффективных ступеней и вентильных двигателей позволяет снизить потери электроэнергии на 25%, а посредством применения комплексного подхода можно добиться снижения удельного энергопотребления на 40% и более.

**Рис. 1. Распределение потерь мощности по узлам УЭЦН на примере установки 5А-500-2000**



**Рис. 2. КПД существующих ступеней габарита 5А (серия 406)**



Рассмотрим потери электроэнергии при эксплуатации УЭЦН на примере установки 5А-500-2000. Из 100% энергии, потребляемой из сети, 29% — приходится на потери в насосе, 13% — в двигателе и 10% — в кабеле. Еще 9% энергии теряется в НКТ, СУ и трансформаторе (рис. 1). Таким образом, 61% электроэнергии, потребляемой при эксплуатации УЭЦН, тратится впустую — на обогрев, вибрацию, износ и т.д. Лишь 39% электроэнергии идет непосредственно на подъем жидкости. Очевидно, что для повышения КПД установки целиком в первую очередь необходимо увеличить КПД насоса и двигателя.

## ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Сегодня оборудование, представленное на рынке, характеризуется различным КПД (рис. 2). Средний КПД разработанных компанией «Новомет» ступеней насосов с подачей от 100 до 500 м³ находится на уровне 70%, что соответствует среднему мировому уровню КПД насосов.

Для повышения энергоэффективности насосных установок традиционно применяются ВД. Их КПД при прочих равных выше, чем у асинхронных двигателей. Сегодня «Новомет» выпускает широкую линейку ВД — от 81-го габарита мощностью 63 кВт, до 117-го габарита мощностью до 400 кВт (табл. 1). КПД ВД достигает 92%, а при использовании СУ «Новомет» за счет оптимизации управления работой ВД, может быть поднят до 94%.

При использовании в УЭЦН 5А-500-2000 энергоэффективных ступеней и ВД можно снизить потери электроэнергии с 169,5 до 97,5 кВт, то есть примерно на 25% (рис. 3). Данная цифра получена расчетным путем, а впоследствии подтверждена в ходе стендовых

Таблица 1

Номенклатура вентильных двигателей «НОВОМЕТ-Пермь»			
Наименование	Диапазон частот вращения, об/мин.	КПД, %	Мощность секции, кВт
ПВЭДН-81-6.0	500–6000	89	22–63
ПВЭДН-117-3.0	1000–3500	90–92	12–200
ПВЭДН-117-6.0	1000–6000	90–92	22–400
ПВЭДН-117-3.0*	2400–4200	92–94*	8–125
ПЭДН-117-3.0	2400–4200	83–85	8–125

\* — при использовании СУ «НОВОМЕТ»

Таблица 2

Энергоэффективные ступени производства «НОВОМЕТ-Пермь»									
Габарит	Подача, м³/сут / КПД, %								
	2А	30/48	50/61	80					
3	20	40/52	80/63	125/62					
4	20	125							
5	15	30/44 (43)	50/56 (51)	80	125/66 (55)	210/62 (50)	250	320/67	400
5А	80	100/67 (60)	160/66 (58)	225/71 (62)	320/72 (65)	400/69 (59)	500/69 (57)	900	
6	800	1000							
7А	300/67	500/70	650/69	750/76	1000/72				
8	750	1000	1600/76	2000/75	2500/74				

В скобках — максимальные КПД ступеней серийных насосов российских производителей

Серийно изготавливаемые ступени

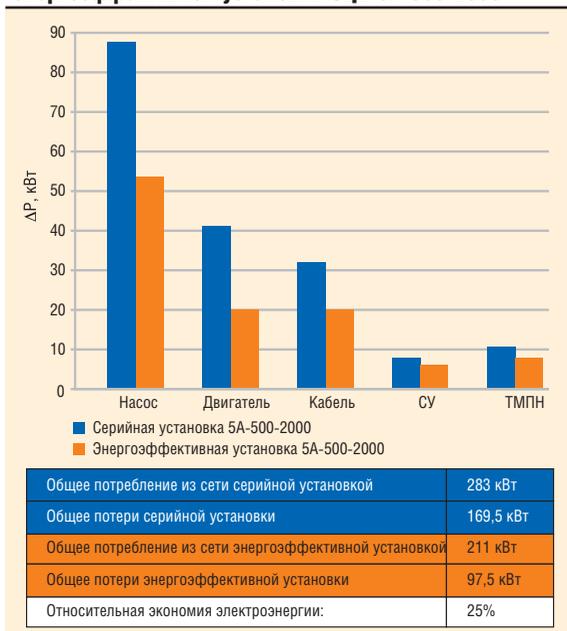
Ступени, планируемые к изготовлению в 2011 году

Ступени, готовые к испытанию в секции

испытаний в ОКБ БН «Коннас» (рис. 4). При замене в УЭЦН одного из элементов — насоса или двигателя — также достигается снижение энергетических потерь.

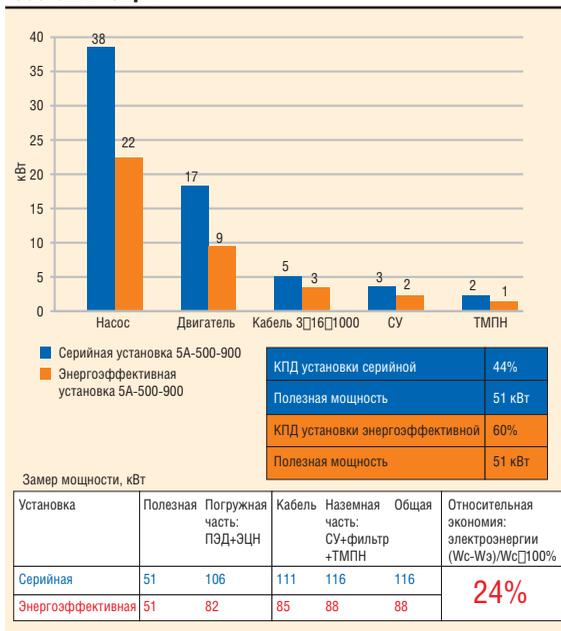
Так, уже сейчас широко применяется только вентильный двигатель, что дает свои результаты.

Рис. 3. Энергетические потери серийной и энергоэффективной установки ЗЦН 5А-500-2000

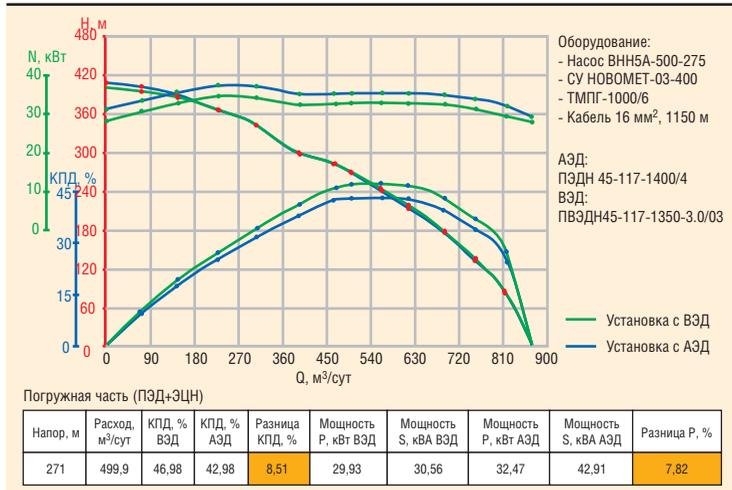


В настоящее время часто обсуждается вопрос о том, сколько можно сэкономить электроэнергии при замене асинхронного двигателя на вентильный. На этот счет можно встретить разные данные — от 5–10 до 20–30%. Чтобы их конкретизировать, мы провели

Рис. 4. Энергетические потери УЭЦН 5А-500-900 по составляющим



**Рис. 5. Оценка потребления электроэнергии погружной частью УЭЦН 5А-500-275 при использовании вентиляного и асинхронного электродвигателей**



испытания УЭЦН 5А-500-275 с асинхронным и вентиляльным двигателем. При оценке энергопотребления погружной части установки (ПЭД + ЭЦН) мы получили разницу в 7,8%, при оценке погружной части и назем-

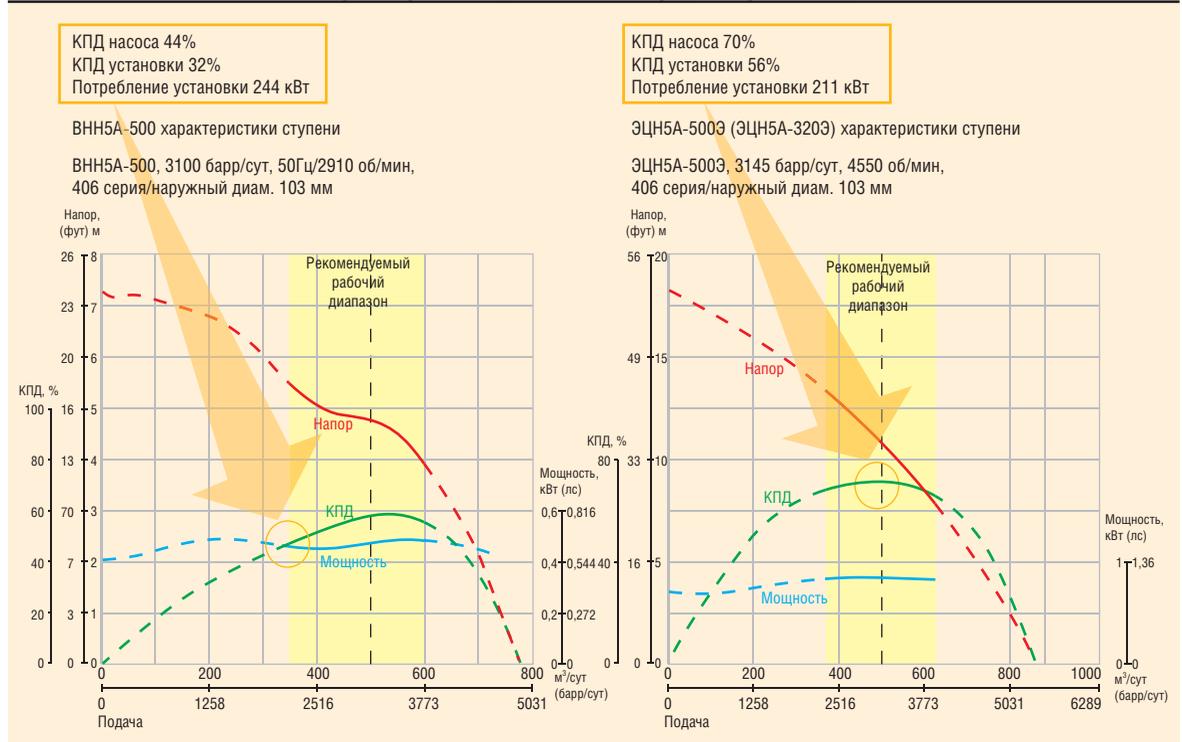
ной части (СУ + фильтр + ТМПН + кабель) — 11,3% (рис. 5, 6). Следует добавить, что в отличие от скважинных испытаний, данные испытания проводились в стенде-скважине на чистой воде и на абсолютно одинаковом режиме работы насосы.

**ПОДБОР ОБОРУДОВАНИЯ ПО КРИТЕРИЮ МАКСИМАЛЬНОГО КПД**

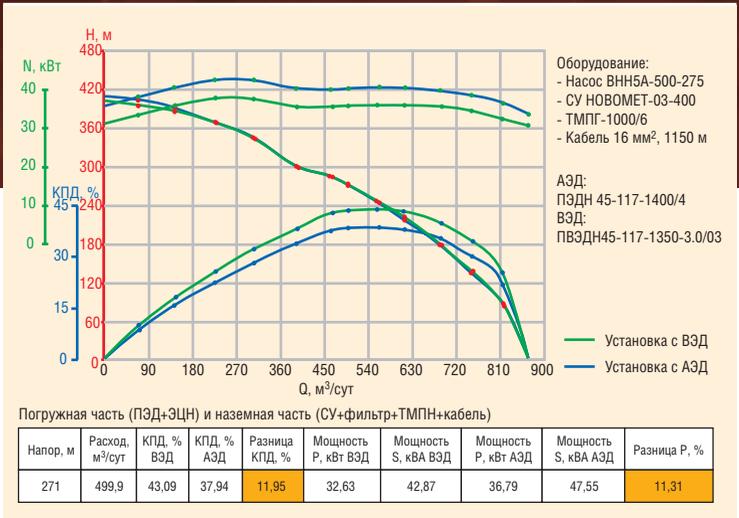
Даже при эксплуатации насоса в пределах рабочего диапазона его КПД может меняться от 44 до 70% (рис. 7). При этом лишь 40 % всех УЭЦН в нашей стране эксплуатируются в пределах рабочего диапазона. Соответственно, поиск оптимальной точки рабочего диапазона и эксплуатация насоса в ее пределах помогают существенно повысить его энергоэффективность. Для подбора оборудования в компании «Новомет» существует программа Novomet-Sel-Pro.

Novomet-Sel-Pro позволяет рассчитать режим работы скважины, осуществлять подбор оптимальной компоновки насоса, прогнозировать работу насоса. В данной программе реализован алгоритм подбора энергоэффективной установки. Суть его сводится к следующему. Во-первых, при подборе мы изначально отдаем предпочтение энергоэффективному оборудованию. Во-вторых, рабочий диапазон насоса ис-

**Рис. 7. Анализ зависимости энергозатрат от подачи насоса в пределах рабочего диапазона**



**Рис. 6. Оценка потребления электроэнергии погружной и наземной частями УЭЦН 5А-500-275 при использовании вентиляльного и асинхронного электродвигателей**



кусственно заужается с принятых +/-25%, до +/-5% (рис. 8)

Дополнительно программа рассчитывает фактический КПД всей установки для данной скважины, а также общее суммарное потребление электроэнергии из сети. После расчетов всегда можно сравнить возможные варианты между собой (табл 3, 4).

При подборе оборудования мы значительно разгружаем рабочий диапазон насоса и фактически сводим его к одной точке. То есть, мы подбираем насос таким образом, чтобы он работал с оптимальным КПД.

### ОБЕСПЕЧЕНИЕ РАБОТЫ УСТАНОВКИ НА МАКСИМУМЕ КПД ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ СУ

Следующий аспект комплексного подхода к энергосбережению — это поддержание работы установки в точке оптимума КПД насоса непосредственно при эксплуатации. При помощи расширенного ТМС «Новомет» СУ управления получает данные о давлении добываемой жидкости на приеме и выкиде насоса. Далее по этим данным рассчитывается фактический режим работы насоса. В случае, если фактический режим отклоняется от точки оптимума, СУ меняет частоту — для того, чтобы максимально приблизить рабочую точку к оптимуму КПД. Специальный алгоритм управления СУ позволяет скважине работать исключительно в оптимальном режиме (с максимальным

### ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

**Вопрос:** Данила Николаевич, в чем заключается особый алгоритм управления СУ?

**Данила Мартюшев:** В использовании векторного режима управления, который позволяет управлять двигателем через СУ. Это способствует снижению потерь электроэнергии в двигателях.

**Вопрос:** Когда Вы говорите о поставке энергоэффективных УЭЦН, Вы подразумеваете под ними весь комплект, включая СУ производства «НОВОМЕТ» или это могут быть УЭЦН, допустим, оснащенные только ВД?

**Д.М.:** Возможны разные варианты, комплектацию энергоэффективных УЭЦН определяет заказчик. Также хотел бы отметить, что ВД нашего производства могут работать с СУ производства компаний «Борец», «РИТЭК» и других производителей. При этом будет и разный эффект от их внедрения.

**Вопрос:** Вы упомянули об использовании в СУ виртуального расходомера для замера дебита. На каких данных основана работа этого устройства?

**Д.М.:** Виртуальный расходомер делает расчеты исходя давления на приеме насоса, выходе из него и характеристик оборудования УЭЦН, которые содержатся в памяти СУ, и параметров работы скважины.

Таблица 3

### Прогноз параметров работы установки ВНН5А-500

Месторождение: Есоpetrol Н	Куст 1	Скважина 1	Пласт 1
Ступень: ВНН5А-500 (Н 1176 м) (при 3957,6 об/мин)	Количество: 249	Изготовитель: «НОВОМЕТ»	
Двигатель: ПЭД250-117 с частотой тока 68 Гц		Изготовитель: «НОВОМЕТ»	
Кабель: КПБПЗ*25-120	Удлинитель: ZTS EPOP 3*16		
Газосепаратор: нет. КПД погружной части: агрегат + кабельная линия = 45,79%		Дата расчета: 01.04.2011 г.	
Дебит жидкости в мернике, м³/сут		700,0	
Длина подвески (глубина подвески), м		2070,0 (2070,0)	
Обводненность жидкости, %		95	
Объемная подача жидкости на входе в насос, м³/сут		705,9	
Объемная подача смеси на входе в насос (после сепарации), м³/сут		758,1	
Реальная рабочая зона насоса по характеристике на воде, приведенная к оборотам характеристики ступени в БД, м³/сут		523,6-561,3	
<b>НАСОС:</b>			
Развиваемое давление, атм		192,11	
Мощность, кВт		277,732	
КПД, %		57,43	
Нагрев ГЖС, °С		3,7	
<b>ДВИГАТЕЛЬ (максимально допустимая температура обмотки = 170,0°С):</b>			
КПД, %		85	
Температура обмотки, °С		122,48	
Нагрев ГЖС, °С		1,56	
Сила тока, А		59,58	
Затрубное давление, атм		47,6	

Таблица 4

Прогноз параметров работы энергоэффективной установки ВНН5А-500			
Месторождение: Escopetrol H	Куст: 1	Скважина: 1	Пласт: 1
Ступень: ЭЦН5А-500 (энергоэффективная) (H = 904 м) (при 4365,0 об/мин)	Количество: 240	Изготовитель: «НОВОМЕТ»	
Двигатель: ПВЭДН400-117-3400/6.0 с частотой тока 75 Гц		Изготовитель: «НОВОМЕТ»	
Кабель: КПБПЗ*25-120	Удлинитель: ZTS EPOR 3*16		
Газосепаратор: нет. КПД погружной части: агрегат + кабельная линия = 58,57%		Дата расчета: 01.04.2011 г.	
Дебит жидкости в мернике, м³/сут		700,0	
Длина подвески (глубина подвески), м		2070,0 (2070,0)	
Обводненность жидкости, %		95	
Объемная подача жидкости на входе в насос, м³/сут		705,91	
Объемная подача смеси на входе в насос (после сепарации), м³/сут		757,22	
Реальная рабочая зона насоса по характеристике на воде, приведенная к оборотам характеристики ступени в БД, м³/сут		474,7-508,3	
<b>НАСОС:</b>			
Развиваемое давление, атм		193,89	
Мощность, кВт		230,661	
КПД, %		69,79	
Нагрев ГЖС, °С		2,18	
<b>ДВИГАТЕЛЬ (максимально допустимая температура обмотки = 190°С):</b>			
КПД, %		92	
Температура обмотки, °С		109,12	
Нагрев ГЖС, °С		0,64	
Сила тока, А		63,59	

Таблица 5

**Оценка эффективности комплексного подхода энергосбережению при добыче нефти**

Насос	Подача, м³/сут	КПД насоса, %	КПД установки, %	Мощность установки, кВт	Удельное энергопотребление, кВтч/м³
ЭЦН5А-500Э-2000	500	70	56	211	9,75
ЭЦН5А-500-2000	500	59	40	283	13,55
ЭЦН5А-500-2000	350	44	32	244	16,73

КПД). Таким образом, при использовании расширенной ТМС возможна автоадаптация под изменяющиеся условия системы «пласт — скважина — УЭЦН».

У СУ есть и другие алгоритмы автоматического управления:

- вывод на режим при максимальном КПД;
- щадящий вывод на режим (применяется при закреплении мехпримесей, максимальном давлении на входе в насос, минимальной температуре ПЭД);
- поддержание оптимальной подачи;
- поддержание максимального дебита в рабочей области насоса;
- периодическая эксплуатация с максимальным КПД.

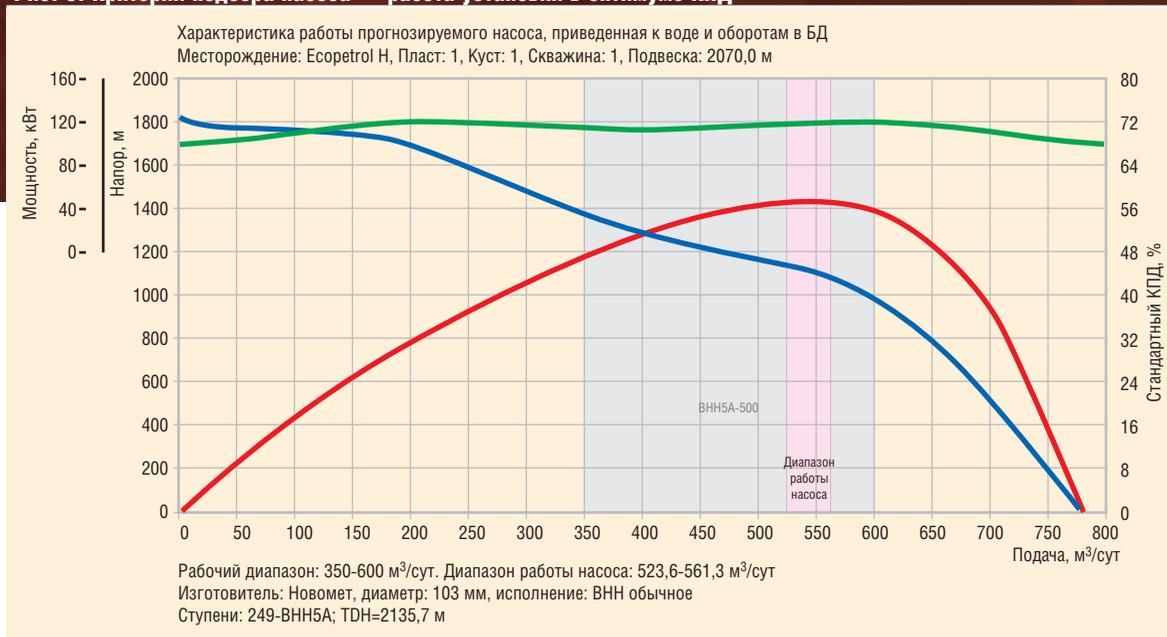
**КОМПЛЕКСНЫЙ ПОДХОД К ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЮ**

Комплексный подход «Новомет» к энергосбережению при добыче нефти основан на таких составляющих, как энергоэффективное оборудование, подбор оборудования по критерию максимального КПД при добыче и обеспечение работы насосной установки с максимальным КПД при эксплуатации средствами интеллектуальной СУ. Если при использовании отдельных видов энергоэффективного оборудования в составе УЭЦН можно достичь 25%-ной экономии электроэнергии, то при применении комплексного подхода можно сэкономить 41% энергии (табл. 5).

Таблица 6

ОПИ энергоэффективных УЭЦН производства «НОВОМЕТ»				
Нефтяная компания	ЭЦН	ПВЭД	Кол-во	Дата отгрузки
ТНК-ВР	ЭЦН5А-400Э-1750/33-003 (5400/225Э)	ПВЭДН70П-117-3000-6.0/47	1	30.11.2010 г.
Тургай Петролеум	ЭЦН5А-500Э-900/36-203 (5100/320)	ПВЭДН140-117-3000-6.0/44	1	27.09.2010 г.
Муравленковскнефть	ЭЦН5А-225-2000/13-003	ПВЭДН63-117-1550-3.0/47	1	28.12.2010 г.
Муравленковскнефть	ВНН5А-100Э-200/14-003	ПВЭДН100-117-2200-3.0/47	1	28.12.2010 г.
Муравленковскнефть	ЭЦН5А-500Э-2200/36-003	ПВЭДН135П-117-2800-6.0/47	1	28.12.2010 г.
ГПН-Ноябрьскнефтегаз	ЭЦН5А-280Э-2700/36-243	ПВЭДН125П-117-3100-6.0/47	1	28.03.2011 г.

**Рис. 8. Критерий подбора насоса — работа установки в оптимуме КПД**



**РЕЗУЛЬТАТЫ ОПИ  
 ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫХ УЭЦН**

Энергоэффективные УЭЦН производства «Новомет» прошли испытания на скважинах таких компаний, как ТНК-ВР, «Тургай Петролеум», «Газпром нефть» («Муравленковнефть» и «ГПН-Ноябрьскнефтегаз») (табл. 6). В качестве критериев успешности испытаний были выбраны отсутствие отказов и неисправностей, а также снижение удельного энергопотребления на 1 м³ добываемой жидкости. Срок испытаний составляет 180 суток.

ОПИ показали хорошие результаты. В частности, при использовании ЭЦН5А-400-1650 на скважинах «ТНК-Нягань» относительная экономия потребляемой электроэнергии на 1 м³ добытой жидкости составила 43%. В данном случае такая экономия обусловлена как раз применением энергоэффективного оборудования и разницей в точке работы этого оборудования (рис. 9).

В 2011 году планируется поставка энергоэффективных УЭЦН в «Газпром нефть» и «Самотлорнефтегаз». ♦

**Рис. 9. Параметры работы УВНН5А-400Э-1750 (5400/225Э) и УЭЦН производства «Алмаз» в скв. №1955 куста 537 Талинского месторождения**

Параметры работы УВНН5А-400Э-1750 (5400/225Э) и УЭЦН производства «Алмаз» в скв. №1955 куста 537 Талинского месторождения

УЭЦН	ПЭД	Дата запуска	Дата отказа	Qж	Потребляемая мощность, кВт	Наработка, сут	Причина отказа
УЭЦН5А-400Э-1750	ПВЭДН70П-117	10.02.11	-	400	124	55	
ЭЦНДИ35А-400-1650	ПЭД-Я-140-117	19.08.10	04.02.11	330	179	169	смена УЭЦН

Относительная экономия потребляемой электроэнергии на 1 м³ добытой жидкости составляет 43%

УЭЦН	ПЭД	Дата запуска	Qж	Потребляемая мощность, кВт	Наработка, сут	Причина отказа
УЭЦН5А-500Э-900	ПВЭДН125-117	27.10.10	600	116	156	
QУВ-101-500-900	-	-	529	145	-	
TD-4300 (500-900)	-	-	480	156	-	

В данной скважине до внедрения энергоэффективных УЭЦН работала установка не схожего типоразмера, поэтому в данном случае сравнивать изменение энергопотребления некорректно

## Уважаемые читатели!

**Начиная с августа 2011 года (с №8'2011), инженерно-технический нефтегазовый журнал «Инженерная практика» переходит на платное представление материалов.**

Бесплатный доступ к содержанию выпусков через интернет-портал [www.glavteh.ru](http://www.glavteh.ru) будет закрыт. Для того, чтобы оформить подписку на печатную или электронную версию журнала, заполните, пожалуйста, соответствующую анкету на нашем сайте (раздел «Подписка») или свяжитесь с нами по телефону (495) 371-05-74, 371-01-74, (499) 270-55-25. Также Вы можете прислать информацию по факсу (495) 371-01-74 (см. Подписной купон)

### СТОИМОСТЬ И УСЛОВИЯ ПОДПИСКИ

Стоимость подписки на печатную/электронную версии\*:

на год – 5830 рублей.

на полугодие – 3790 рублей.

\* Минимальное количество приобретаемых электронных версий журнала – 3.

### Скидки при оформлении корпоративной подписки:

- От 10 до 20 экземпляров – скидка 5%
- От 21 до 30 экземпляров – скидка 10%
- От 31 и более экземпляров – скидка 15%



### ПОДПИСНОЙ КУПОН

ПЕЧАТНАЯ ВЕРСИЯ     ЭЛЕКТРОННАЯ ВЕРСИЯ

Фамилия \_\_\_\_\_ Имя \_\_\_\_\_ Отчество \_\_\_\_\_

Должность \_\_\_\_\_

Название и юридический статус компании \_\_\_\_\_

Количество экземпляров журнала \_\_\_\_\_

#### Адрес доставки журнала:

Индекс \_\_\_\_\_ Адрес \_\_\_\_\_

Код города, телефон, факс \_\_\_\_\_

E-mail \_\_\_\_\_ Сайт \_\_\_\_\_

Менеджер отдела подписки – **Дарья Мирончикова**

Тел.: **+7 (495) 371-01-74, +7 (499) 270-55-25**

E-mail: **info@glavteh.ru**