



## ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ЭКСПЛУАТАЦИИ СКВАЖИН УСШН С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ТРЕХКОНТУРНОЙ ПРОМЫВКИ ОТ ОТЛОЖЕНИЙ РАЗНОГО ВИДА

**ПЕПЕЛЯЕВ Валерий Витальевич**  
Директор ООО «Пермское конструкторско-технологическое бюро технического проектирования и организации производства» (ООО ПКТБ «Техпроект»), к.т.н.

**ЗОТИКОВ Владимир Иванович**  
Доцент кафедры геологии нефти и газа Пермского национального исследовательского политехнического университета (ПНИПУ)



**П**ри эксплуатации скважин УСШН с оборудованием, обеспечивающим возможность трехконтурной промывки, подъем жидкости осуществляется не по кольцевому каналу, образованному внутренней полостью НКТ и наружной поверхностью полых штанг, а по самому каналу полых штанг, что позволяеткратно увеличить скорость движения поднимаемой жидкости. Это в свою очередь снижает вероятность осаждения АСПО, мехпримесей, гидратов в рабочих органах насоса и в канале полых штанг. За счет уменьшения рабочих объемов технологического оборудования снижаются необходимые объемы промывочной жидкости, химрастворов, что обуславливает экономическую целесообразность применения данной технологии. Использование полых штанг и специального промывочного клапана обеспечивает возможность различных схем промывки в разных комбинациях и при минимальных затратах даже в поглощающих скважинах или при полной потере циркуляции.

В процессе эксплуатации оборудования для ОРЭ специалисты ООО ПКТБ «Техпроект» столкнулись с неэффективностью традиционных промывок. Чтобы решить эту проблему, снизить число ТКРС и повысить эффективность работы оборудования, было решено разработать собственную технологию промывки скважин, оборудованных УСШН с использованием штанг насосных трубных (ШНТ) (аналог полых штанг).

### ТРАДИЦИОННЫЕ СПОСОБЫ ПРОМЫВКИ СКВАЖИН

В настоящее время повсеместно применяются прямая и обратная промывки скважин. Прямая промывка, как правило, направлена на ликвидацию забойных, в т.ч. песчаных пробок. Обратная промывка служит для борьбы с АСПО, подразумевает подачу промывочного агента в ЭК и дальнейшее его вымывание по каналу НКТ.

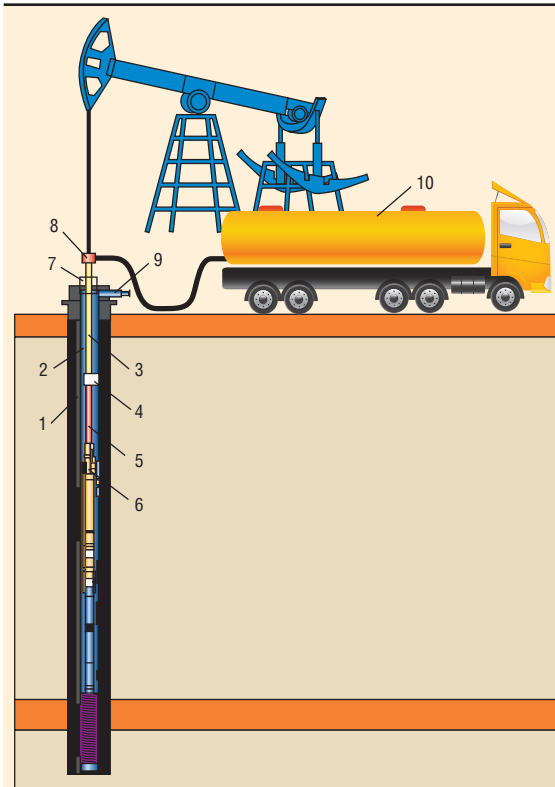
К технологическим недостаткам этих типов промывок можно отнести, во-первых, невозможность проведения операций в «поглощающих» скважинах, во-вторых, необходимость закачки значительного объема (более 30 м<sup>3</sup>) горячего теплоносителя. В-третьих, эти виды промывок исключают проведение операций при полной потере циркуляции.

### ТЕХНОЛОГИЯ ПРОМЫВКИ ЗАО «ЭЛКАМ-НЕФТЕМАШ»

ЗАО «ЭЛКАМ-Нефтемаш» выпускает комплекс оборудования для промывки и прогрева скважин (ОППС). Это оборудование предназначено для периодической промывки лифтовой колонны труб от различного вида отложений через колонну полых штанг и переводную муфту, установленную ниже зоны образования АСПО, с применением минимальных объемов

промывочных жидкостей (рис. 1). Компоновка применялась в скважине № 67 Тулвинского месторождения ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», есть опыт промышленной эксплуатации ОППС в Казахстане. Испытания технологии показали, что она, с одной стороны, обладает рядом преимуществ перед традиционными способами промывки, с другой, — ей присущи два существенных недостатка, связанные с отсутствием возможности проведения операции при полной потере циркуляции, а также отсутствует возможность промывки насоса.

**Рис.1** Технология и оборудование для промывки лифтовой колонны через полые штанги (ЗАО «Элкамнефтемаш»).



Основные недостатки:

1. Невозможно провести операцию при полной потере циркуляции.
2. Невозможно промыть насос.

- 1 – Эксплуатационная колонна
- 2 – Колонна НКТ
- 3 – Колонна полых штанг с устьевым полым штоком
- 4 – Перепускная муфта
- 5 – Колонна штанг по ГОСТ Р 51161 2002
- 6 – Насос
- 7 – Устьевой сальник
- 8 – Обратный клапан с БРС
- 9 – Выкид в систему сбора продукции
- 10 – Агрегат депарафинизационный промывочный, 15 МПа, 110°С.

При разработке нового способа промывки мы поставили цель учесть недостатки имеющихся технологий и избежать их.

### ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ, ОБЕСПЕЧИВАЮЩЕГО ВОЗМОЖНОСТЬ ТРЕХКОНТУРНОЙ ПРОМЫВКИ

Принципиальная особенность технологии добычи нефти с возможностью трехконтурной промывки из скважин, оборудованных УСШН, заключается в том, что подъем жидкости осуществляется не по кольцевому каналу, образованному внутренней полостью НКТ и ШНТ, а по самому каналу полых штанг (рис. 2). В ле-

вой части рисунка показана компоновка погружной и наземной частей оборудования. Все оборудование, используемое в компоновке, за исключением промывочного клапана, выпускается серийно для эксплуатации скважин фонда УСШН. Что касается клапана, то необходимое исполнение может быть получено доработкой базовых конструкций из номенклатуры ООО НПФ «Пакер». К особенностям компоновки также можно отнести применение насосов с нижней замковой опорой.

Использование для подъема жидкости внутреннего канала полых штанг изменяет скоростные и напорные характеристики потока скважинной жидкости, а также нагрузку на балансир СК. Для оценки величины этих

**Рис.2** Схема подъема жидкости по полым штангам. Первый контур промывки (пласт → ШНТ).

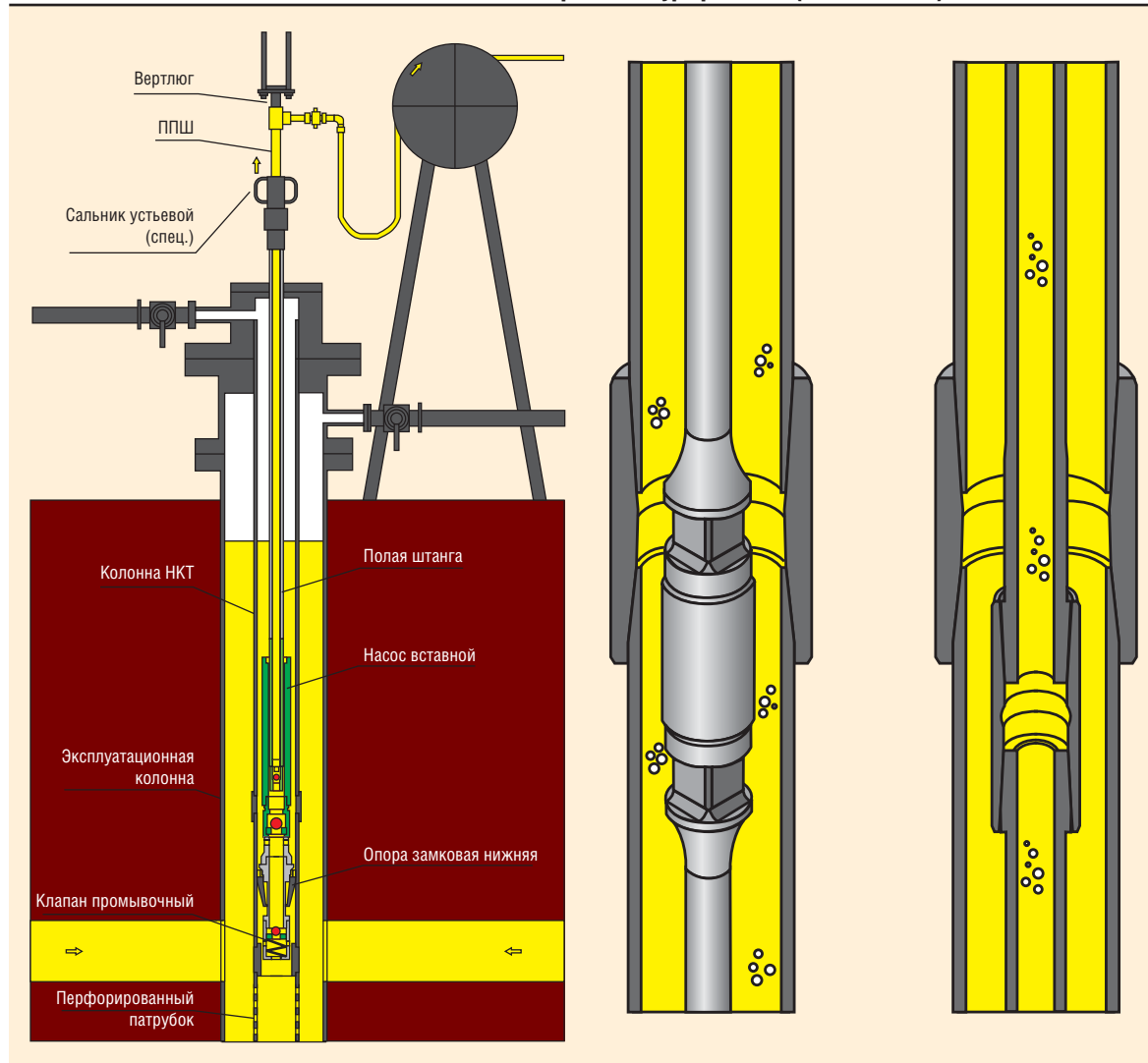
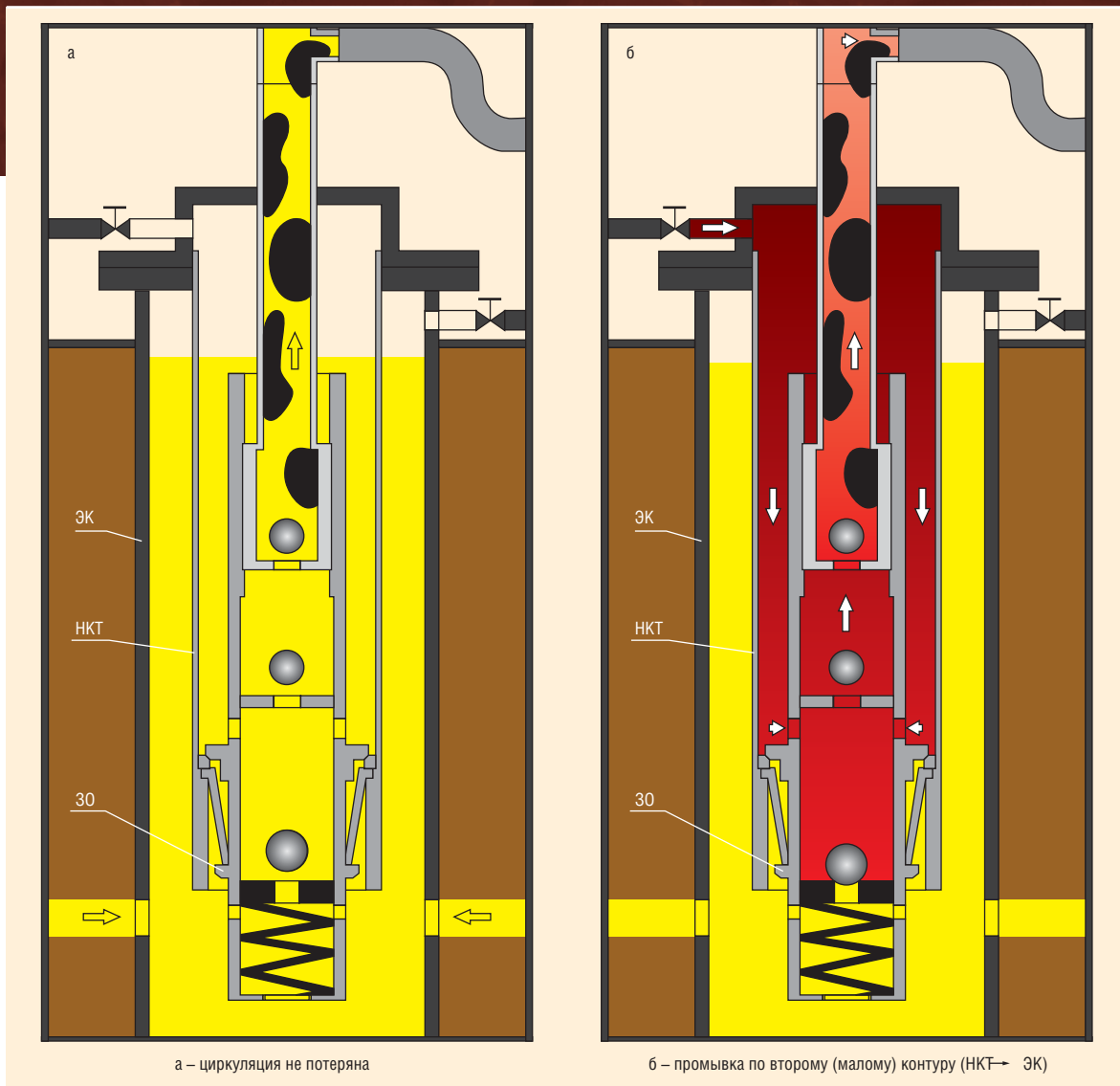


Рис.3 Схема промывки при сохранении циркуляции



изменений в табл. 1 приведены результаты расчетов, выполненных, исходя из следующих условий:

- лифтовая колонна — НКТ-73;
- глубина спуска насосов (условно) — 1000 м;
- диаметр канала ШНТ — 22 мм;
- число качаний в минуту — 6;
- длина хода полированного штока — 2,5 м;
- плотность жидкости — 900 кгс/м<sup>3</sup>;
- вязкость жидкости (условно) — 0,05 Па·с.

*Для сведения:* Вязкость нефти Тулвинского месторождения в пластовых условиях составляет 0,006 Па·с, в поверхностных условиях — 0,043 Па·с. Для Москудинского месторождения — 0,068 и 0,162 Па·с соответственно.

При таких параметрах скорости потока жидкости в кольцевом пространстве составят от 0,05 до 0,20 м/с в зависимости от типа насоса (табл. 1). Однако если жидкость начинает циркулировать в канале полых штанг, то скорость потока жидкости увеличивается в 7–8 раз — до 0,37–1,60 м/с.

Учитывая высокую скорость потока жидкости, можно считать, что первый контур промывки реализуется уже в процессе эксплуатации — пласт → ШНТ.

#### ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХКОНТУРНОЙ ПРОМЫВКИ

Технологические возможности предлагаемой трехконтурной промывки покажем на примере борьбы с наиболее часто встречающимися осложнениями — АСПО.

Факт образования АСПО внутри канала полых штанг можно определить по разным критериям. Например, по частичному зависанию штанг, в результате чего при записи динамограмм будет наблюдаться снижение нагрузок при ходе штанговой колонны вниз. Наличие АСПО в канале ШНТ приведет также к снижению подачи насоса из-за дополнительных утечек, вызванных ростом сопротивления току жидкости в канале полых штанг.

Предположим, что в процессе отбора жидкости в скважинах, осложненных АСПО, произойдет заметное

Таблица 1

Характеристики потока скважинной жидкости					
Тип насоса	Номинальная подача, м <sup>3</sup> /сут	Скорость потока жидкости в кольцевом пространстве, м/с	Скорость потока жидкости в канале ШНТ, м/с	Потери напора в канале ШНТ, МПа	Нагрузка на балансир СК, кгс
НВ 27	12,4	0,05	0,37	1,2	3700
НВ 33	17,3	0,08	0,50	1,7	4000
НВ 38	24,5	0,11	0,70	2,5	4300
НВ 44	32,8	0,14	1,00	3,2	4600
НВ 57	55,1	0,20	1,60	5,5	5500

накопление АСПО внутри канала полых штанг, что приведет к уменьшению темпа отбора жидкости и к снижению нагрузок на балансир СК при ходе вниз (рис. 3а). В этом случае при условии сохранения циркуляции промывка будет осуществляться по второму (малому) контуру — НКТ → ШНТ. Горячий теплоноситель (нефть или вода) подается в полость НКТ, далее на прием насоса и затем в канал полых штанг (рис. 3б). При наполнении канала полых штанг промывочным агентом нижний клапан исключает его попадание в пласт или затрубное пространство, и жидкость будет циркулировать по контуру НКТ → ШНТ до тех пор, пока за счет температурного воздействия не завершится растворение АСПО. При прямой или обратной промывке по «классической» схеме потребовалось бы порядка 30 м<sup>3</sup> промывочного агента, тогда как для данной схемы нужно не более 3 м<sup>3</sup>. Можно ожидать, что за счет более высокой скорости потока промывочной жидкости ее температура будет выше, чем при «классической» промывке.

По завершении операции по промывке канал полых штанг должен полностью очиститься от АСПО и при

повторном запуске установки должно произойти восстановление дебита скважины. Результат операции также фиксируется по динамограмме.

Предположим, что в силу каких-то причин не удалось зафиксировать критическое увеличение количества АСПО, что привело к потере циркуляции (рис. 4а). В этом случае технологическая операция промывки будет осуществляться в 2 этапа.

На первом этапе горячий теплоноситель, поступая в кольцевое пространство НКТ, вызовет рост давления перед промывочным клапаном. При достижении заданного давления (определяется настройкой) клапан откроется и промывочная жидкость начнет поступать в затрубное пространство по третьему (большому) контуру — НКТ → ЭК (рис. 4б). Если пласт «поглощаю-

Рис.4 Схема промывки при потере циркуляции

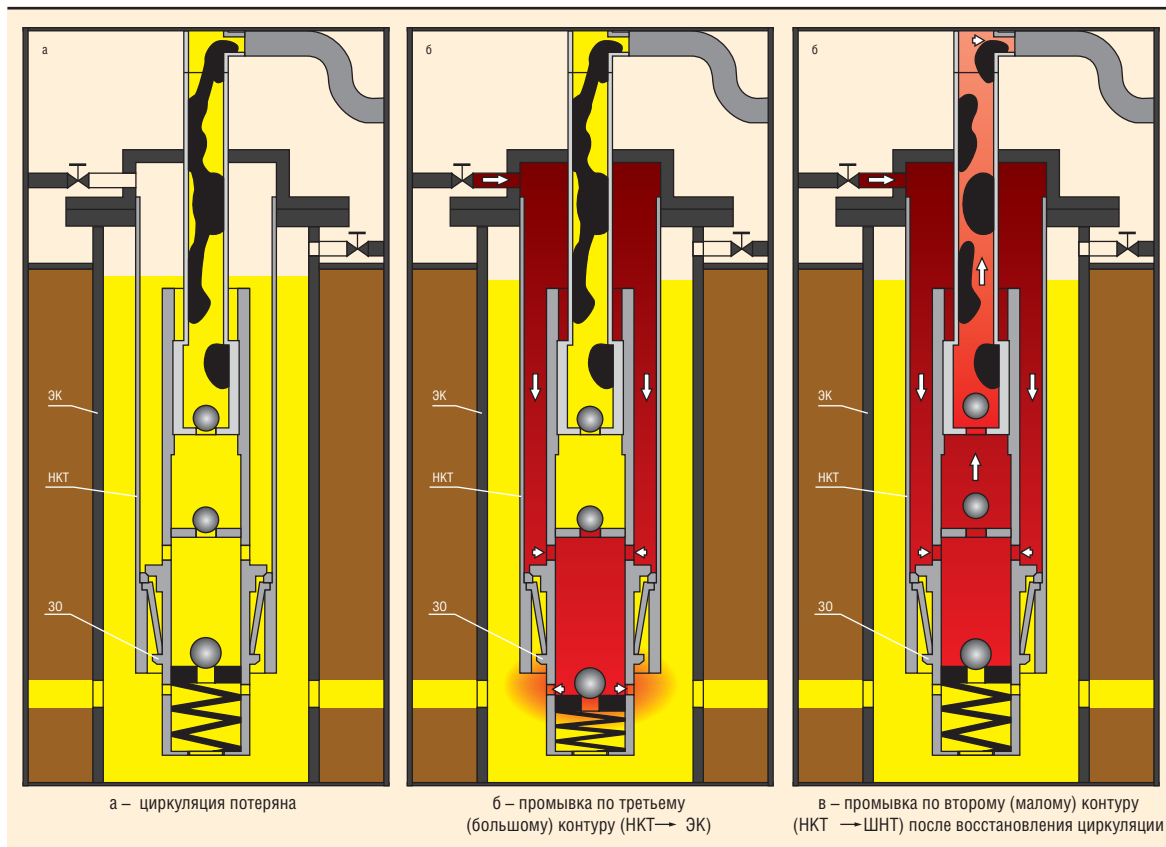


Таблица 2

**Основные технические характеристики штанг насосных**

Штанга насосная с муфтой ( по ГОСТ Р51161 – 2002)					Штанга насосная трубная с муфтой (БТП-28.29.00.001, БТП-28.30.00.001 и т.д.)				
Условное обозначение	Наружный диаметр муфты, мм	Диаметр канала, мм	Площадь тела штанги, мм <sup>2</sup>	Масса 1 п/м, кг	Условное обозначение	Наружный диаметр муфты, мм	Диаметр канала, мм	Площадь тела штанги, мм <sup>2</sup>	Масса 1 п/м, кг
ШН 19	42,0	Нет	283,4	2,3	ШНТ 27x4,0	42,2	19,0	288,9	2,3
ШН 19	46,0	Нет	379,9	3,2	ШНТ 32x4,5	48,3	23,0	388,6	3,1
ШН 19	56,0	Нет	490,6	4,1	ШНТ 36x5,5	52,2	25,0	526,7	4,1
ШН 19	60,0	Нет	615,4	5,4	ШНТ 36x7,0	52,2	22,0	637,4	5,0

ций», то жидкость поступает в пласт, если «непоглощающий», начинается заполнение затрубного пространства, и этот процесс будет идти до тех пор, пока не произойдет частичного расплавления отложений в канале полых штанг за счет теплопередачи от горячего агента.

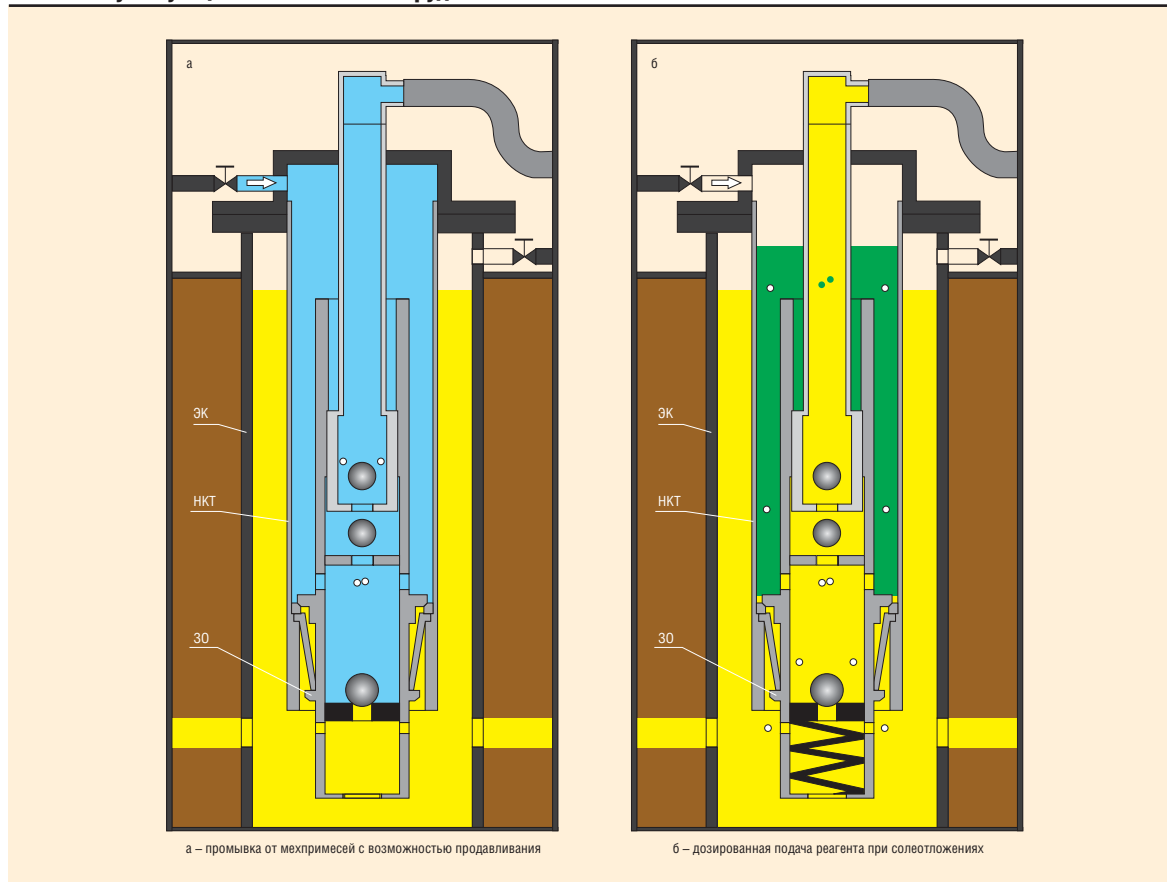
На втором этапе (после восстановления циркуляции в канале полых штанг) клапан возвращается в свое исходное положение, и промывка продолжается по малому контуру, то есть переходит в завершающую стадию (рис. 4в). Затем цикл повторяется.

**ДОПОЛНИТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ТРЕХКОНТУРНОЙ ПРОМЫВКИ**

Технология трехконтурной промывки эффективна не только для борьбы с АСПО, но и с другими осложняющими факторами — мехпримесями, соле- и гидратообразованием.

При высоком содержании мехпримесей рекомендуется использовать промывку при периодической остановке насоса, что обеспечит превентивное воздействие на образующиеся осадки (рис. 5а). Для про-

**Рис.5 Сопутствующие возможности оборудования**





давления образующихся песчаных пробок рекомендуется применять на колонне НКТ обратный клапан вместо промывочного. В результате для промывки насоса не требуется подъем оборудования, как при обычных условиях эксплуатации.

При солеотложениях можно применять однократную промывку — закачку по малому контуру (НКТ → ШНТ) технической воды со специальными реагентами, либо использовать периодическую подачу реагента — периодическое добавление реагента в кольцевое пространство НКТ с превышением уровня над Нд (рис. 5б).

В зависимости от места выделения гидратов возможны следующие варианты промывки (рис. 6):

- а–б — удаление гидратов из затрубного пространства путем закачки горячего теплоносителя сначала по малому контуру (НКТ → ШНТ), а затем по большому контуру (НКТ → ЭК); кран высокого давления полых штанг перекрыт;
- б–а — удаление гидратов из канала полых штанг путем закачки горячего теплоносителя сначала по большому контуру (НКТ → ЭК), а после восстано-

ления циркуляции продолжение закачки по малому контуру (НКТ → ШНТ).

#### ШТАНГИ НАСОСНЫЕ ТРУБНЫЕ (ПОЛЫЕ ШТАНГИ) — КЛЮЧЕВОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ ТРЕХКОНТУРНОЙ ПРОМЫВКИ

Описанные технологические схемы предполагают использование в составе оборудования штанг насосных трубных. Интерес заказчиков к этому виду продукции определяют три фактора: технические параметры штанг, качество штанг и ценовая политика.

По основным техническим характеристикам штанги насосные трубные аналогичны обычным штангам насосным, изготовленным по ГОСТ Р 51161-2002, а именно:

- по наружным габаритам (определяют применимость в колоннах НКТ);
- по площади тела штанги (прочностной фактор);
- по массе 1 п/м (весовой фактор)

Типоразмерный ряд полых штанг соответствует таковому для стандартных цельных штанг, что позволяет

**Рис.6 Удаление гидратов путем чередования контуров промывки**

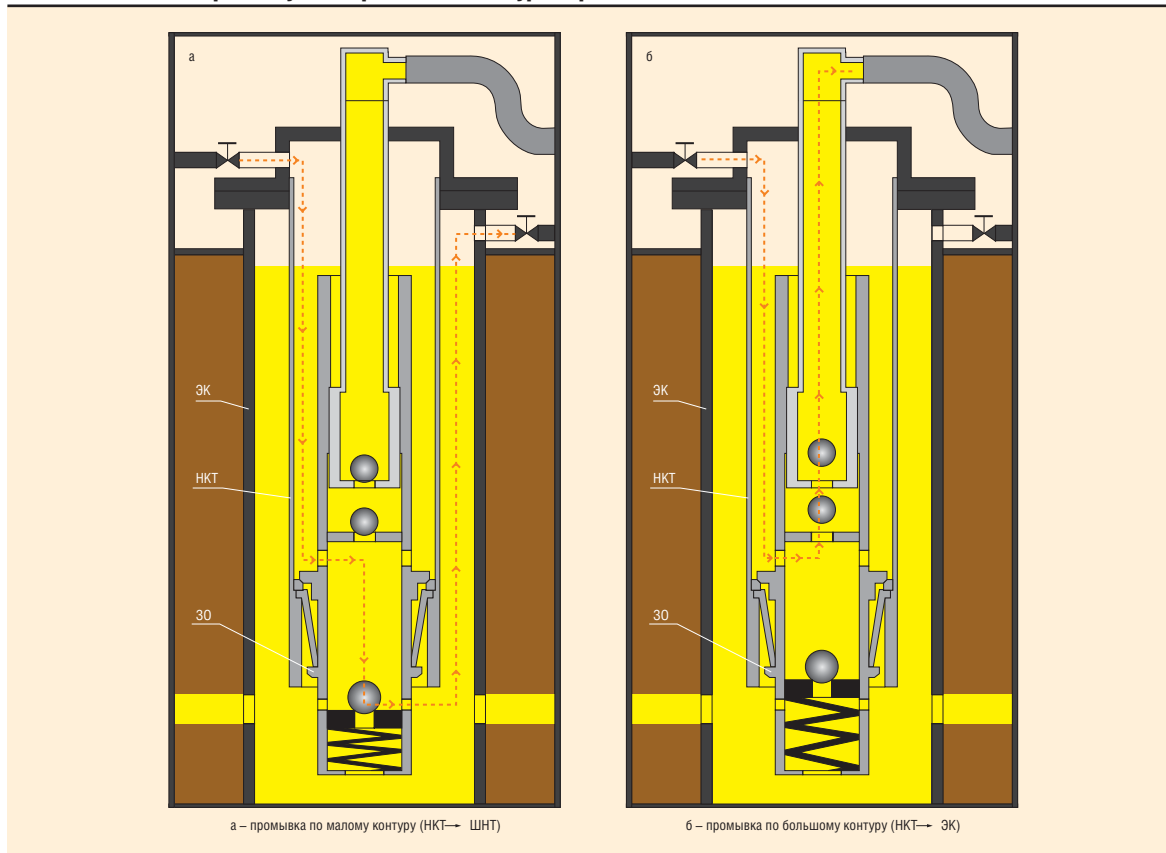
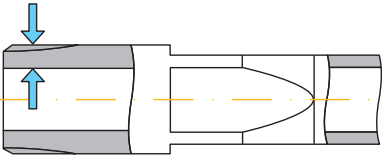
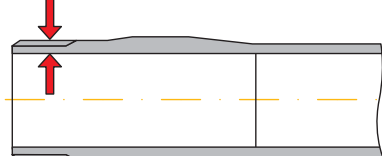
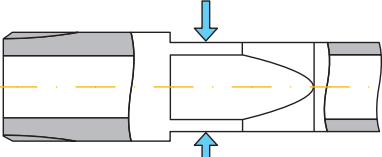
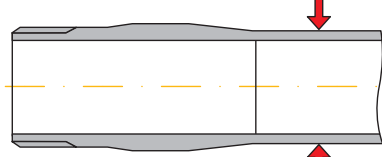
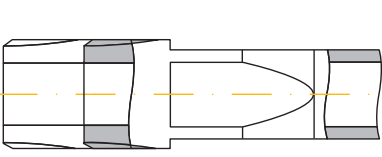
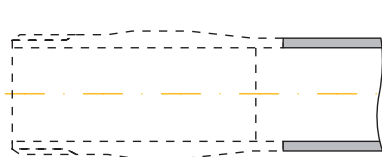


Таблица 3

**Сравнение надежности и ремонтпригодности полых штанг различной конструкции**

Штанга насосная трубная ШНТ 27х4 (аналог ШН-19) конструкция ООО ПКТБ «Техпроект»	Штанга полая ШНП 19 (аналог ШН-19) конструкция ЗАО «ЭЛКАМ-нефтемаш»
 <p>Толщина стенки в резьбовой части в 2 раза больше толщины стенки тела</p>	 <p>Толщина стенки в резьбовой части одинакова с толщиной стенки тела</p>
 <p>Наличие «лысок под ключ» исключает механические повреждения</p>	 <p>Повреждения тела от плашек ключей являются концентраторами для усталостных трещин</p>
 <p>Перенарезка резьбы на трубной базе по высадке</p>	 <p>Ремонт только на заводе</p>

технологическим службам цехов добычи пользоваться стандартной программой при подборе компоновок штанговых колонн (табл. 2).

В настоящее время на рынке нефтепромыслового оборудования присутствуют полые штанги, разработанные в ЗАО «ЭЛКАМ-Нефтемаш» и ООО ПКТБ «Техпроект»

Выпуск штанг насосных трубных по документации ООО ПКТБ «Техпроект» освоили два специализированных завода — ОАО «Ижнефтемаш» и ОАО «Очерский машзавод» (рис. 7).

Проведем сопоставительный анализ двух аналогичных конструкций (табл. 3):

Толщина стенки высаженной части штанги производства ООО ПКТБ «Техпроект» в два раза больше толщины стенки тела, в результате чего уровень внутренних напряжений, вызывающих зарождение и развитие усталостных трещин, в высаженной части штанги существенно меньше, чем в теле, поэтому геометрические концентраторы напряжений (резьба) практически не влияют на усталостные процессы в штанге. В отличие от наших штанг, штанги производства ЗАО «ЭЛКАМ-Нефтемаш» такого утолщения не имеют, в связи с чем наличие резьбовых соединений гораздо сильнее влияет на процессы усталостного разрушения штанг.

Другая конструкционная особенность штанг производства ООО ПКТБ «Техпроект» связана с наличием специальных «лысок» под ключ стандартного монтажного инструмента, что дает возможность использовать ключи для стандартных операций по монтажу колонн насосных штанг и исключить повреждения те-

ла штанг. У штанг производства ЗАО «ЭЛКАМ-Нефтемаш» наружная поверхность гладкая, работать монтажным инструментом предлагается по телу штанги, что увеличивает риск механических повреждений, которые будут являться концентраторами зарождения усталостных трещин.

Наконец, к особенностям ШНТ, разработанных ООО ПКТБ «Техпроект» и выпускаемых на Очерском машзаводе, можно отнести ремонтпригодность: удлиненный ниппель позволяет сделать 1–2 перенарезки в условиях сервисных баз по ремонту трубной продукции и НКТ (табл. 3).

Эксплуатация ШНТ, изготовленных по документации ООО ПКТБ «Техпроект», начата в декабре 2008 года на месторождениях ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ». Нарботка первых штанг по состоянию на конец 2011 года превысила 5 млн циклов.

Объем поставки ШНТ 32х4,5 составил 1550 шт., ШНТ 36х5,5 — 978 шт. Это относительно небольшое количество объясняется приоритетом надежности: мы воздержались от тиражирования штанг до тех пор, пока не убедились в надежности их работы.

ШНТ работали в сложных условиях: в интервалах с темпом набора кривизны до 4° на 10 м (скв. №742 Павловского месторождения) и с нагрузкой на головку балансира СК до 9000 кгс (скв. №410 Батырбайского месторождения). В скважинах с комбинированными колоннами полых штанг (в ряде случаев при формировании колонн полых штанг заказчик использовал штанги разных производителей) наши штанги ШНТ 36х5,5 всегда находились в первой

Рис.7 Вид концевых частей штанг насосных трубных ШНТ 36х5,5.



(верхней) части колонн. В процессе эксплуатации не было зафиксировано ни одного обрыва ШНТ, в то время как в комбинированных колоннах имели место случаи обрыва штанг в нижних ступенях штанговых колонн.

Рассматривая возможность внедрения ШНТ, заказчики обращают внимание не только на технические параметры и надежность их функционирования, а в первую очередь оценивают экономические аспекты применения.

При расчете цены продукции производители руководствуются следующей универсальной формулой:

$$Ц = (ЗП + СМ) \times НР \times Р \times Н \times 1,05,$$

где ЗП — заработная плата рабочих;

СМ — стоимость материалов;

НР — накладные расходы;

Р — рентабельность;

Н — налоги;

1,05 — роялти 5% (применяется только для новых видов продукции, имеющих патентную защиту).

Применим эту формулу для расчета цены штанг насосных трубных (ШНТ) и стандартных цельных штанг (ШН), рассмотрим отношение полученных цен и после очевидных сокращений, получим:

$$\frac{Ц_{ШНТ}}{Ц_{ШН}} = \frac{(ЗП_{ШНТ} + СМ_{ШНТ}) \times НР \times Р \times Н \times 1,05}{(ЗП_{ШН} + СМ_{ШН}) \times НР \times Р \times Н} = \frac{(ЗП_{ШНТ} + СМ_{ШНТ}) \times 1,05}{(ЗП_{ШН} + СМ_{ШН})}$$

Поскольку ШНТ и ШН изготавливаются по одной и той же технологии, то трудоемкость их изготовления одинакова. Тогда:  $ЗП_{ШНТ} = ЗП_{ШН}$ .

Анализ показателей себестоимости рассматриваемой продукции свидетельствует, что в цене продукции стоимость материалов существенно выше стоимости трудозатрат на ее изготовление. С учетом этого ( $ЗП_{ШНТ} \ll СМ_{ШНТ}$ ;  $ЗП_{ШН} \ll СМ_{ШН}$ ) соотношение цен приобретает вид:

$$\frac{Ц_{ШНТ}}{Ц_{ШН}} \approx \frac{СМ_{ШНТ} \times 1,05}{СМ_{ШН}}$$

В результате цена новой продукции (ШНТ) будет соотноситься с ценой известной продукции (ШН) следующим образом:

$$Ц_{ШНТ} \approx Ц_{ШН} \times К \times 1,05, \text{ где}$$

$$К = \frac{СМ_{ШНТ}}{СМ_{ШН}} \approx 1,5 - 1,8$$

Величина последнего коэффициента определена на основании анализа отпускных цен производителей трубной продукции (заготовки для ШНТ) и производителей стального проката (заготовки для ШН).

Из расчетов следует, что стоимость ШНТ превышает стоимость обычной цельной насосной штанги в 1,6–1,9 раза. Но следует подчеркнуть, что данный принцип ценообразования применим только к партиям от 10 000 шт. При небольших партиях индивидуальная стоимость ШНТ гораздо выше.

В заключение еще раз отметим, что эксплуатация скважин осложненного фонда установками СШН с возможностью трехконтурной промывки позволяет:

1. За счет увеличения скорости потока в канале полых штанг уменьшить вероятность скопления АСПО, мехпримесей, гидратов в рабочих органах насоса и в канале полых штанг.

2. За счет уменьшения рабочих объемов технологического оборудования уменьшить необходимые объемы промывочной жидкости, химрастворов, что определяет экономическую целесообразность технологии.

3. За счет применения полых штанг и специального промывочного клапана обеспечить возможность различных схем промывки и дозирования реагентов, в различных комбинациях и при минимальных затратах промывать погружное оборудование даже в поглощающих скважинах или при полной потере циркуляции. ♦

## ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

**Вопрос:** Валерий Витальевич, не приводит ли увеличение скорости потока внутри полых штанг к необходимости увеличения числа обработок скважин?

**Валерий Пепеляев:** На протяжении трех лет эксплуатации штанг насосных трубных в составе оборудования для ОРЭ мы не зафиксировали ни одного случая потери циркуляции в канале полых штанг.

**Вопрос:** В докладе вы рассматривали главным образом подземную часть компоновки. Что представляет собой наземная часть?

**В.П.:** Наземная часть — это главным образом стандартное оборудование. Применяются, в частности, стандартная арматура, устьевого сальник с увеличенным диаметром (из-за применения полого полированного штока), стандартный вертлюг и гибкий резиново-металлический рукав высокого давления, по которому осуществляется транспорт жидкости.

**Вопрос:** Требуется ли специальный насос для перекачки жидкости?

**В.П.:** Нет, специальный насос не нужен.

**Вопрос:** Какова максимальная глубина спуска ШНТ?

**В.П.:** Сегодня мы спускаем двухступенчатые колонны полых штанг на глубину до 1250 м. При использовании четырехступенчатых колонн ШНТ допускается спуск насоса на глубину до 2500 м.

**Вопрос:** По идее, если жидкость при промывке двигается только по штангам, должны повышаться их истирание и износ.

**В.П.:** Согласен, этот вопрос, безусловно, требует дополнительного изучения.