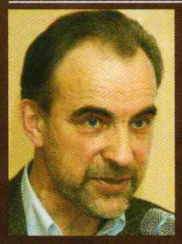


ОПЫТ РЕАЛИЗАЦИИ И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ РАЗРАБОТКИ СИС С УСТАНОВКАМИ СШН И ЭЦН

ПЕПЕЛЯЕВ Валерий Витальевич
Директор ООО ПКТБ «Техпроект», к.т.н.

Среди оборудования для ОРЭ, протестированного на скважинах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», можно выделить двухлифтовую компоновку СШН с полыми штангами, позволяющую работать с насосами по типу вставных, а также компоновку для одновременно-раздельной (раздельно-последовательной) разработки двух эксплуатационных объектов одной установкой ЭЦН по одной лифтовой колонне. Результаты проведенных приемочных испытаний свидетельствуют о работоспособности данного оборудования в условиях, определенных его конструктивными особенностями.

Пермское конструкторско-технологическое бюро технического проектирования и организации производства (ООО ПКТБ «Техпроект») работает в этом направлении по техническому заданию «ЛУКОЙЛ-ПЕРМИ» уже более пяти лет. Компания занимается разработкой конструкторской документации, организует изготовление опытных образцов оборудования, проводит комплекс приемочных испытаний.

Требования техзадания заказчика включали:
- оценку возможности применения НКТ диаметром 42 мм в качестве насосных штанг;
- обеспечение раздельной подачи продукции на устье;
- контроль забойного давления;
- обеспечение возможности воздействия на добываемую жидкость с целью борьбы с осложнениями;
- контроль объема добываемой жидкости;
- контроль содержания воды в добываемой жидкости;
- выполнение требований Правил безопасности в нефтяной и газовой промышленности.

В ходе работ возникли дополнительные требования к оборудованию, которые были успешно решены: достигнут необходимый ресурс полых штанг; найдено решение по удалению газа с приема нижнего насоса, обеспечена возможность оперативной смены насосов без срыва пакера и без подъема 73-мм НКТ с глубинным манометром и импульсной трубкой для подачи реагента.

По состоянию на конец 2010 года поставлено девять комплектов оборудования, проведены предварительные (заводские) испытания. На 2011 год запланировано его внедрение на скважинах.

ГЛУБИННО-НАСОСНОЕ И НАЗЕМНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ОРЭ СШН

Принципиальная схема внутрискважинного и наземного оборудования для ОРЭ включает в себя два синхронно работающих СШН, причем посредством комбинации верхнего и нижнего насо биться широкой гаммы возможностей двухлифтовая компоновка с полыми шт ными насосами позволяет при необход на полых штангах сдвоенный насос и новый без срыва пакера и подъема Н земная компоновка предусматривае контроля жидкости (СКЖ), которые ра вают жидкость каждого эксплуатацио Контроль водосодержания осущест стандартные пробоотборные краны. с обоих объектов поступает в общий

В компоновке ГНО предусмотрено решение для удаления газа с приема

Идеальная подача СШН при ОРЭ (числи насос, знаменатель – нижний насо

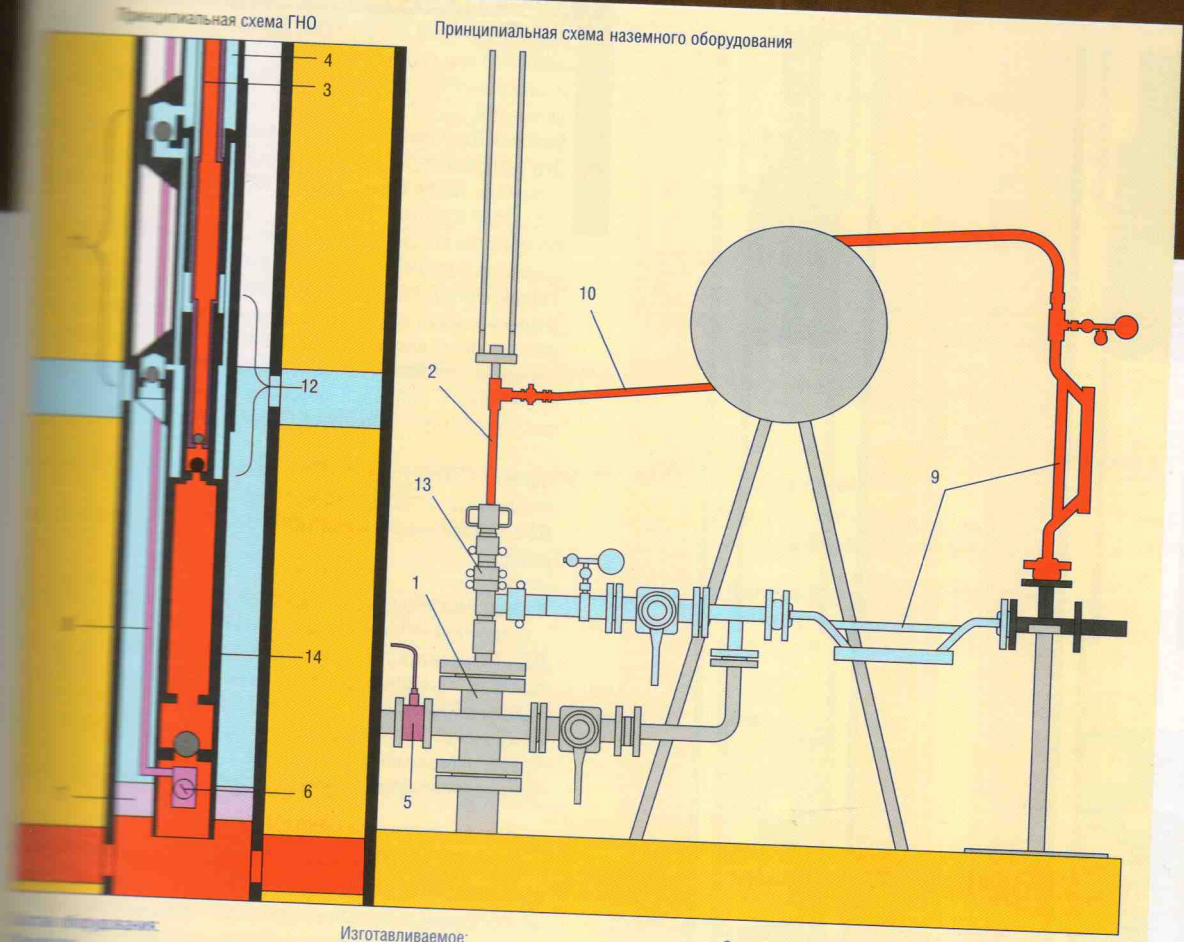
Условный диаметр плунжера нижнего насоса, мм	Условный диаметр плунжера мм			
	27	32	38	
27	X	5,00/12,37	12,13/12,37	
32	5,00/17,37	X	7,12/17,37	
38	12,13/24,50	7,12/24,50	X	
44	20,47/32,84	15,47/32,84	8,35/32,84	
57		37,75/55,12	30,62/55,12	

Соотношения идеальной подачи СШ

Условный диаметр плунжера нижнего насоса, мм	Условный диаметр плунжера мм			
	27	32	38	
27	X	0,40	0,98	
32	0,29	X	0,41	
38	0,50	0,29	X	
44	0,62	0,47	0,25	
57		0,68	0,56	

Примечание. Условия расчета: ход плунжера – двойных ходов – 6.

Рис. 1. Принципиальная схема ГНО и НО (ОРЭ СШН)



Изготавливаемое:
11 – Верхний СШН с байпасом
12 – Нижний СШН
13 – Сальник устьевой модернизированный
14 – Плунжер – пакер

Стоимость поставки определяется на основании заполненных опросных листов.
Оборудование прошло приемочные испытания.
Разрешение на применение № РРС 00-29564

Основные возможности оборудования:
Смена насосов без срыва пакера и подъема НКТ
Раздельный учет добываемой продукции
Возможность промысловых исследований
Предупреждение и удаление АСПО
Удаление газа с приема нижнего насоса
Ремонтопригодность в условиях сервисных баз
Диапазон идеальных подач (N=6, L=2,5 м):
- нижний насос: 12,4…55,1 м³/сут;
- верхний насос: 5,0…42,8 м³/сут
Соотношение идеальных подач ($Q_{верх}/Q_{ниж}$): 0,25…3,46

рис. 2). Суть его заключается в том, что к стандартному цилиндру насоса добавили удлинитель-расширитель, в который при ходе вниз выходит часть плунжера насоса с отверстиями по нижней кольцевой канавке. Это снизило коэффициент наполнения насоса примерно на 10%, но полностью решило проблему высокого газосодержания. Этот метод внедрен на одной из скважин с газовым фактором 60 м³/м³ и успешно действует в течение более двух лет.

Еще одно специальное техническое решение разработано для борьбы с АСПО. В верхнем насосе через обратные клапаны осуществляется промывка горячей нефтью или водой, а на прием нижнего насоса от специального дозатора по импульсной трубке подается реагент. Как вариант, для прогрева всей компоновки, включая прогрев кольцевого пространства и жидкости, циркулирующей по полой штанге, могут использоваться нагревательные кабельные линии (НКЛ).

Глубинный манометр в составе компоновки позволяет измерять давление на приеме насоса и с высокой точностью рассчитывать забойное давление. Прибор также контролирует температуру на приеме нижнего насоса, что дает возможность объективно оценить необходимость и результат применения НКЛ.

Оборудование ОРЭ СШН БТП-28.00.00.000 полностью отвечает требованиям Правил разработки нефтяных и газовых месторождений при использовании оборудования ОРЭ СШН, что предполагает:

- наличие сменного внутрискважинного оборудования;
- раздельный учет добываемой продукции;
- возможность промысловых исследований каждого пласта раздельно;
- проведение безопасного ремонта с учетом различия давлений по объектам;
- замер дебита жидкости с помощью замерных устройств.

Рис. 2. Удаление газа с приема нижнего насоса

Газ удаляется через отверстие в плунжере (см. позицию 1)*

Газовая шапка на приеме насоса

* - на данное техническое решение получен патент № 2340792

Таблица 3

Результаты внедрения оборудования ОРЭ СШН на скважинах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ»

Номер скважины	Горизонт/ярус	Дебит нефти, т/сут				Наработка
		до внедрения ОРЭ	после внедрения ОРЭ		Прирост	
			по пластам	общий		
652	Верейский	0,7	0,36	0,74	0,02	более 3-х лет
	Башкирский		0,38			
748	Турнейский	5,6	2,17	9,55	3,95	более 2-х лет
	Яснополянский		7,38			

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

Вопрос: *Валерий Витальевич, какой перепад давления [illegible] людается при переключении ЭЦН с одного пласта на [illegible] и насколько надежен «переключатель» – гидравлический [illegible] цилиндр?*

Валерий Пепеляев: Перепад давления составляет [illegible] Это устройство более года работает в суточном режиме [illegible] скважине №754 Павловского месторождения и [illegible] свою надежность.

Но мы учли потенциальную опасность перепадов давления [illegible] и именно поэтому предложили схему непрерывной эксплуатации, которая предполагает крайне редкое переключение с одного объекта на другой. Кроме того, для обеспечения ремонтопригодности оборудования начиная с этого года [illegible] перешли на схему устьевого привода не в виде одного громоздкого цилиндра специального исполнения, а [illegible] рех компактных цилиндров стандартного исполнения.

Вопрос: *Какое уплотнение использовано в узле стыковки погружной части оборудования с пакером?*

В.П.: Классическое уплотнение по принципу «плунжер-цилиндр».

Вопрос: *Что происходит с динамическим уровнем скважины при переключении насоса?*

В.П.: Применительно к нижнему объекту отсутствует [illegible] понятие «динамический уровень». Мы можем говорить только об изменении забойного давления. Что касается динамического уровня верхнего объекта, то он меняется в пределах примерно ±100-150 м.

Компоновки для ОРЭ СШН внедрены на двух скважинах ООО «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ» (табл. 3) с положительным результатом, причем если в обводненной скважине не оборудование только тестировалось, то в [illegible] скважине получен дополнительный дебит [illegible] целом можно заключить, что полученные результаты дают основание на переход к массовому [illegible] и внедрению оборудования на поэтапной основе.

Вместе с тем функциональные возможности компоновки СШН-СШН для ОРЭ пока нельзя назвать [illegible] сальными. С одной стороны, компоновка позволяет осуществлять контроль параметров раздельно по объектам, выявлять наличие перетоков между объектами [illegible] дить опрессовку оборудования, а также [illegible] осложнениями, вести запись динамограмм и [illegible] промысловые исследования без подъема оборудования. С другой стороны, у данного технического решения существенный минус, который состоит в отсутствии возможности раздельного регулирования отбора жидкости по объектам без смены насосов (возможно только пропорциональное регулирование). Кроме того, [illegible] ограничения максимального дебита жидкости по верхнему объекту. Так, при L=2,5 м и N=6 дебит верхнего объекта ограничен 43 м³/сут, нижнего – 55 м³/сут. Это ограничение связано с относительно узким диапазоном соотношений производительности верхнего и нижнего насоса: 0,25-3,5.

ШТАНГИ НАСОСНЫЕ ТРУБНЫЕ

При проведении ОПИ оборудования для ОРЭ СШН применялись разные конструкции полых штанг. Штанги, изготовленные из гладких труб, показали удовлетворительные результаты. Напротив, штанги с саженными концами обеспечили наработку в [illegible]

Таблица 4

Конструкции полых штанг, применявшихся при ОПИ оборудования ОРЭ СШН, и результаты испытаний

Обозначение полых штанг	Результаты испытаний
НКТ 42 (ГОСТ 633-80) – гладкие	Наработка до 916 тыс. циклов Испытания окончены
ШНП 33 (34Х5) – гладкие	
ШНП 33 (34Х6) – гладкие	
ШНП 33 (34Х8) – гладкие	
НКТ 42 специальная (с высадкой после радиальной ковки)	Наработка 5 млн циклов Испытания окончены
ШНТ 36Х5,5 (с высадкой по стандартной технологии)	Текущая наработка ШНТ 36х5,5 более 5,0 млн циклов Испытания продолжаются
ШНТ 32Х4,5 (с высадкой по стандартной технологии)	

Таблица 5

Основные сопоставимые характеристики насосных штанг

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, мм²	Масса штанги, кг/м	Условное обозначение	Наружный диаметр муфты, мм	Диаметр канала, мм	Площадь тела штанги, мм²	Масса штанги, кг/м
ШН 19	42,0	Нет	283,4	2,3	ШНТ 27х4,0	42,2	19,0	288,9	2,3
ШН 22	46,0	Нет	379,9	3,2	ШНТ 32х4,5	48,3	23,0	388,6	3,1
ШН 25	56,0	Нет	490,6	4,1	ШНТ 36х5,5	52,2	25,0	526,7	4,1
ШН 29	60,0	Нет	615,4	5,4	ШНТ 36х7,0	52,2	22,0	637,4	5,0

штанги с требованиями ГОСТ 51161–2002. К примеру, штанга насосная трубная (БТП-28.30.00.001) изготавливается по технологии обычных цельных штанг из среднеуглеродистой низколегированной стали, имеет высаженную часть с герметичной конической резьбой НКТ 42, в стандартном исполнении длина штанги 9 м (рис. 3). Сборка производится со смазкой Р-402 ТУ 38-[illegible]-73. Испытания этой штанги проводятся внутренним гидравлическим давлением 20 МПа в течение [illegible] мин. Разрушения, остаточные деформации и утечки через резьбовое соединение не допускаются.

Учитывая тот факт, что заказчику привычнее и удобнее работать с традиционными штангами, мы произвели необходимые расчеты и разработали типовой ряд полых штанг, назвав их штангами насосными трубными (ШНТ), основные параметры которых – масса погонного метра и площадь несущего сечения – эквивалентны параметрам стандартных цельных штанг (табл. 5). Таким образом, для каждого типоразмера стандартных цельных штанг имеется аналог из типового ряда штанг насосных трубных. При разработке ШНТ мы также руководствовались следующими требованиями: во-первых, наружный диаметр муфты должен быть таким, чтобы она могла свободно перемещаться в НКТ 73, во-вторых, внутренний диаметр канала штанги должен быть максимально возможным (оптимально 20–25 мм). Гидравлические расчеты показывают, что при таком диаметре канала потери напора в колоннах полых штанг при подъеме пластовой

Рис. 3. Штанга насосная трубная БТП-28.30.00.001

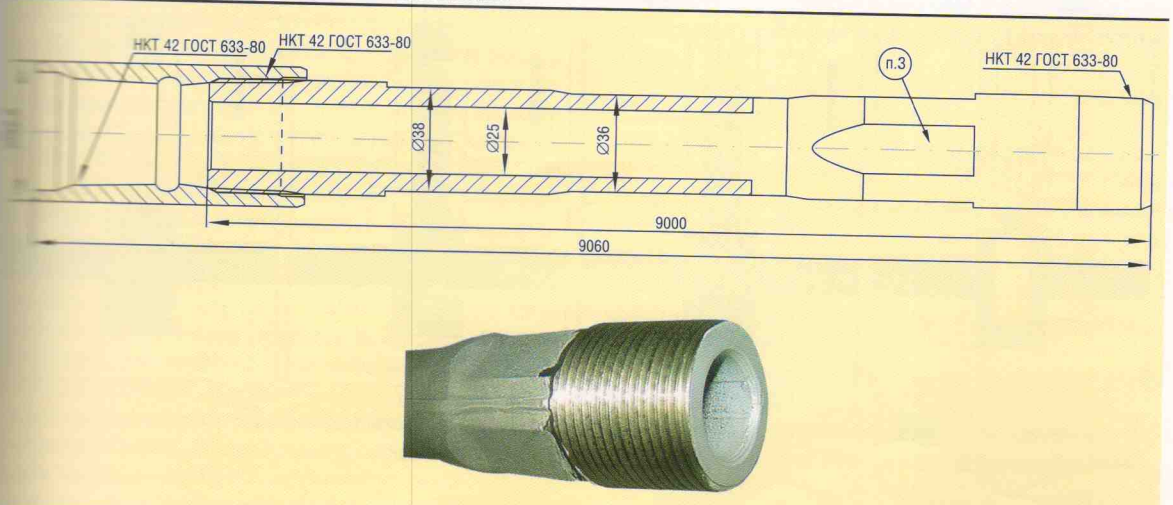


Таблица 6

Результаты опытно-промышленной эксплуатации штанг насосных трубных на скважинах ООО «ЛУКОЙЛ-Пермь»

Месторождение	№ скв.	Тип насоса установки	Глубина спуска насоса, м	Компоновка полых штанг	Max нагрузка в верхней точке подвески, кгс	Min нагрузка в верхней точке подвески, кгс	Частота качаний, мин-1	Наработка, млн циклов
Баклановское	652	ОРР СШН 38-44	1250	1 ступень – 450 м 2 ступень – 800 м	6643	2089	4	более [illegible]
Павловское	748	ОРР СШН 57-27	947	1 ступень – 459 м 2 ступень – 488 м	5163	3055	4	более [illegible]

Примечания. Первая ступень – ШНТ 36х5,5М: За весь период работы не было ни одного отказа. Вторая ступень – полые штанги из гладких труб: за весь период работы имели место 8 обрывов и 1 отворот.

жидкости с динамической вязкостью 0,005 Па·с насосом с плунжером диаметром 44 мм на высоту 1000 м при скорости потока 0,00038 м³/с не превысят 1 МПа. При подъеме жидкости по стандартному внутреннему каналу 8 мм потери на трение о внутренние стенки трубы в аналогичных условиях составят более 20 МПа. В результате будут иметь место предпосылки для зависания нижней части штанговой колонны.

Согласно теоретическому расчету условной трехступенчатой штанговой колонны, приведенное напряжение в первой штанге для первой ступени ШН-25 (при глубине спуска 1500 м) составляет 8,9 кг/мм². У ШНТ нам удалось добиться тех же показателей, сохранив равнопрочность штанговых колонн.

Штанги насосные трубные применяются на двух скважинах «ЛУКОЙЛ-ПЕРМЬ», за время их эксплуатации не было ни одного случая обрыва (табл. 6). По соотношению «цена-качество-потребительские свойства» новый класс полых штанг – штанги насосные трубные (БТП-28.29.00.000, БТП-28.30.00.000 и т.д.) – существенно превосходят все известные на сегодняшний день аналоги. Применение этих штанг оправдано не только в составе оборудования для ОРЭ, но также для решения иных технологических вопросов, возникающих при работе с осложненным фондом.

СБОР И КОНТРОЛЬ ЖИДКОСТИ – ОДНОЙ УЭЦН ПО ОДНОЙ ЛИФТОВОЙ КОЛОННЕ

В Правилах разработки нефтяных и газонефтяных месторождений не указывается, каким количеством лифтов должна быть оборудована компоновка для ОРЭ. При этом использование двух лифтовых колонн увеличивает стоимость компоновки, повышает трудоемкость монтажа-демонтажа оборудования и вероятность отказов. С этой точки зрения экономически более целесообразным представляется применение однолифтовых компоновок для ОРЭ.

Мы разработали две схемы, позволяющие осуществлять сбор и контроль жидкости одним насосом по одной колонне труб из двух пластов поочередно и одновременно (рис. 4, 5).

Поочередный отбор жидкости из каждого объекта достигается с помощью специального «переключателя потоков», который перемещается мощным гидроцилиндром, расположенным на устьевой арматуре, в результате чего насос поочередно сообщается с каждым из объектов, разделенных между собой пакером. У устройства есть два критерия переключения: минимальное допустимое забойное давление и показания таймера.

Условный пример работы скважины с «переключателем» может выглядеть так. Предположим, что верхний объект дает 25 м³/сут, а нижний – 75 м³/сут, [illegible]

Рис. 4. Схема сбора и контроля жидкости одним насосом по одной колонне труб из двух пластов поочередно

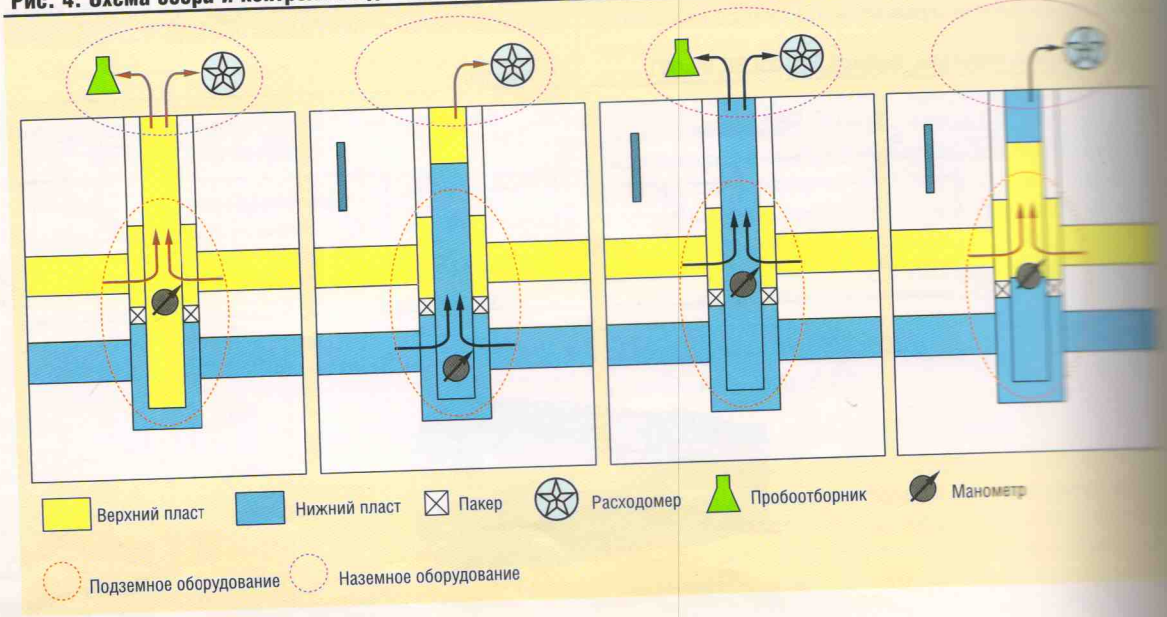
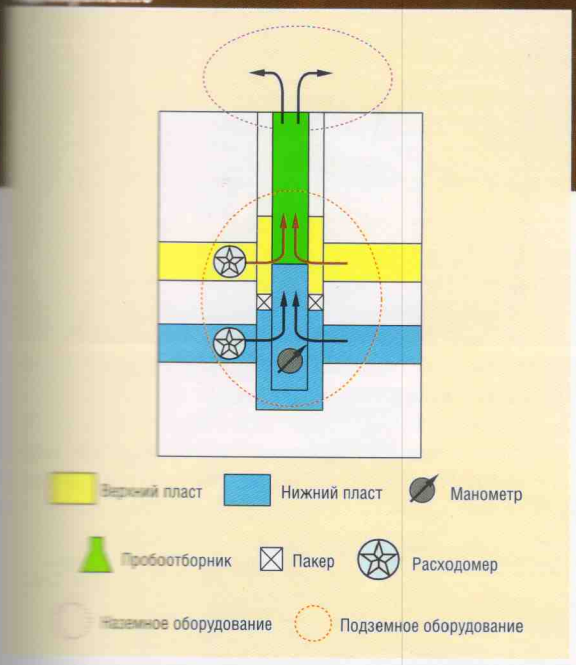


Рис. 5. Схема сбора и контроля жидкости одним насосом по одной колонне труб из двух пластов одновременно



общий дебит равен 100 м³/сут. В этом случае при работе в суточном режиме (одно переключение в сутки) насосная установка производительностью 100 м³/сут будет в течение 6 ч форсированно отбирать жидкость с менее продуктивного верхнего объекта и 18 ч – с нижнего, более продуктивного. Критерием для переключения насоса с одного объекта на другой может служить величина давления на приеме насоса (по данным телеметрии). В этом случае частота переключений может быть иной, чем в приведенном примере.

Для проведения приемочных испытаний на скважину №754 Павловского месторождения «ЛУКОЙЛ-Перми» был поставлен опытный образец оборудования для ОРЭ двух эксплуатационных объектов при помощи УЭЦН (БТП-44.00.00.000). До начала испытаний оборудования суммарный дебит двух объектов скважины составлял примерно 60 м³/сут (табл. 7).

В процессе приемычных испытаний были замерены суточные дебиты объектов (время работы нижнего объекта – 1 ч, верхнего объекта – 11 ч) с помощью СКЖ в период с 8 по 12.01.10 года и по данным ГЗУ в период с 13 по 21.01.10 года, а также диапазон значений контролируемых параметров (табл. 8, 9). Согласно заключению рабочей комиссии полученные результаты свидетельствуют о работоспособности оборудования, а само оборудование отвечает требованиям промышленной безопасности, технического задания и не имеет аналогов на территории России. На основе полученных данных рабочая комиссия рекомендовала признать результаты приемочных испытаний оборудования для ОРЭ двух эксплуатационных объектов при помощи УЭЦН (ОРЭ ЭЦН), изготовленного по техническим условиям БТП-44.00.00.000ТУ, положительными, а также продолжить испытания опытного образца оборудования с целью определения его наработки на отказ. В настоящее время текущая наработка экспериментального оборудования в скв. №754 превысила 400 суток. (рис. 6, 7).

Таблица 7

Основные параметры скважины №754 Павловского месторождения до начала приемочных испытаний

Параметры	Пласт		
	верхний (Тл-2а)	средний (Мл)	нижний (Т)
Глубина залегания по кровле, м	1335	1367	1386
Интервал перфорации, м	1335-1339	1375-1381	1392-1411
Дебит жидкости, м³/сут (прогноз)	45,9		13,8
Дебит нефти, т/сут (прогноз)	16,92		5,11
Обводненность (весовая), %	63,7		63,7

Таблица 8

Основные параметры скважины №754 Павловского месторождения, произведенные с помощью СКЖ в период с 08 по 12.01.10 г.

Параметры	Пласт		
	верхний (Тл-2а)	средний (Мл)	нижний (Т)
Дебит, м³/сут (факт)	63,1		4,4
Обводненность (весовая), % (факт)	82,7		64,3
Динамический уровень, м	573		
Давление на приеме насоса, МПа	–		–
Затрубное давление, МПа	0,65		

Таблица 9

Основные параметры скважины №754 Павловского месторождения по данным ГЗУ в период с 13 по 21.01.10 г.

Параметры	Пласт		
	верхний (Тл-2а)	средний (Мл)	нижний (Т)
Дебит, м³/сут (факт)	54,3		4,2
Обводненность (весовая), % (факт)	83,9		64,2
Динамический уровень, м	538		
Затрубное давление, МПа	0,65		
Диапазон изменений давления на приеме насоса, МПа	7,1-5,0		6,4-5,0

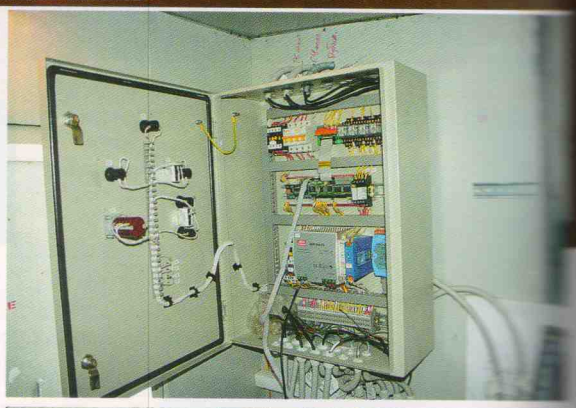
При этом надо отметить, что технология ОРЭ одной установкой ЭЦН по одной лифтовой колонне в существующем исполнении имеет ограничения по применению.

Во-первых, суммарный дебит жидкости с двух объектов не должен превышать 15 т/сут.

Во-вторых, минимальный дебит жидкости с низкопродуктивного объекта (Q_{min}) в случае, если объект расположен выше пакера, должен составлять не менее 1–2 м³/сут. Если же объект расположен ниже пакера, то Q_{min} определяется скоростью заполнения подпакерного пространства, то есть коллекторскими свойствами пласта и депрессией, а также допустимым снижением забойного давления.

В-третьих, есть ограничения по частоте переключений. Эта частота определяется скоростью снижения забойного давления до заданного допустимого уровня и должна обеспечить заполнение лифтовой колонны продукцией каждого пласта не менее чем на 50%.

Рис. 6. Аппаратура управления гидроприводом переключателя потоков



В 2010 году завершена работа над конструкторской документацией, которая существенно расширяет технологические возможности оборудования для одновременно-раздельной (раздельно-последовательной) разработки двух эксплуатационных объектов одной установкой ЭЦН по одной лифтовой колонне. Во-первых, привод переключателя потоков перенесен с устья скважины и установлен непосредственно под насосом. Во-вторых, конструктивно обеспечена возможность работы оборудования в двух режимах: в режиме непрерывного отбора жидкости одновременно с двух объектов, разделенных пакером, и в режиме исследования, когда отбор жидкости осуществляется только с одного из объектов, а второй в это время находится в накоплении.

Дальнейшее развитие проекта сопряжено с инвестиционными сложностями. В связи с этим мы готовы рассмотреть инвестиционные предложения нефтедобывающих компаний для изготовления и испытания опытных образцов оборудования. ♦

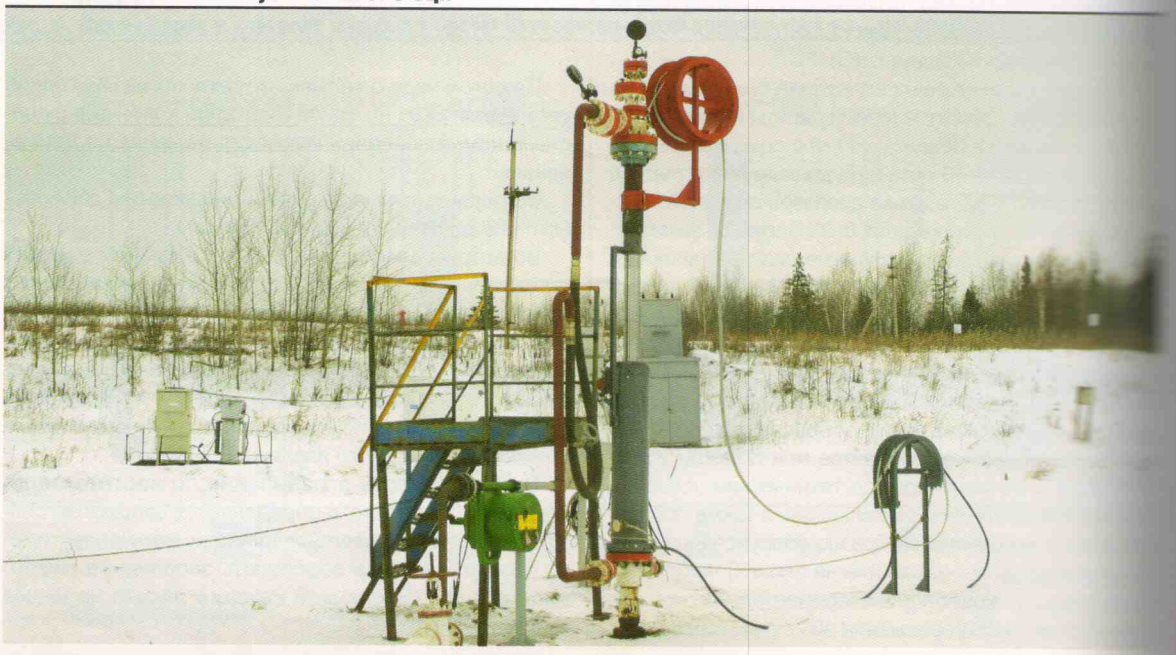



Рис. 7. Наземная часть установки ОРЗ ЭЦН