ВЫСОКОНАДЕЖНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ РАБОТЫ В ОСЛОЖНЕННЫХ УСЛОВИЯХ

ГЕРАСИМОВ Владимир Витальевич
Заместитель главного конструктора НДО ООО «ПК «Борец», к.т.н.

Одной из важнейших задач нефтедобычи на современном этапе является обеспечение стабильной работы скважин осложненного фонда. Компания «Борец» для условий эксплуатации скважин с повышенным содержанием свободного газа и мехпримесей разработала ряд мультифазных предвключенных модулей, называемых фазопреобразователями, а также новую конструкцию вихревого газосепаратора. Использование новой конструкции фазопреобразователей, в комплект которых входят ступени осевого типа пакетной сборки, обеспечивает возможность продолжительной работы УЭЦН в условиях содержания свободного газа на приеме насоса до 70%, а при комплексном использовании в установке фазопреобразователя совместно с газосепаратором — до 80–90%.

Компания «Борец» предлагает также новые модификации оборудования для работы в скважинах, осложненных выносом мехпримесей, такие как сепараторы мехпримесей-шламосборники и разобщители для подвесных противопесочных фильтров и сепараторов мехпримесей.

Опыт эксплуатации нефтепромыслового оборудования при повышенном содержании газа на приеме насоса показывает, что оптимальным решением, повышающим надежность работы УЭЦН в подобных условиях, является использование в комплекте установки фазопреобразователя и/или газосепаратора, которые сравнительно недавно были разработаны специалистами компании «Борец».

ФАЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ МНФБ

В настоящее время предприятие серийно изготавливает фазопреобразователи МНФБ — модули трех типов и девяти типоразмеров для защиты насосов от повышенного содержания свободного газа на входе при содержании мехпримесей в пластовой жидкости до 1 г/л (табл. 1).

ВНЕДРЕНИЕ МНФБ В «ТНК-НЯГАНИ»

По состоянию на 10.04.2012 года в компанию «ТНК-Нягань» поставлен 71 фазопреобразователь в габарите 5 и 5А (рис. 1). На 1 января 2012 года средняя наработка на отказ (СНО) УЭЦН с фазопреобразователем 3.30МНФБ5(5А) составила 652 сут, максимальная текущая наработка — 707 суток. За время эксплуатации оборудования отказов УЭЦН, связанных с МНФБ, не произошло.

Установки ЭЦН с фазопреобразователями 3.30МНФБ5 в комплекте с серийными газосепараторами работали без срыва подач с содержанием свободного газа на приеме фазопреобразователя до 86,8%, что подтверждает эффективность использования данного типа оборудования. Ревизия поднятых установок ЭЦН+МНФБ показала, что в большинстве случаев МНФБ не требовали ремонта и были пригод-

Таблица 1

Основные характеристики фазопреобразователей МНФБ

Тип модуля	Условное обозначение модуля длиной 3 м для комплектации серийным входным модулем или газосепаратором*	Особенности конструкции модуля	Диапазон номинальных подач комплектуемых насосов, м³/сут	Допускаемое содержание свободного газа на входе модуля (газосепаратора), %
Тип 1	1.30 МНФБ(К)-Д 5-50 АСП	На базе радиальных компрессионно-диспергирующих ступеней (НДС), конструкция пакетной сборки ступеней	15–30	30–40 (55–65)**
	1.30МНФБ(К)-П5-125 АСП		35–80	
	1.30МНФБ(К)-Д5.1 -150 АСП		30–125	
	1,30МНФБ(К)-Д5А-60 АСП		25–35	
	1.30МНФБ(К)-Д5А-150 АСП		45–100	
Тип 2	2.30МНФБ(К)-5А-400 АСП	На базе диагональных ступеней, конструкция пакетной сборки ступеней	60–200	35–50 (65–75)**
	2.30МНФБ(К)-5А-700 АСП		160–500	40–60 (70–80)**
Тип 3	3.30МНФБ(К)-5-250 АСП-БП	На базе осевых ступеней, конструкция пакетной сборки ступеней	80–200	50–70 (70–90)**
	3.30МНФБ(К)-5А-420 АСП-БП		125–320	

* обозначение фазопреобразователей длиной 4 м: –01; длиной 5 м: –02
** в комплекте с газосепаратором

Таблица 2

Предельное газосодержание на приеме фазопреобразователя нового типа

Обозначение фазопреобразователя	Содержание свободного газа на входе, %
3.30МНФБ(К)-5-100АСП-БП(–01),(-02), (-03)	До 40-60 (70–80)*
3.30МНФБ(К)-5-400АСП-БП(–01),(-02), (-03)	До 70 (80–90)*
3.30МНФБ(К)-5А-700АСП-БП(–01),(-02), (-03)	До 70 (80–90)*

* в комплекте с газосепаратором

ны для дальнейшей эксплуатации в скважинах. В то же время во многих УЭЦН наблюдался 100%-ный износ шайб рабочих колес ЭЦН. Последнее обстоятельство объясняется использованием насосов с «плавающими» рабочими колесами, тогда как все МНФБ изготавливаются по схеме пакетной сборки.

По результатам подконтрольной эксплуатации рекомендовано продолжить использовать данный тип фазопреобразователей и расширить область их применения.

Мы начали работу по расширению линейки серийно выпускаемых фазопреобразователей (рис. 2). Новые мультифазные модули комплектуются только осевыми ступенями, выполнены по схеме пакетной сборки, имеют исполнения с условными длинами 2, 3, 4 и 5, могут использоваться с входным модулем или газосепаратором (табл. 2). Для УЭЦН габарита 5 — это 3.30МНФБ-5-100АСП и 3.30МНФБ-5-400АСП, для габарита 5А — 3.30МНФБ-5А-700АСП.

Фазопреобразователи 3.30МНФБ-5-100АСП комплектуются с насосами номинальной производительностью до 80 м³/сут. При этом предельное содержание

Рис. 1. Движение УЭЦН с 3.30МНФБ в ОАО «ТНК-Нягань»

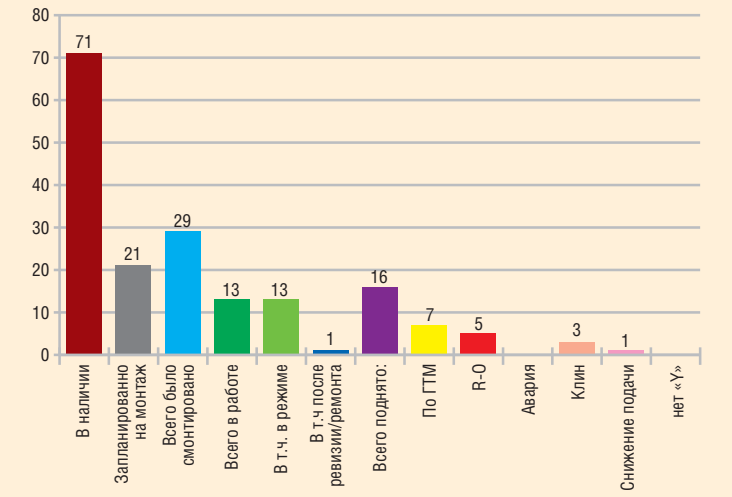


Рис. 2. Области применения МНФБ в габаритах 5 и 5А

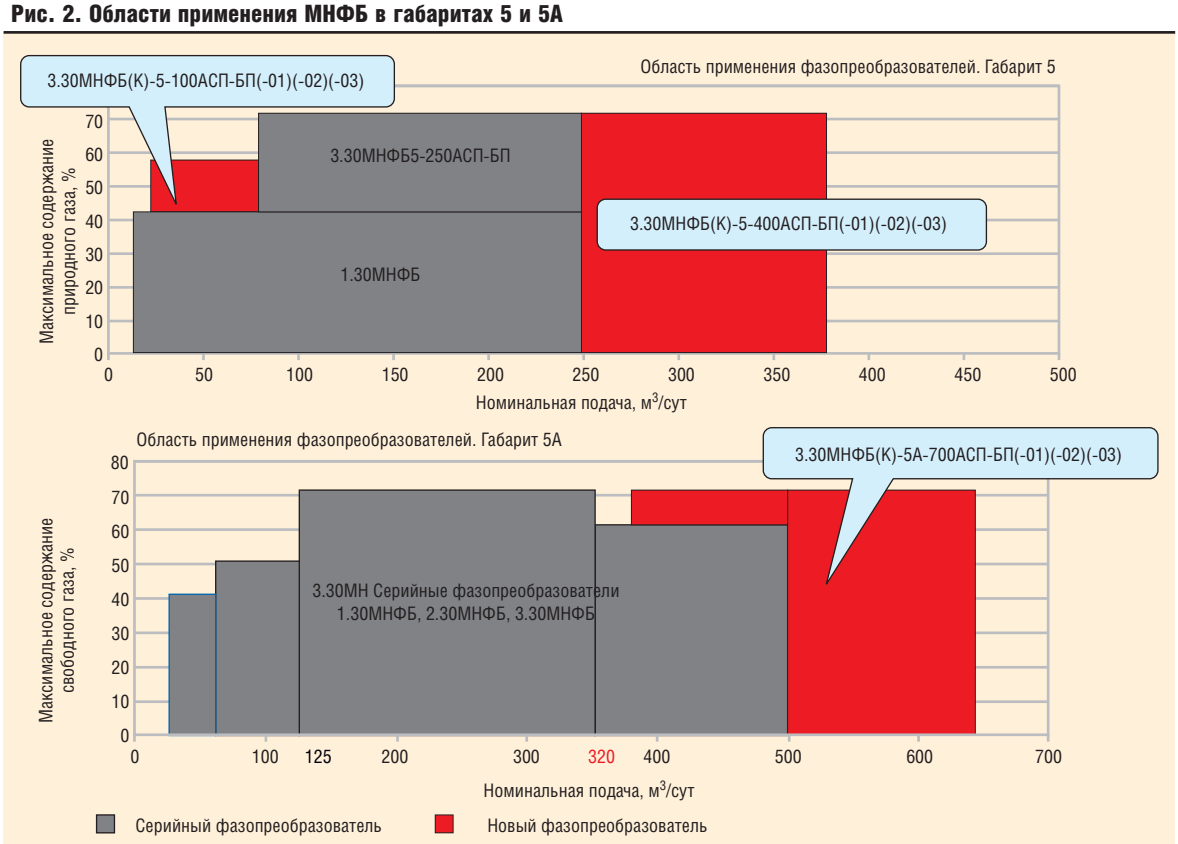


Таблица 3

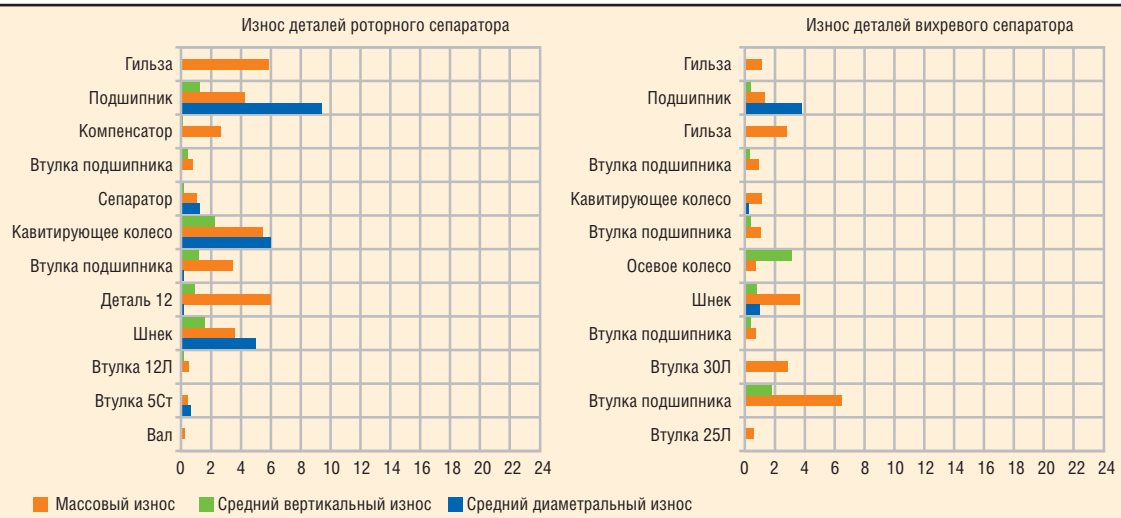
Рекомендуемая комплектация для новых фазопреобразователей

Обозначение модуля	Условная длина модуля, м	Наименование насосов, комплектуемых с МНФБ
3.30МНФБ(К)-5-100АСП-БП -01, -02	3	ЭЦНД(П)5-60, ЭЦНД(П)5-80
	4	ЭЦНД(П)5-45, ЭЦНД(П)5-50, ЭЦНД(П)5-60
	5	ЭЦНД(П)5-25, ЭЦНД(П)5-30, ЭЦНДП5-35, ЭЦНД5-45
3.30МНФБ(К)-5-400АСП-БП, -01, -02, -03	2, 3	ЭЦНД5.1-200
	4, 5	ЭЦНМ5-300 (новая продукция)
3.30МНФБ(К)-5А-700АСП-БП, -01, -02, -03	2, 3	ЭЦНМИК5А-600
	4	ЭЦНМИК5А-500, ЭЦНМИК5А-600
	5	ЭЦНД5А-400, ЭЦНМИК5А-500

свободного газа на входе увеличивается с 40 до 55%. Фазопреобразователь 3.30МНФБ-5-400АСП работает с насосами номинальной подачей от 200 до 300 м³/сут и предельным газосодержанием до 70%. 3.30МНФБ-5А-700АСП создан для использования в установках ЭЦН с номинальной подачей 400–600 м³/сут при предельном содержании свободного газа до 70%.

Для повышения энергоэффективности установок рекомендуется подбирать насос в зависимости от длины фазопреобразователя, также целесообразно снижать мощность фазопреобразователя, то есть уменьшать его длину и количество ступеней. С другой стороны, снижение длины фазопреобразователя может привести к недостаточности сжатия свободного газа на входе и, соответственно, к срыву подачи оборудо-

Рис. 3. Результаты сравнительных ресурсных испытаний роторного 310МН-ГСЛ5ИМ и вихревого ГС5-1В газосепараторов

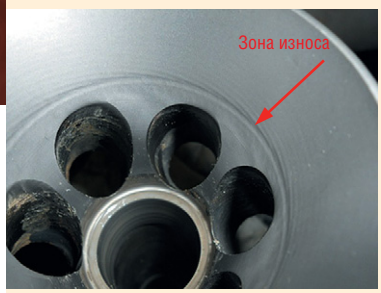


Газосепаратор	Износостойкость узлов, %	Износостойкость гильзы, %
МН-ГСЛ5ИМ	86	23
ГС5-1В	91	76

Рис. 4. Пример результатов разборов поднятых газосепараторов

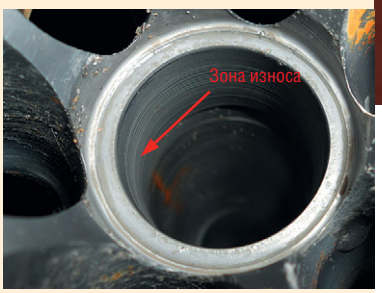
Рис. 5. Ресурсные испытания, выполненные в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина на различных частотах в 2011 г.

Ресурсные испытания при частоте 3600 об/мин (содержание мехпримесей – до 40 г/л)



Основание

Шнек



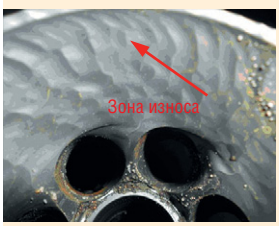
Твердосплавная втулка подшипника

Первое рабочее колесо

Второе рабочее колесо

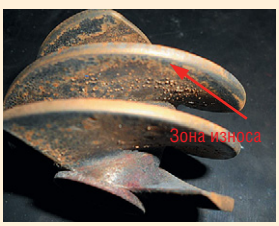
Гильза

Ресурсные испытания при частоте 4500 об/мин (содержание мехпримесей – до 40 г/л)



Основание

Шнек



Шнек

Второе рабочее колесо

Первое рабочее колесо

Гильза

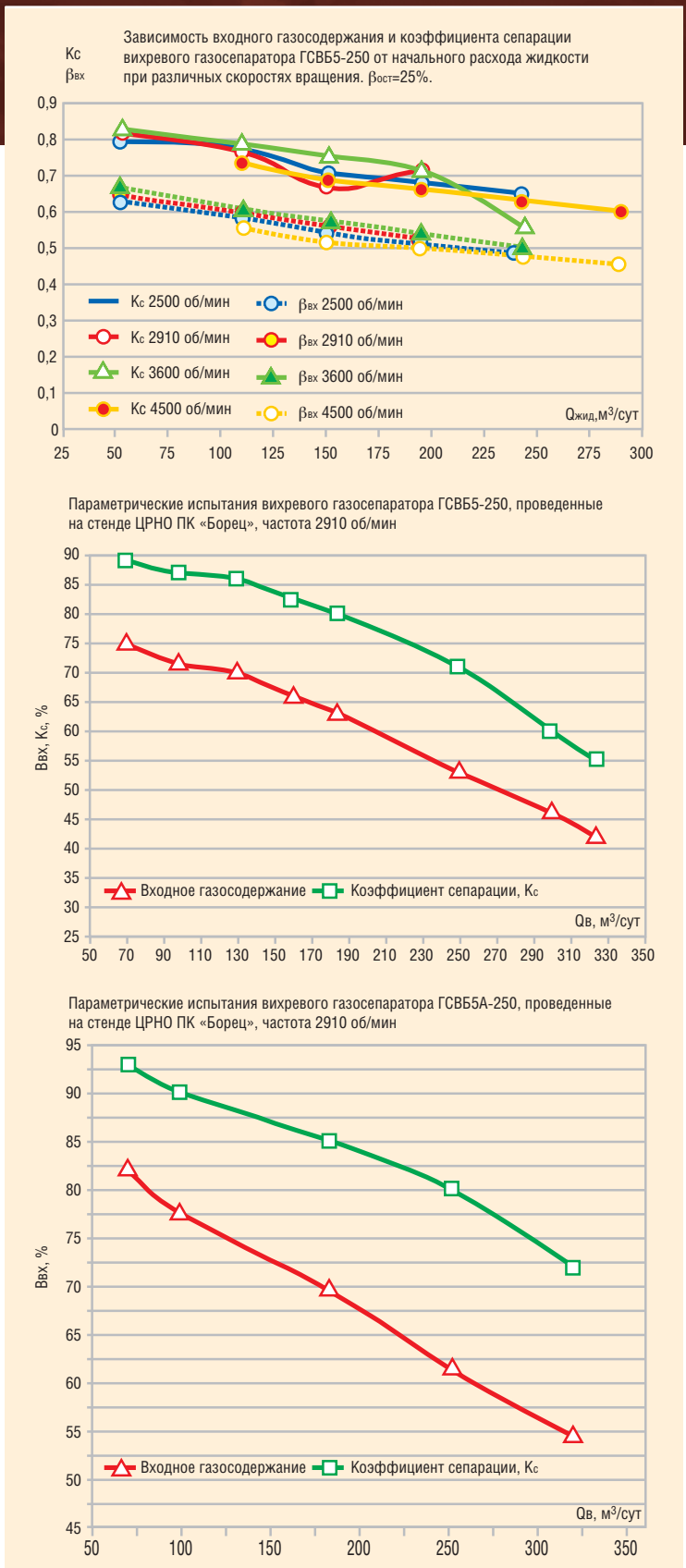
Рассекатель

вания. Поэтому мы предлагаем длину фазопреобразователя выбирать в зависимости от газового фактора и подачи комплектуемого насоса (табл. 3).

ВИХРЕВЫЕ ГАЗОСЕПАРАТОРЫ ГСВБ5-250

Конструкция вихревого газосепаратора была разработана в нашей компании три года назад и обозначалась ГС5-1В. В соответствии с новыми требованиями ТНК-ВР обозначение было изменено на ГСВБ5-250, где 250 обозначает максимальную подачу комплектуемого насоса. Данный тип газосепаратора отличает оптимальная геометрия рабочих органов, которые создают свободный вихрь в вихревой камере и обеспечивают высокие сепарационные свойства, превышающие аналогичные показатели серийных роторных газосепараторов. Кроме того, ГСВБ5-250 обладает высокой абразивостойкостью за счет отсутствия сепарационного барабана и оптимальной кон-

Рис. 6. Параметрические испытания, проведенные в РГУ им. И.М. Губкина



струкции деталей, уменьшающих гидравлическое сопротивление потоку и, соответственно, снижающих их износ (рис. 3). По желанию заказчика могут быть изготовлены вихревые газосепараторы, рассчитанные на использование в установках ЭЦН с подачей, превышающей 250 м³/сут.

Конструкция газосепаратора прошла полный цикл независимых стендовых и полевых испытаний, оценивающих его работоспособность. Испытания проводились в три этапа.

Первый этап испытаний проводился в 2010 году в РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина и включал сравнительный анализ вихревого газосепаратора и серийного роторного газосепаратора, выпускаемых компанией «Борец». Испытания проводились с секцией ДМС5-50 в два цикла продолжительностью по 10 часов каждый. Условия испытаний были следующими: частота вращения 2910 об/мин, содержание мехпримесей постоянно увеличивалось от 2 г/л в первый час до 40 г/л — в последний, состав абразива: смесь кварцевого песка и проппанта в соотношении 50:50.

В ходе испытаний установлено, что скорость износа гильзы газосепаратора 310МН-ГСЛ5ИМ при КВЧ в 200 мг/л в самом тонком месте составляет 0,375 мкм/ч, что в три раза превышает аналогичный показатель для ГС5-1В (0,125) мкм/ч, а прогнозируемая наработка до полного прорезания гильзы для серийного ГС почти в три раза меньше, чем для вихревого: 13333 против 38400 ч. Суммарная (по всем основным деталям) износостойкость вихревого газосепаратора выше серийного на 5%, а износостойкость наиболее проблемной детали — защитной гильзы — выше на 53%.

На основании результатов инструментального контроля и разбора ГС, можно сделать вывод, что в ряду роторных газосепараторов 5-й габаритной группы 310МН-ГСЛ5ИМ обладает износоустойчивостью выше средней, а вихревой газосепаратор ГС5-1В обладает высокой износостойкостью и пригоден для внедрения в скважинах с высокой КВЧ.

Второй этап — ОПИ пяти газосепараторов ГСВБ5-250(ГС5-1В) в «РН-Юганскнефтегазе», которые проводились в 2010–2011 годах (табл. 4).

По состоянию на 07.02.2012 из пяти спущенных газосепараторов в работе остались два, при этом три извлеченных ГС, а именно: № Е100301579, Е100301580, Е100301581 были повторно спущены без замены деталей. СНО установок с подконтрольными газосепараторами составляет 239 сут. Отказов по вине подконтрольного оборудования не было (рис. 4).

В заключении по результатам подконтрольной эксплуатации сказано: «…на основании положительного результата подконтрольной эксплуатации признать опытно-промысловые испытания вихревых газосепа-

Таблица 4

Данные из акта №12-089 от 07.02.2012 г. «Заключение о подконтрольной эксплуатации вихревых газосепараторов производства ООО «ПК «Борец»

№ скв.	Месторождение	Заводской №	Дата запуска	Дата остановки	Причина остановки	Наработка, сут	Средняя КВЧ, мг/л	Состояние
6945	Приразломное	Е100301578	23.02.11	07.12.12	ГТМ	317	428,7	Поднят
286	Приразломное	Е100301579	25.11.10	14.07.11	ГТМ	231	307	Поднят
6939	Приразломное		23.08.11	-	-	167	418	В работе
6809	Приразломное	Е100301580	21.09.10	26.09.10	с/п	5	592	Поднят
6836	Приразломное		03.11.10	25.08.11	ГТМ	291	429	Поднят
6738	Приразломное	Е100301581	02.10.10	27.12.10	ГТМ	86	488	Поднят
6921	Приразломное		19.01.11	-	-	382	416	В работе
5626	Приразломное	Е100301582	21.11.10	31.01.12	Нет подачи	436	402	Поднят

раторов ГС5-1В (ГСВБ5-250) производства ООО «ПК «Борец» успешными и рекомендовать их применение для эксплуатации в скважинах ООО «РН-Юганскнефтегаз».

Третий этап — проведение в 2011 году ресурсных и параметрических испытаний вихревого газосепаратора на различных частотах вращения вала (2500, 3600 и 4500 об/мин) на стенде РГУ им. И.М. Губкина. Ресурсные испытания проводились совместно с секцией ДМС5-50, параметрические — с секцией ДМС5-125. Остальные условия были аналогичны первому этапу испытаний.

На рис.5 представлены фотографии деталей после проведения ресурсных испытаний. При частоте 3600 об/мин и КВЧ до 40 мг/л износ оказался незначительным: все основные рабочие органы можно использовать в дальнейшей работе, кроме твердосплавных втулок подшипников, которые нуждаются в замене. Во втором случае, при частоте 4500 об/мин, видно, что зоны износа увеличились: внутренняя поверхность основания начала изнашиваться, также заметен износ кромок лопаток шнека, рабочих колес и внутренней поверхности гильзы.

Результаты параметрических испытаний газосепаратора ГСВБ5-250 при частотах вращения вала от 2500 до 4500 об/мин, выполненных в РГУ им. И.М. Губкина, и характеристики при частоте 2910 об/мин, полученные на стенде ПК «Борец» (рис. 6), со своей стороны свидетельствуют о том, что наибольший коэффициент газосепарации достигается при частотах вращения в диапазоне от 3000 до 3500 об/мин. Также мы видим, что сепарационные характеристики нового вихревого газосепаратора в габарите 5А, находящегося в настоящее время в стадии освоения, превышают сепарационные свойства вихревого газосепаратора в габарите 5.

По результатам всех трех этапов испытаний мы сделали следующие выводы.

1. Вихревой газосепаратор ГСВБ5-250 обладает повышенной надежностью за счет отсутствия сепарационного барабана и применения деталей оптимальной конструкции, уменьшающих гидравлическое сопротивление потоку и, соответственно, снижающих их износ.

Рис. 7. Максимальное допустимое содержание свободного газа на входе в насос (при 2910 об/мин)

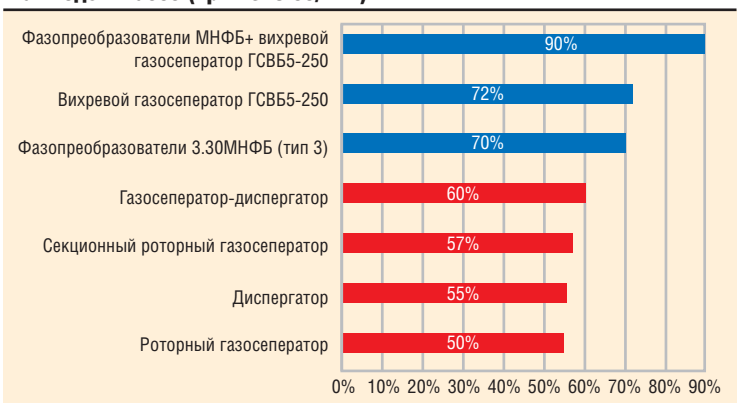
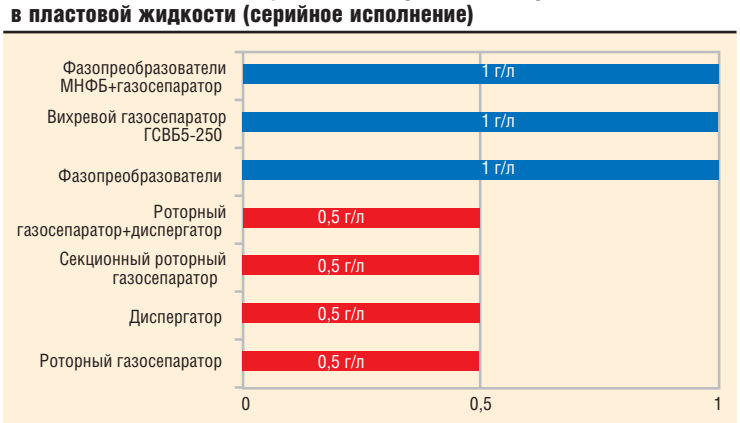


Рис. 8. Максимально допустимое содержание мехпримесей в пластовой жидкости (серийное исполнение)

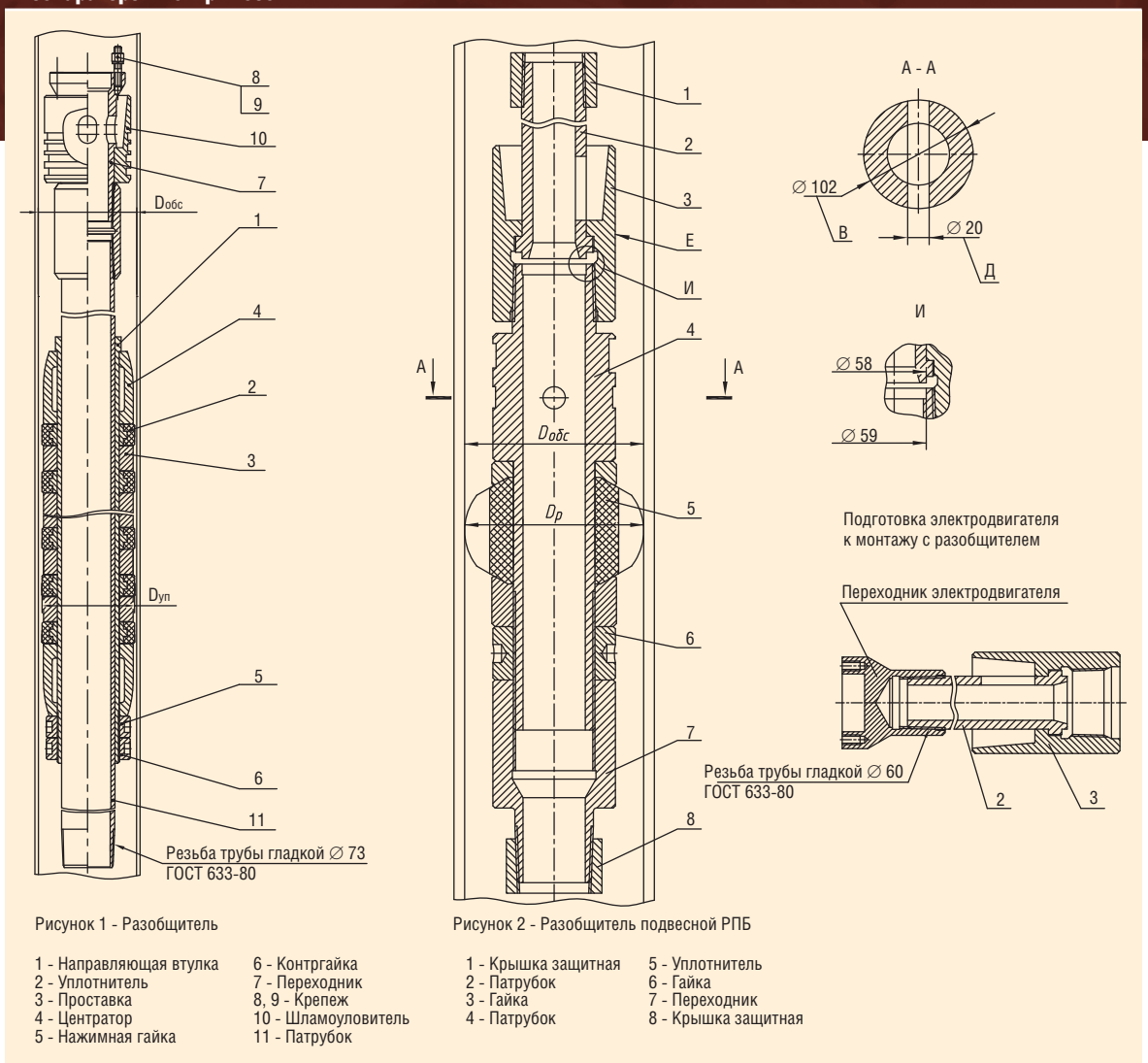


2. ГСВБ5-250 предназначен для эксплуатации в пластовой жидкости с содержанием мехпримесей до 1 г/л при частоте вращения вала до 3500 об/мин.

3. При частоте вращения вала от 3500 до 4500 об/мин ГСВБ5-250 может эксплуатироваться с содержанием мехпримесей в пластовой жидкости до 0,5 г/л.

4. Сепарационные свойства вихревого газосепаратора ГСВБ5-250 превышают, аналогичные показатели серийных роторных газосепараторов.

Рис. 9. Принципиальные схемы новой и старой конструкций разобщителей для подвесных фильтров и сепараторов мехпримесей



5. Вихревой газосепаратор ГСВБ5-250 обладает максимальными сепарационными свойствами в интервале частот от 2910 до 3500 об/мин.

Вихревой газосепаратор и фазопреобразователь третьего типа обладают наилучшими характеристиками среди всей номенклатуры оборудования для борьбы с высоким содержанием попутного газа и могут работать при газосодержании до 70% (рис. 7). Кроме того, фазопреобразователи и вихревые газосепараторы обладают наиболее высокой стойкостью к механическому износу по сравнению с другими устройствами, обеспечивающими работу УЭЦН в условиях высокого газосодержания (рис. 8).

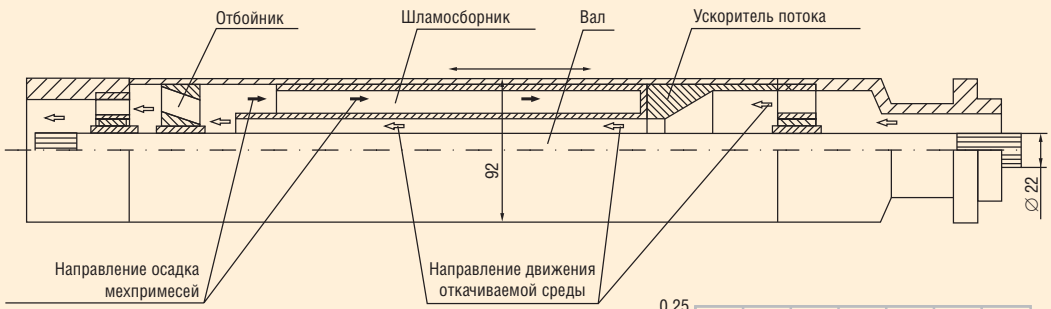
НОВЫЕ КОНСТРУКЦИИ РАЗОБЩИТЕЛЯ ДЛЯ ПОДВЕСНЫХ ПРОТИВОПЕСОЧНЫХ ФИЛЬТРОВ И СЕПАРАТОРОВ МЕХПРИМЕСЕЙ

Основная особенность новой конструкции разобщителя заключается в обеспечении регулировки гайкой 5 (рис. 2. — Разобщитель подвесной РПБ) наружного диаметра уплотнителя D_p в диапазоне диаметров обсадных колонн (при этом не требуется перебирать разобщитель), благодаря чему сокращается время, затрачиваемое на подготовку разобщителя к монтажу (рис. 9). При применении разобщителя новой конструкции снижается вероятность заклинивания при СПО за счет применения более пластичной резины уплотнителя: относительное удлинение новой резины составляет 250%, а старой — 130%.

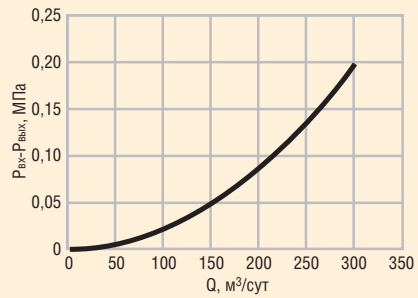
На этом преимущества новой конструкции не заканчиваются. За счет ее применения уменьшается вероятность среза уплотнителя благодаря тороидальной формы поверхности контакта уплотнителя, достигается повышенная надежность крепления к основанию электродвигателя. Кроме того, достигается сокращение номенклатуры запасных и сменных частей.

Для защиты насосов от мехпримесей разработан модульный сепаратор мехпримесей-шламосборник в

Рис. 10. Сепаратор мехпримесей-шламосборник МСШБ5(5А)



Габарит	Максимальная подача через модуль, м³/сут	Емкость шламосборника, л
5	250	11,5
5 А	500	17,5



габарите 5, рассчитанный на подачу до 250 м³/сут, и в габарите 5А — до 500 м³/сут (рис. 10). Сепаратор устанавливается между приемным модулем и насосной секцией ЭЦН. Объем шламосборника в габарите 5 равен 11,5 л, в габарите 5А — 17,5 л, что в 3–4 раза превышает объем существующих на рынке аналогов. При необходимости увеличения объема емкости шламосборника возможна установка нескольких модулей. Также данный тип шламосборника можно применять на скважинах после ГРП. При заполнении шламосборника насос будет по-прежнему работать, хотя и с утратой сепарационных свойств модуля.

В 2012 году планируется разработка сепараторов мехпримесей-входных модулей в габарите 5 и 5А.

ВЫДЕРЖКИ ИЗ ОБСУЖДЕНИЯ

Вопрос: *Владимир Витальевич, как я понимаю, у фазопреобразователей есть дополнительный напор, который надо учитывать при расчете компоновки. Это где-либо отражено?*

Владимир Герасимов: Конечно, существует методика подбора фазопреобразователей, где сказано, при каком содержании газа на входе насоса и какой процент от суммарного напора фазопреобразователя учитывается при суммарной комплектации установки. Это утвержденный документ компании «Борец».

Вопрос: *И второй вопрос по вихревым газосепараторам. Вы их уже производите?*

В.Г.: Да, опытная партия уже отгружена в «РН-Юганскнефтегаз». Так что и вы можете их заказать.

Вопрос: *Значит, мы можем уже на первое полугодие заказать, скажем, десять-двадцать газосепараторов для проведения ОПИ в наших условиях?*

В.Г.: В принципе можно в рамках серийных поставок. Единственное, необходимо согласовать сроки и количество…

Вопрос: *Если засорился шламосборник, то что происходит в дальнейшем?*

В.Г.: Установка продолжает работать в том же режиме, но сепарационных свойств в шламосборнике не будет.

Вопрос: *То есть срабатывает клапан?*

В.Г.: Нет, нет там никакого клапана. Просто неочищенная жидкость поступает дальше в ЭЦН. Основное назначение сепараторов мехпримесей-шламосборников — использование в скважинах, в которых имеются кратковременные выбросы мехпримесей.

Вопрос: *Скажите, пожалуйста, существуют ли экспериментальные, стендовые напорно-расходные и энергетические характеристики фазопреобразователей? Не те диаграммы, которые Вы показали в презентации, а зависимость напора от подачи, КПД и разных значений газосодержания.*

В.Г.: Да, конечно, существуют. Характеристики всех фазопреобразователей при нулевом газосодержании приведены в ТУ и РЭ. Характеристики фазопреобразователей вместе с комплектуемой нижней насосной секцией при различном содержании свободного газа на входе приведены в РЭ. При поставке оборудования к паспорту прикладываются характеристики модуля, полученные на стенде при нулевом газосодержании.

Все фазопреобразователи проходили стендовые испытания с различными насосными секциями. И мы в соответствии с методикой получили значение содержания свободного газа на входе и фиксировали, когда происходит срыв подачи. Вообще, понятие «срыв подачи», конечно, очень условное. Мы условно принимали за начало процесса срыва подачи снижение напора на 15% при последовательном дискретном добавлении в систему определенного объема свободного газа по сравнению с напором при нулевом газосодержании, а за окончание процесса — резкое снижение параметров насоса (напор, расход, КПД) при дальнейшем дискретном добавлении газа.