

# ОБЛАСТИ ПРИМЕНЕНИЯ МУЛЬТИФАЗНЫХ НАСОСОВ И ГАЗОСЕПАРАТОРОВ

При эксплуатации УЭЦН в условиях, когда на входе в установку имеется нерастворенный газ и абразивные частицы, нетривиальным становится вопрос о выборе предвключенного устройства: газосепаратора или мультифазного насоса.

**Д**авление в скважинной жидкости уменьшается по мере ее движения вверх по стволу. Как только оно сравнивается с давлением насыщения, в скважинной жидкости появляются пузырьки газа, ухудшающие рабочие характеристики ЭЦН. Поэтому все чаще УЭЦН оснащаются предвключенными газосепараторами или мультифазными насосами. Статья посвящена проблеме выбора типа предвключенных устройств.

## Абразивостойкие газосепараторы

Центробежный газосепаратор является классическим и наиболее широко распространенным предвключенным устройством, предназначенным для уменьшения вредного влияния нерастворенного газа на работу ЭЦН. Принцип его работы заключается в центробежном отделении газа от жидкости и сбросе газа в затрубное пространство. Отметим основные проблемы, возникающие при применении газосепараторов:

- В самом принципе работы газосепаратора заложен главный недостаток этого устройства — за счет центробежных сил не только отделяется газ от жидкости, но и твердые частицы отбрасываются к стенкам защитной гильзы. Там частицы захватываются вихрями, всегда имеющимися в газосепараторах традиционной конструкции со шнеком постоянного шага и кавернообразующим колесом. Вихри повышают локальную концентрацию частиц в десятки раз, что ведет к быстрому износу защитной гильзы, вплоть до сквозного перерезания корпуса;

- Распространенным осложняющим фактором является отложение солей в насосах. Сброс углекислого газа в затрубье, т.е. понижение его концентрации в сме-



**СЕРГЕЙ ПЕЩЕРЕНКО**  
Начальник Инженерно-технического центра «Новомет», доктор физико-математических наук



**АЛЕКСЕЙ ДОЛГИХ**  
Инженер-исследователь ИТЦ ЗАО «Новомет-Пермь»

си, проходящей через насос, ускоряет отложение солей;

- Применение газосепараторов в скважинах с вышеустановленными пакерами требует либо установки перепускного клапана, либо струйного насоса, что уменьшает надежность УЭЦН;

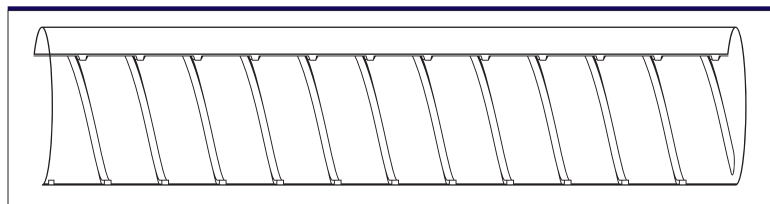
- Нельзя устанавливать газосепаратор на горизонтальных участках скважин: сбрасываемая в затрубье газожидкостная смесь всегда содержит твердые частицы, поэтому происходит постепенное засорение ими этого участка, вплоть до невозможности последующего извлечения установки.

На сегодняшний день компания «Новомет-Пермь» выпускает две конструкции газосепараторов, защищенные от абразивного износа: с винтовой гильзой [1] и геликоидальным шнеком [2].

Конструкция с винтовой гильзой имеет повышенную абразивную стойкость. Она может быть применена в любом центробежном сепараторе, содержащем шнек. Ее особенностью является наличие спиральных лопастей на внутренней поверхности гильзы (см. рис.1). Скелетная линия этих лопастей закручена по отношению к лопастям шнека в противоположную сторону. Жидкость, взаимодействуя с лопастями на гильзе, порождает вихревую дорожку вдоль стенок гильзы, препятствующую контакту абразивных частиц с поверхностью гильзы.

Газосепаратор с геликоидальным шнеком следует рассматривать скорее как новый тип газосепаратора. Геликоидальный шнек (см. рис.2) имеет переменный шаг, а его лопасти в меридиональном сечении (плос-

Рис.1 Конструкция гильзы со спиральными лопастями на внутренней поверхности



костью, проходящей через ось вращения) образуют с осью вращения постоянный или монотонно уменьшающийся от входа к выходу угол. Данная конструкция имеет повышенную абразивную стойкость благодаря тому:

- Геометрия проточных каналов оптимизируется так, чтобы минимизировать образование крупных вихрей (соизмеримых с шириной проточного канала), концентрация абразивных частиц в которых может в десятки раз превышать среднюю концентрацию. В таких условиях защитная гильза изнашивается равномерно по всей длине.

- Лопасти сепарационного шнека наклонены так, что центробежные силы, возникающие при вращении, прижимают абразивные частицы к его лопастям. Силы трения между частицами и лопастями препятствуют их перемещению к корпусу газосепаратора.

На рис.3-5 приведены результаты стендовых исследований газосепараторов различных конструкций. Условия проведения исследований подобраны таким образом, что 40 часов на стенде соответствуют одному году в скважине.

Как видно из представленных результатов, защитная гильза через 100 часов полностью перерезается в районе напорного шнека.

У газосепаратора с винтовой гильзой в первую очередь изнашивается винтовая бурт на защитной гильзе, и только после этого начинается износ тела гильзы. При этом износ винтового бурта идет значительно медленнее, чем износ гладкой гильзы.

Скорость износа защитной гильзы газосепаратора с геликоидальным шнеком сопоставима с аналогичными результатами винтовой гильзы в первые 100 часов, но при дальнейшей работе она будет примерно в три раза ниже, т.к. износ винтовой гильзы ускорится после полного износа винтового бурта.

Как уже упоминалось выше, одной из проблем при использовании газосепаратора является интенсификация солеотложений в установке, вызванная сбросом углекислого газа в затрубье.

Для решения данной проблемы мы рекомендуем использовать разработанную ЗАО «Ново-

мет-Пермь» комплексную систему защиты УЭЦН, которая включает в себя:

- контейнер для подачи твердого или жидкого ингибитора [3];
- методику подбора контейнера к условиям скважины;
- мониторинг выноса ингибитора на устье скважины.

Методика подбора основывается на имитационной модели выноса ингибитора из контейнера в скважинных условиях и позволяет получить зависимость концентрации ингибитора от времени работы. Модель разработана средствами вычислительной гидродинамики и использует уравнения турбулентного течения жидкости, растворения и диффузионного переноса ингибитора.

Мониторинг выноса ингибитора на устье скважины осуществляется путем определения концентрации ингибитора в перекачиваемой жидкости и позволяет контролировать работу контейнера.

### Осевые мультифазные насосы

Газ и жидкость отличаются по плотности примерно в 1000 раз. В ЭЦН перекачиваемая газожидкостная смесь вращается, поэтому возникают центробежные силы, сепарирующие газ и жидкость. Сталкиваясь, газовые пузырьки объединяются. Чем неоднороднее газожидкостная смесь, тем сильнее ухудшаются рабочие характеристики ЭЦН.

В погружных осевых насосах (см. рис.6) центробежные силы существенно меньше, чем в ЭЦН. Поэтому характеристики осевых насосов меньше деградируют при появлении в перекачиваемой жидкости нерастворенного газа, а погружные осевые насосы еще называют мультифазными насосами (МФН).

МФН включается перед основным насосом, т.е. ЭЦН, и подбирается так, чтобы он мог прокачать газожидкостную смесь через основной насос. Это предотвратит образование в основном насосе неподвижных газовых пробок и срыв подачи. Из-за несоизмеримости создаваемого МФН давления с давлением на приеме

Рис.2 Геликоидальный шнек переменного шага 1, состоящий из втулки 2 с винтообразными лопастями 3, наклоненными в сторону потока жидкости

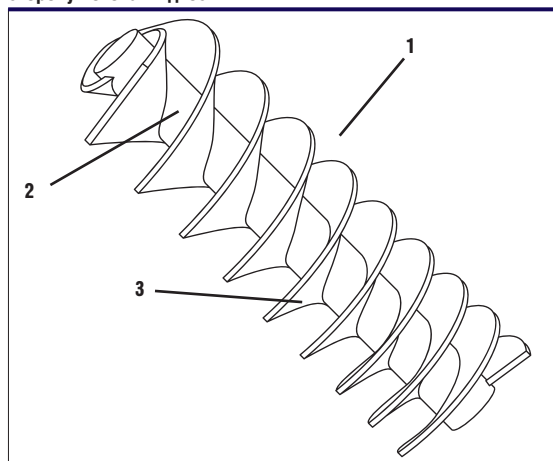
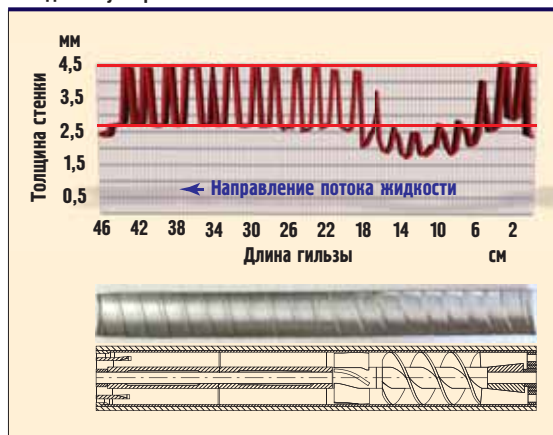


Рис.3 Износ защитной гильзы газосепаратора с гладкой гильзой после 100 часов стендовых ускоренных испытаний



Рис.4 Износ винтовой гильзы газосепаратора после 100 часов стендовых ускоренных испытаний



установки он практически не сжимает свободный газ. Поэтому весь свободный газ проходит через основной насос, снижая развиваемое им давление, что в какой-то мере компенсируется газлифт-эффектом в НКТ. Однако

Рис.5 Износ гильзы и сепарационного шнека геликоидального газосепаратора после 100 часов стендовых ускоренных испытаний



Рис.6 Ступень погружного мультифазного насоса

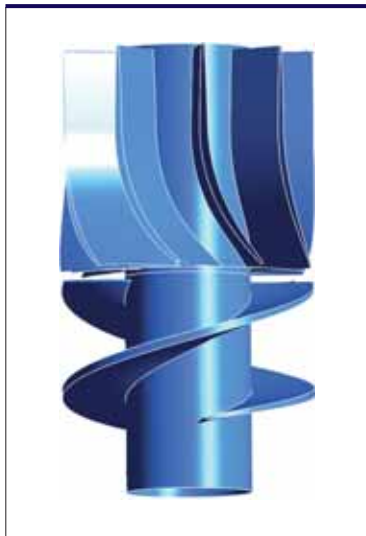


Рис.7 Напорно-расходная характеристика ВННЗ-40 на ГЖС при 2850 об./мин

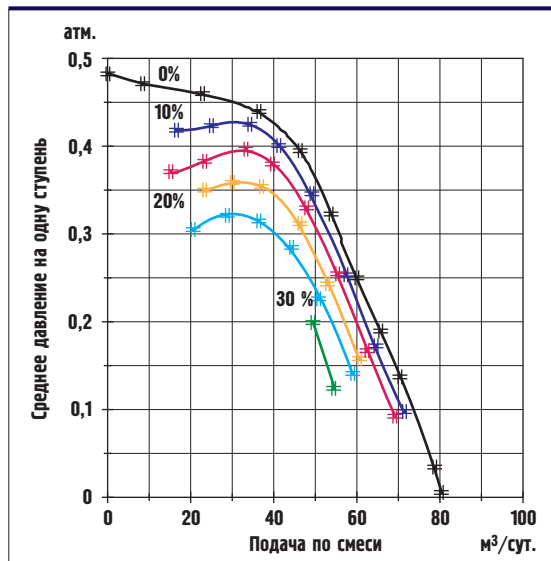
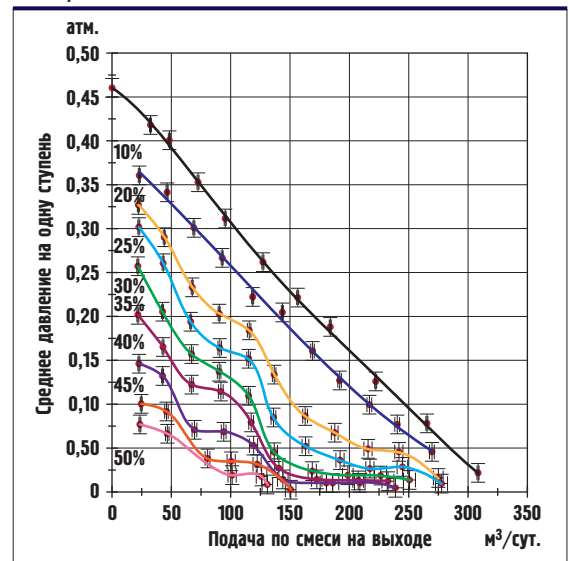


Рис.8 Напорно-расходная характеристика МФН 3 габарита на ГЖС при 2850 об./мин



часто газлифт-эффект не полностью компенсирует снижение давления основного насоса, поэтому требуется увеличить число ступеней основного насоса.

На рис.7 и 8 сопоставлены характеристики ВННЗ-40 и МФН 3-го габарита на газо-жидкостных смесях при давлении на входе в установку ~3 атм. В скважинных условиях давление будет порядка 30–50 атм, что существенно улучшит характеристики обоих насосов.

Как видно из рис.7 и 8, ВННЗ-40 сохраняет работоспособность только до 25% газа, в то время как МФН — до 50% газа (при низком входном давлении).

При 30% газа характеристика ВНН вырождается в линию близкую к вертикальной. Погружной насос с такой узкой областью подачи невозможно использовать для добычи нефти.

В разработанных нами МФН при увеличении концентрации нерастворенного газа смещается только правая граница диапазона подач, в которых МФН создает давление. При проектировании МФН правая граница выбирается так, чтобы при ее смещении из-за увеличения концентрации газа сохранялся достаточно широкий диапазон подач, в которых МФН создает напор и препятствует образованию неподвижных газовых пробок в основном насосе. Следовательно, МФН противодействует сужению рабочего диапа-

зона подач ЭЦН на газо-жидкостных смесях.

Отметим, что характеристики всех насосов на газо-жидкостных смесях (как ЭЦН, так и МФН) зависят от концентрации ПАВ в перекачиваемой среде. В чистой нефти содержится природный ПАВ, концентрация которого с увеличением обводненности снижается. ПАВ препятствует объединению мелких пузырьков газа в более крупные.

МФН обладает целым рядом преимуществ, а именно:

- Увеличение кпд и напора УЭЦН происходит за счет газлифт-эффекта в НКТ, т.к. содержащийся в добываемой продукции нерастворенный газ не выбрасывается в затрубное пространство;
- Стабилизация токовой диаграммы ПЭД достигается из-за предотвращения пульсаций напора и расхода при повышенном содержании газа;
- Возможна работа в условиях, где применение газосепаратора ограничено либо невозможно (наличие пакера, горизонтальные участки и другие).

В заключение кратко обсудим проблему выхода на рабочий режим УЭЦН, оснащенной МФН, на скважинах, заглуженных солевым раствором. На начальном этапе, когда уже создана депрессия на пласт, но из пласта еще поступает жидкость глуше-

ния со свободным газом, установка работает на смеси вода-газ, а такая смесь (без ПАВ), как мы уже отмечали выше, наиболее негативно влияет на характеристику основного насоса. Срыва подачи основного насоса (ЭЦН) не будет, т.к. мультифазный насос обеспечивает через него прокачку всех газовых пробок, но давления, разводимого ЭЦН, может оказаться недостаточно для подъема жидкости на поверхность, т.к. высоко обводненная жидкость без ПАВ существенно его снижает. В таких случаях рекомендуется использовать ЭЦН с повышенным напором (большим числом ступеней) или добавлять ПАВ в жидкость глушения.

Отдельно хотелось бы остановиться на подборе основного насоса при эксплуатации УЭЦН с мультифазным насосом (см. рис.9).

На рис.9 кривой 2 показана характеристика насоса на чистой жидкости, кривой 5 — характеристика сети, также на чистой жидкости. Таким образом, если бы из скважины выкачивали только жидкость, то мы получили бы расход по жидкости. Когда насос работает на газожидкостной смеси, его характеристика снижается (кривая 3 на рис.9), также изменяется характеристика сети (кривая 4 на рис.9). В результате получаем расход, который всегда меньше.

За счет замены газосепартора мультифазным насосом существенно повысить напорность основного насоса на газо-жидкостной смеси нельзя, т.к. сжатие газа в мультифазном насосе незначительно и практически весь газ поступает в основной насос.

Для повышения дебита жидкости из скважины при наличии нерастворенного газа необходимо применение установки большей напорности (кривая 1 на рис.9), т.е. с большим числом ступеней или на повышенной частоте.

МФН не предназначен для повышения напорности основной установки при работе с нерастворенным газом. Его основными задачами являются:

- обеспечение стабильной бессрывной работы основного насоса УЭЦН в условиях повышенно-

го содержания нерастворенного газа в перекачиваемой смеси;

- повышение энергоэффективности установки за счет снижения удельной (на ед. массы добываемой жидкости) потребляемой мощности (газлифт-эффект в НКТ);

- МФН обеспечивает более высокую надежность УЭЦН, т.к. его абразивная стойкость существенно выше, чем у газосепаратора и основного насоса, а также его применение выравнивает токовую диаграмму ПЭД (т.к. исчезают пульсации подачи и нагрузки).

### Заключение

Ответ на вопрос об областях применения газосепараторов и МФН дает рис.10, где качественно показаны области их применения в зависимости от обводненности и объемной концентрации свободного газа.

Мультифазные насосы обеспечивают работу ЭЦН при малых и средних газосодержаниях, не очень высокой обводненности смеси и практически любой концентрации абразива. В зависимости от обводненности предельная объемная концентрация газа составляет 40–75%. Наибольший эффект достигается при обводненности менее 50%.

Газосепараторы обеспечивают работу ЭЦН при высоких газосодержаниях, при любой обводненности, но только при небольших концентрациях абразива. На смеси с высокой обводненностью газосепаратор специальной конструкции может обеспечить работоспособность до 90–95% газа. Наиболее неблагоприятный вариант применения газосепаратора — высокая концентрация абразива при малом газосодержании.

При очень высоких концентрациях газа в компании «Газпромнефть-ННГ» хорошо себя зарекомендовало совместное использование газосепаратора и МФН.

В данное время ведутся работы по количественной оценке рассмотренных факторов для каждого из типоразмеров оборудования и включению результатов в программу подбора «NovometSel-Pro».

Рис.9 Пример подбора насосной секции

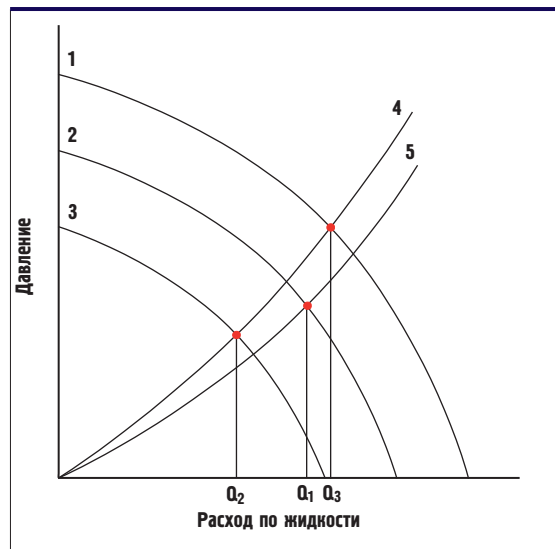
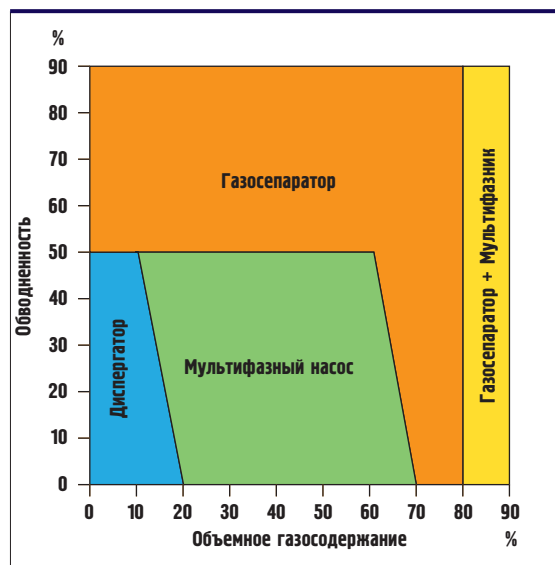


Рис.10 Области применения предвключенных устройств



### Литература

Пещеренко С.Н., Рабинович А.И., Горохов В.Ю. и др. Газосепаратор. Патент РФ №2 327 866, Публикация: 27.06.2008 г. БИ №18  
 Пещеренко С.Н., Рабинович А.И., и др. Абразивостойкий центробежный газосепаратор Патент РФ №2 379 500, Публикация: 20.01.2010 г. БИ №2  
 Антипина Н.А., Пещеренко С.Н., Чебунина А.П., и др. Устройство для подачи ингибитора. Патент РФ №2 382 177, Публикация: 20.02.2010 г. БИ №2