

622.245.13

Д 55

На правах рукописи

УДК 622.245.13(043)

Д 55

ДОБРЕНКОВ АЛЕКСАНДР НИКОЛАЕВИЧ

**РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ
ПОВЫШЕНИЯ ГЕРМЕТИЧНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ
СОЕДИНЕНИЙ ОБСАДНЫХ ТРУБ В ГАЗОВЫХ
СКВАЖИНАХ**

Специальность 25.00.15 – Технология бурения и освоения скважин

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2003

Работа выполнена в обществе с ограниченной ответственностью
«Научно-исследовательский институт природных газов и газовых
технологий – ВНИИГАЗ» (ООО «ВНИИГАЗ»)

Научный руководитель:

Доктор технических наук, профессор А.А. Клюсов

Научный консультант:

Доктор технических наук, профессор В.И. Крылов

Официальные оппоненты:

Доктор технических наук А.А. Цыбин

Кандидат технических наук В.Г. Антонов

Ведущее предприятие: Дочернее общество с ограниченной ответственностью Буровая компания «Бургаз» (ДООО «Бургаз»)

Защита состоится «27» мая 2003 г. в «15» часов на заседании диссертационного Совета Д 212.200.08. при Российском государственном университете нефти и газа им. И.М. Губкина по адресу:

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке РГУ нефти и газа им. И.М. Губкина по адресу: 119991, Москва, ГСП-1, Ленинский пр., 65

Автореферат разослан «24» апреля 2003 г.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы

В процессе строительства как нефтяных, так и газовых скважин одним из наиболее ответственных этапов является крепление ствола скважины. При этом основной задачей является обеспечение необходимой прочности и герметичности обсадных колонн.

Повышение качества крепления скважин, особенно газовых и газоконденсатных, является наиболее актуальной проблемой с точки зрения предупреждения межколонных давлений (далее МКД) как в процессе строительства, так и в процессе эксплуатации скважин. По данным ООО «Ямбурггаздобыча» на Заполярном ГКНМ низкое качество крепления обсадных колонн отмечается в более 70 % пробуренного фонда скважин, что привело к возникновению грифонов и МКД. Из них свыше 20 % скважин с величиной МКД более 4 МПа. Еще более сложная ситуация на Астраханском ГКМ, где из всего эксплуатационного фонда, составляющего 129 скважин, 122 скважины характеризуются МКД 1-4 классов опасности, достигающими 20 МПа. Основной причиной МКД является негерметичность цементного кольца и резьбовых соединений обсадных труб.

Высокие требования к герметичности скважин являются критерием безопасной и безаварийной их эксплуатации. Игнорирование или выполнение не в полном объеме этих требований приводит к серьезным осложнениям, в ряде случаев грозящим перерасти в экологическую катастрофу.

Строительство скважин на газовых и газоконденсатных месторождениях имеет свои особенности: 1) более высокие давления по всей длине обсадной колонны вследствие низкой объемной массы газа, подъем давления до максимума в период остановки скважин, результатом чего могут явиться опасные напряжения в трубах; 2) высокая подвижность и проникающая способность газа по сравнению с другими флюидами, что обязывает предъявлять особые требования к герметичности резьбовых соединений, сварки и т.д.; 3) растворимость газа и насыщение им промывочной жидкости; 4) высокие скорости движения газа по колонне вследствие больших дебитов; 5) вероятность выброса или открытого фонтана в газовой скважине значительно выше, чем в нефтяной.

В предупреждении вышеуказанных осложнений особая роль отводится герметизирующим смазкам отверждаемого типа и конструкциям резьбовых соединений с уплотнением «металл-металл», как одних из наиболее эффективных направлений повышения надежности соединений обсадных труб.

Цель работы

Повышение качества крепления газовых скважин путем усовершенствования способов герметизации соединений обсадных труб.

НТБ
ИФНТУНГ



as264

Основные задачи исследования

- 1 Провести анализ причин газопроявлений и существующих способов герметизации резьбовых соединений обсадных труб.
- 2 Разработать требования к конструкциям резьбовых соединений и отверждаемому герметику с учетом воздействия изгибающих нагрузок.
- 3 Усовершенствовать конструкцию и методику испытаний резьбовых соединений, провести стендовые испытания.
- 4 Исследовать и разработать состав, технологию приготовления и применения резьбового отверждаемого герметика (РОГ).
- 5 Осуществить выпуск и провести опытно-промышленные испытания герметика РОГ.

Научная новизна

- 1 Раскрыт механизм повышения долговечности герметизирующих смазок путем замены электропроводных наполнителей на полимерные диэлектрические.
- 2 Сформулированы и обоснованы принципы получения резьбового отверждаемого герметика (РОГ) на основе использования органического связующего и многофункционального наполнителя.
- 3 Обоснована и экспериментально подтверждена эффективность использования усовершенствованных резьбовых соединений типа «металл-металл» для повышения герметичности обсадных колонн.
- 4 Теоретически обоснована необходимость проведения динамических (термоциклических) испытаний резьбовых соединений обсадных труб при воздействии изгибающей силы.

Практическая значимость и реализация результатов работы

Расширен и обоснован диапазон требований к отверждаемым герметикам и конструкциям резьбовых соединений с учетом изгибающих нагрузок в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах.

По результатам диссертационной работы разработаны:

- усовершенствованные варианты конструкций резьбовых соединений с уплотнением «металл-металл» (патенты РФ №№ 2186284, 2161687, 2167358);
- состав, технология изготовления и применения резьбового отверждаемого герметика (патент РФ № 2110550);
- «Инструкция по применению резьбового отверждаемого герметика (РОГ) для соединений обсадных труб в газовых скважинах»;
- технические условия ТУ 51-00158623-39-97 «Резьбовой отверждаемый герметик - РОГ».
- методика расчета межрезьбовых каналов в соединениях труб с учетом выбора гранулометрического состава наполнителя;
- «Методика испытаний натуральных образцов труб нефтяного сортамента на свинчивание-развинчивание резьбовых соеди-

нений, антизадириных и противоизносных свойств резьбовых смазок);

- «Методика испытаний на герметичность термоциклированием резьбовых соединений труб нефтяного сортамента при наличии изгиба», учитывающая, в отличие от требований API (RP 5C5), влияние изгибающих нагрузок.

Разработанная методика апробирована при выполнении контракта ООО «ВНИИГАЗ» с фирмой Wintershall (Германия).

Изготовлены опытные образцы трубного муфтового резьбового соединения Ø114,3 и Ø168,3 мм и проведены их стендовые испытания, подтвердившие эффективность конструкции. Проведены опытно-промышленные испытания резьбового отверждаемого герметика (РОГ) на объектах БП «Тюменбургаз», треста «Северспецбургаз», АО «Бурсервис» (г. Полтава, Украина), ООО «Геология», ЭСКБ «Геотехника», АООТ «Тяжпрессмаш» и др. Герметик РОГ включен в «Инструкцию по креплению нефтяных и газовых скважин» (РД 39-00147001-767-2000).

Апробация работы

Результаты и основные положения работы докладывались на научных конференциях и семинарах, производственных совещаниях, в том числе на:

- Всероссийской научно-практической конференции «Экологические проблемы и пути решения задач по длительной сохранности недр и окружающей среды на период более 500 лет в зоне ведения геологоразведочных и буровых работ, трубопроводостроения и разработки нефтегазовых месторождений на суше и морских акваториях», г.Тюмень, 19-23 мая 1997г.;
- Международной научно-технической конференции по проблемам газовой промышленности России, посвященной 35-летию СевКавНИПИгаза, г.Ставрополь, 8-12 сентября 1997г.;
- Совещании по состоянию и проблемам капитального ремонта скважин ОАО «Газпром», 16-17 сентября 1999г.;
- Научно-техническом совещании ОАО «Газпром» по креплению скважин, г. Тюмень, сентябрь 2001г.;
- Межотраслевой научно-практической конференции по проблемам заканчивания, бурения и ремонта скважин, г. Анапа, 20-24 мая 2002 г.

Публикации

Основные положения диссертации изложены в 11 печатных работах, в том числе 4-х патентах РФ на изобретение.

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, четырех разделов, основных выводов и рекомендаций, списка использованных источников, включающих

105 наименований. Объем работы 206 страниц, в том числе 42 рисунка и 14 таблиц.

Автор выражает благодарность научному руководителю профессору, д.т.н. А.А. Ключову и научному консультанту профессору, д.т.н. В.И. Крылову, а также признательность зам. нач. Управления по бурению скважин ОАО «Газпром» Рудницкому А.В., д.т.н., проф. Потапову А.Г., к.т.н. Сиротину А.М., к.т.н. Грачеву В.В. за консультации и практическую помощь при выполнении работы, д.т.н., проф. Леонову Е.Г. за полезные советы.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана краткая характеристика содержания диссертации, обоснована актуальность работы, сформулированы цель и задачи, научная новизна и практическая ценность.

В первом разделе проведен анализ причин межколонных и колонных газопроявлений, уплотнительных смазок, существующих способов герметизации резьбовых соединений обсадных труб.

Одним из наиболее опасных видов нарушения герметичности скважин являются пропуски газа через резьбовые соединения. По общему объему газопроявлений на негерметичные резьбовые соединения их приходится до 80% (на разных промысловых объектах цифры могут отличаться, что не снижает остроты проблемы). Даже незначительные пропуски газа в резьбовых соединениях представляют серьезную опасность, особенно для скважин, в составе газа которых содержится сероводород, свободная углекислота и другие агрессивные компоненты. В таблице 1 представлено распределение значений МКД на Астраханском ГКМ и Заполярном ГКНМ.

Таблица 1 - Распределение значений МКД на АГКМ и ЗГКНМ

| Астраханское ГКМ | | Заполярное ГКНМ | |
|------------------|---------------------------------|-----------------|----------------|
| % от ЭФС* | $P_{МК}$, МПа | % от ЭФС | $P_{МК}$, МПа |
| 5 | I кл. < 20,0 с H ₂ S | 12 | 9,0-12,0 |
| 26 | II кл. 5,0-20,0 | 15 | 4,0-9,0 |
| 50 | III кл. 3,0-5,0 | 18 | 1,0-4,0 |
| 19 | IV кл. < 3,0 | 55 | 0,2-1,0 |

* - ЭФС – эксплуатационный фонд скважин.

Повышению качества крепления скважин, в т.ч. герметичности цементного кольца и надежности резьбовых соединений обсадных труб посвящены работы В.Д. Малеванского, С.Н. Удянского, А.А. Ключова, В.И. Крылова, О.К. Ангелопуло, А.А. Ахметова, В.П. Овчинникова, А.А. Гайворонского, Н.Д. Щербюка, Н.В. Якубовского, А.А. Цыбина, Н.С. Дона, Ф.А. Агзамова, В.Н. Полякова, Ю.С. Кузнецова, А.И. Булатова, А.Т.Кошелева, Е.Г. Леонова, А.Г. Потапова, А.А. Фролова, В.Г. Антонова., А.А. Рябокопя, Н.Х. Каримова, Р.Р. Лукманова, Р.К. Ишкаева, Т.Е. Еременко, А.Е. Сарояна, Г.Г. Шинкевича, Г.М. Файна, Г.М. Саркисова,

Л.Б. Измайлова, М.А. Гусейнова, В.В. Грачева, Д.Ю. Мочернюка, С.Ф. Билыка, Х. Мак-Дональда, Р. Пренгмэна, Э. Квадфлига, К. Штретера и многих других, в которых созданы необходимые предпосылки для решения этой проблемы. Однако решение отдельных задач по герметизации резьбовых соединений обсадных труб до сих пор актуально для газодобывающей отрасли России и зарубежных стран.

Основными способами герметизации резьбовых соединений в газовых, газоконденсатных, а также нефтяных скважинах являются: применение консистентных уплотнительных смазок, отверждаемых (полимеризующихся) составов, покрытие поверхностей элементов резьбы мягким металлом (металлизация), использование фторопластового уплотнительного материала (лента ФУМ), а также применение высокогерметичных резьбовых соединений, имеющих конструктивные элементы уплотнения по типу «металл-металл».

Консистентные уплотнительные смазки - в большинстве случаев это смазки на силиконовой или жировой основе. К ним относятся: отечественные смазки - Р-416, Р-402, Р-113, Р-2МВП; зарубежные смазки - API modified thread compound, Bestolife-270, Copper joint "Lead free" и ряд других.

Основной недостаток данных смазок заключается в том, что они не обеспечивают длительной (на период жизни скважины) герметизации резьбовых соединений. Под воздействием знакопеременных нагрузок, вызванных колебаниями давлений и температур, в присутствии пластовых флюидов (высокоминерализованная вода, нефть, природный газ), которые могут иметь в своем составе и агрессивные элементы (углекислота, сероводород и т. п.), происходит эрозия консистентных смазок. Сначала вымывается основа смазки, затем происходит постепенное разрушение защитного слоя, образованного наполнителями.

Металлизация резьб – нанесение на контактную поверхность слоя пластичного металла (цинк, свинец, алюминий и др.). Основными недостатками являются низкая долговечность из-за возникновения гальванических пар, а также (по данным зарубежных исследований) высокая чувствительность слоя пластичного металла к срезающим нагрузкам и слабая адгезия к поверхности резьбы. Кроме того, как и в случае консистентных смазок, герметичность соединений снижается при ударах и вибрации, имеющих место при транспортно-перевалочных операциях.

Применение ленты ФУМ (фторопластовый уплотнительный материал). Основной недостаток - ограниченный характер применения. Не рекомендуется для резьб трапецидального профиля (особенно для НКТ) вследствие снижения несущей способности. Кроме того, при наличии конструктивных элементов уплотнения «металл-металл» не обеспечивается их антизадирающая защита.

Соединения с уплотнением «металл-металл». Основная особенность – наличие в резьбовом соединении узлов уплотнения металл по металлу. Основной недостаток – высокая чувствительность уплотнительных элементов «металл-металл» к повреждениям (механическим, коррозионным и т.п.) и невозможность их ремонта в условиях трубных баз. Кроме того, не

все конструкции могут обеспечить герметичность при воздействии изгибающих сил.

Отверждаемые составы: отечественный УС-1 на основе эпоксидного компаунда К-153 и известные зарубежные аналоги (“Threadlok-801”, “Bakerlok thread-locking compound”, “Metallon PR” и др.) характеризуются способностью к схватыванию (полимеризации) в присутствии отвердителя как при подогреве, так и при прекращении подачи кислорода (анаэробные составы) и т.д. Действие последних основано на их способности после нанесения на резьбовые или другие поверхности отверждаться в анаэробных условиях (без доступа воздуха) с образованием твердых, неплавких и нерастворимых полимеров пространственно-сетчатой структуры, обладающих требуемыми эксплуатационными свойствами. Однако при испытании в стендовых условиях эти составы показали недостаточную долговечность и повышенный крутящий момент, приводящий к возрастанию энергозатрат. Кроме того, указанные составы имеют экологически вредные наполнители, например, УС-1 для обеспечения смазывающей способности содержит чешуйчатую медь и порошкообразный графит, а для обеспечения уплотнительной способности – порошки свинца и цинка. Металлические порошки требуют соблюдения особых мер безопасности. Очень токсичным является металлический порошок свинца и его пыль.

Таким образом, анализ причин межколонных и заколонных газопроявлений, существующих способов герметизации резьбовых соединений обсадных труб показал отсутствие какого-либо универсального подхода к проблеме герметичности для различных термобарических условий, решать которую следует с учетом критериев выбора уплотнительных средств на основе долговременной надежной герметизации резьбовых соединений с применением уплотнительных элементов «металл-металл» и отверждаемых герметиков, а также комплексного подхода, учитывающего все факторы, влияющие на герметичность соединений, в т.ч. внутреннее давление, температуру, наличие изгибающих сил и т.д.

На основании проведенного анализа расширен и обоснован диапазон требований к уплотнительно-смазывающим материалам и конструкциям резьбовых соединений, учитывающий герметичность, предотвращение изнашивания и задиров резьбы, а также уплотнительных элементов “металл-металл”, технологичность применения в любое время года, антикоррозионные свойства, термостойкость, водо- и углеводородостойкость, стойкость в агрессивных средах, долговечность, сохранение перекрытия уплотнительных металлических поверхностей при максимальной растяжке, а также изгибающих нагрузках в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах и т.д., как основных факторов надежности элементов конструкций скважин в сложных горно-геологических условиях.

Во втором разделе представлена методика расчета межрезьбовых каналов, проанализирован характер теплового воздействия на обсадные трубы и их соединения на стадиях бурения, крепления и эксплуатации скважин, раскрыт механизм смазывающего действия уплотнительных смазок, рассмотрены возможности повышения их противоизносных и антиза-

дирных свойств, даны предложения по усовершенствованию конструкций резьбовых соединений, в т.ч. с уплотнением «металл-металл».

Автором проведена аппроксимация сечения межрезьбовых каналов для треугольного и трапециoidalного профилей резьб, что позволило активно оценить величины площадей сечения и гидравлического радиуса этих каналов и выбрать наполнитель с необходимым гранулометрическим составом для их кольматации.

Анализ характера теплового воздействия на обсадные трубы и их соединения на стадиях строительства и эксплуатации скважин показал, что в результате непрерывного воздействия циклически изменяющихся с различной степенью интенсивности тепловых нагрузок происходят неконтролируемые процессы фазовых переходов со сменой режимов течения; возникает деформация обсадных колонн и резьбовых соединений, приводящая к их разгерметизации. С учетом циклического режима теплового воздействия на обсадные трубы и их соединения (особенно в наклонно-направленных и горизонтальных скважинах) стендовые динамические термоциклические испытания необходимо проводить при воздействии изгибающих нагрузок.

Раскрыт механизм смазывающего действия уплотнительных смазок при использовании полимерных диэлектрических наполнителей как основного направления повышения их антизадириных и противоизносных свойств. Рассмотрены различные виды противозадириных и противоизносных присадок и наполнителей. Преимущество наполнителей в том, что их можно вводить в пластичные смазки в значительно больших количествах (50-60 % и более), в то время как содержание противоизносной присадки лимитируется воздействием на структуру смазки («разрешающей способностью» загустителя) и, как правило, не превышает 5%. Улучшая в определенной степени эксплуатационно-технологические свойства смазок, электропроводные неорганические наполнители в то же время значительно снижают долговечность и ухудшают их экологические характеристики. В снижении долговечности уплотнительных смазок с добавками электропроводных наполнителей (порошки цветных металлов и др.) основную роль играет электрохимическая коррозия, возникающая вследствие образования гальванических пар на контакте наполнителя с поверхностью резьбы. Кроме того, многие из этих наполнителей оказывают отрицательное воздействие как на объемные (ухудшение механической стабильности, вязкостно- и прочностно-температурных характеристик смазок и пр.), так и на эксплуатационные свойства смазок (понижение защитной способности и стабильности к окислению).

В связи с вышеизложенным, более эффективны органические наполнители - порошкообразные полимеры (например, фторопласты), которые, хотя и отличаются высокой работоспособностью в газообразной и жидкой средах, в т.ч. при низких температурах, имеют недостаток, связанный с плохой смачиваемостью водой и маслом, в связи с чем могут возникнуть затруднения при его диспергировании в смазочном материале.

Однако этого недостатка можно избежать при использовании в качестве дисперсионной среды эпоксидных композиций.

Кроме того, во втором разделе представлены три, разработанные на уровне патентов, конструкции резьбовых соединений, направленные на повышение их герметичности. Все конструкции основаны на принципе непосредственного контакта торцов труб в муфте.

1 «Соединение обсадных труб» состоит из резьбовых концов труб, винченных в муфту, и выполненных в виде усеченных конусов. Конусы концов труб входят друг в друга, образуя полости, заполняемые герметизирующим материалом, а контактные конические поверхности усеченных конусов создают в соединении уплотнение типа «металл-металл», что позволяет повысить надежность работы соединения обсадных труб при различных условиях работы в скважине.

2 «Трубное уплотняющееся резьбовое соединение» состоит из трубных концов с наружной резьбой, винченных в охватывающую муфту, и герметизирующего кольца. В процессе затяжки соединения происходит его герметизация – упругое герметизирующее кольцо прижимается проточками обоих трубных концов. Более эффективная герметизация «Трубного уплотняющегося резьбового соединения» достигается тем, что кольцо, вследствие радиального воздействия избыточного давления рабочего агента внутри трубной колонны, прижимается к месту стыковки концов труб.

3 «Трубное муфтовое резьбовое соединение». Задачей данного технического решения является повышение герметичности резьбовых соединений труб нефтяного сортамента, в особенности для наклонно-направленных и горизонтальных скважин. Соединение состоит из трубных концов, имеющих наружную резьбу и винченных в охватывающую муфту. Между торцами трубных концов, имеющих конические поверхности, вставлено металлическое кольцо, также имеющее боковые конические поверхности. При свинчивании соединения конические поверхности трубных концов и промежуточного кольца образуют уплотнения «металл-металл». «Трубное муфтовое резьбовое соединение» апробировано на стендах ООО «ВНИИГАЗ». Статические и динамические (термоциклические) испытания (в т.ч. при максимальных для данных соединений изгибающих нагрузках) на натурных образцах труб нефтяного сортамента $\varnothing 168,3$ и $\varnothing 114,3$ до величин внутренних давлений, ограничиваемых прочностью материала трубных образцов, показали, что все испытываемые соединения обладают высокими герметизирующими характеристиками. Проведены испытания на натурных образцах $\varnothing 114,3 \times 6,88$ при одновременном действии растягивающей силы и внутреннего давления воды (суммарная нагрузка соответствовала 85 % от предела текучести материала трубы). Соединения герметичны. Кроме того, проведены экспериментальные исследования по определению оптимальной величины угла соприкосновения конических элементов уплотнения «металл-металл». Представленное соединение характеризуется экономичностью и повышенной

ремонтпригодностью в отличие от распространенных в промысловой практике соединений с аналогичным типом уплотнения.

В третьем разделе проведен сопоставительный анализ методики испытаний труб нефтяного сортамента и резьбовых соединений в соответствии с требованиями АНИ (спецификация API RP 5C5 «Рекомендуемый порядок испытаний для оценки конструкций соединений обсадных и насосно-компрессорных труб высокого давления») и отечественных методических рекомендаций «Определение пределов плотности резьбовых соединений обсадных и насосно-компрессорных труб с различными герметизирующими средствами». Анализ показал, что отечественная методика не включает целый ряд испытаний натуральных образцов труб (охватываемых спецификацией API RP 5C5): на свинчивание-развинчивание; опрессовки внутренним давлением до их разрушения; циклические опрессовки внутренним давлением при действии растягивающей силы; на смятие (сжатие) до их разрушения (для обсадных труб); термоциклирование при одновременном действии внутреннего давления и растягивающей силы (для НКТ) и др. В связи с этим разработаны две методики испытаний резьбовых соединений труб нефтяного сортамента:

- «Методика испытаний натуральных образцов труб нефтяного сортамента на свинчивание-развинчивание резьбовых соединений, антизадириных и противоизносных свойств резьбовых смазок», включающая способ оперативной оценки антизадириных и противоизносных свойств резьбовых смазок и материалов без разрушающего контроля.

Предупреждение задирирования является существенно важным условием надежной работы резьбового соединения в скважине. Особенно недопустимы задиры (даже незначительные) на уплотнительных элементах соединений «металл-металл».

Исследования проводятся на муфтонаверточном стенде методом циклических свинчиваний-развинчиваний: 1 цикл - 5 испытаний, после чего соединение очищается от смазки и промывается, осуществляется визуальный контроль состояния резьбы. Далее соединение испытывается на герметичность методом циклических гидро- и газоопрессовок.

Оценка антизадириных свойств конкретной смазки осуществляется путем проведения до 100 свинчиваний-развинчиваний (20 циклов по 5 испытаний) с учетом статистического фактора.

- «Методика испытаний на герметичность термоциклированием резьбовых соединений труб нефтяного сортамента при наличии изгиба», включающая испытания на стенде герметичности резьбовых соединений, размещенном на опытно-экспериментальной базе (ОЭБ) ООО «ВНИИ-ГАЗ». В качестве рабочего агента используется природный газ, что особенно важно при испытаниях герметизирующих смазок и материалов, т.к. компоненты последних могут подвергаться химическому и физико-химическому воздействию углеводородов.

Для осуществления испытаний разработано специальное устройство для создания изгиба в натурном трубном резьбовом соединении. С его помощью натуральный образец прогибается механически с использованием со-

ответствующих рычагов до необходимой стрелы прогиба. Величина изгиба (стрелы прогиба) фиксируется индикатором часового типа. Затем образец вместе с устройством помещается в испытательную ванну стенда и испытывается в условиях термоциклирования при ступенчатом наращивании внутреннего давления природного газа (по 100 циклов смены температур на каждой ступени). Эта методика позволяет испытывать натурные образцы труб в диапазоне диаметров от 73 до 300 мм, при температурах до 100°C, при давлениях, ограниченных прочностью самих труб и изгибающих нагрузках, соответствующих максимальным величинам радиуса и интенсивности искривления для данного типоразмера трубы, что коррелируется с условиями работы скважин при различных режимах эксплуатации.

Четвертый раздел посвящен разработке резьбового отверждаемого герметика – РОГ (патент РФ № 2110550). Прототипом резьбового отверждаемого герметика послужил уплотнительный полимеризующийся состав УС-1. Учитывая недостатки ранее рассмотренных герметизирующих средств, предложен наполнитель, выполняющий противозадирную и уплотнительную функции одновременно и являющийся нетоксичным материалом, - фторопластовый порошок, представляющий собой продукт полимеризации тетрафторэтилена. Выбор политетрафторэтилена (ПТФЭ) был обусловлен рядом положительных факторов: высокая химическая стойкость практически ко всем минеральным и органическим кислотам, щелочам, органическим растворителям, окислителям, газам и другим агрессивным средам; гидрофобность; стойкость к высоким температурам (непрерывная эксплуатация до 250°C, а в некоторых случаях до температуры немного ниже 327°C); исключительно низкий коэффициент трения; высокая работоспособность при низких температурах. Для устранения ранее выявленного недостатка, связанного с плохим диспергированием в смазочном материале, предложено в качестве основы уплотнительной смазки использовать эпоксидный компаунд. Вследствие эффективного диспергирования ПТФЭ в гидрофильном эпоксидном компаунде создается возможность повышения антизадирных и противоизносных свойств уплотнительных смазок на эпоксидной основе. ПТФЭ из всех наполнителей органического типа в наименьшей степени подвержен старению, а с учетом того, что он блокирован от окисляющей среды вяжущим, долговечность удовлетворяет сроку службы скважины.

Проведенные экспериментальные исследования показали, что в качестве наполнителя в составе РОГ могут использоваться следующие разновидности политетрафторэтилена: фторопласт 4 (рыхлый волокнистый порошок марок А, Б и В), фторопласт 4Д (тонкодисперсный порошок с частицами размером 0,1-0,3 мкм), а также фторопласт 40 и 42. Кроме того, в качестве наполнителя использовались порошки фторопластовые термообработанные ПТФ-200 и ПТФ-300 (ТУ 301-05-25-89), получаемые в результате переработки отходов фторопласта, которые накапливаются в процессе изготовления фторопластовых изделий. Эти порошки отличаются большей величиной размера частиц, чем фторопласты 4 и 4Д. Как пока-

зали расчеты, оптимальный гранулометрический состав наполнителя должен находиться в пределах $0,1 \pm 0,3$ мм. Это соответствует гранулометрическому составу фторопласта марки ПТФ-300, выпускаемого отечественной промышленностью.

В лабораторных исследованиях были использованы разные представители компаундов, наиболее эффективным из которых признан компаунд К-153 (ТУ 6-05-1584-86) из эпоксидно-тиокольного подкласса, показавший наилучшую совместимость с ПТФЭ.

В качестве отвердителей компаунда применялись полиамины (ДЭТА, ТЭТА, кубовый остаток ГМДА, УП-0633М и др.), обладающие высокой реакционной способностью, малой летучестью, возможностью получения в безводном состоянии. Наиболее эффективным признан УП-0633М (ТУ 6-05-1863-78), основной составляющей которого является диэтилен-триамин. По сравнению с кубовым остатком ГМДА отвердитель УП-0633М увеличивает жизнеспособность и время полного отверждения эпоксидной композиции почти вдвое (с 4 до 8 часов). Кроме того, при взаимодействии УП-0633М с эпоксидными группами происходит минимальная усадка смолы - необходимое условие обеспечения герметизирующих свойств резбовых составов на эпоксидной основе.

Лабораторные исследования сроков схватывания композиции РОГ в зависимости от процентного содержания наполнителя в смеси (от 20,0 до 71,5%) показали, что, исходя из условий необходимой жизнеспособности композиции и соответствующей вязкости, наиболее приемлемым является содержание наполнителя - 33,4%.

Для лабораторных исследований вязкости состава РОГ были подготовлены 8 образцов смазок. Содержание наполнителя варьировало в пределах от 25% до 65%. Вязкость фиксировали через 30 минут после смешивания всех компонентов испытываемого состава при температуре $+20^{\circ}\text{C}$. Результаты исследований (Рисунок 1) свидетельствуют, что при содержании наполнителя свыше 60% (например, 62,5 %, что соответствует вязкости 141,0 Па·с) состав, вследствие высоких величин вязкости, становится не пригодным для нанесения на резбовые поверхности. Таким образом, оптимальный интервал процентного содержания наполнителя (политетрафторэтилена) в резбовом отверждаемом герметике - от 30 до 60% масс.

Для экспериментальной проверки герметика РОГ на уплотнительную способность был подготовлен ряд смазок с различным процентным содержанием наполнителя, которые испытали на резбовых соединениях натуральных образцов обсадных труб диаметра 168,3мм с толщиной стенки 10,6 и 12,1мм, а также образцах $\text{Ø}177,8 \times 10,36$ японского производства.

Испытания проводились в ООО «ВНИИГАЗ» на стенде герметичности, разработанном В.Д. Малеванским и С.Н. Удянским и усовершенствованном автором. Анализ результатов стендовых испытаний подтверждает, что оптимальным является интервал процентного содержания наполнителя (политетрафторэтилена) в герметике РОГ 30+60% масс. При содержании наполнителя менее 30% ухудшаются герметизирующие свойства резбо-

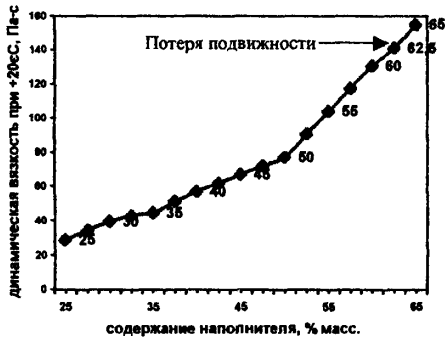


Рисунок 1 - Зависимость вязкости композиции РОГ от содержания ПТФЭ

вого отверждаемого герметика – РОГ (Рисунок 2).

Увеличение содержания наполнителя более 60% приводит к непригодности герметика для использования. При испытаниях на свинчивание резьбовых соединений с использованием герметика РОГ существенно снижаются энергозатраты в сравнении с УС-1. Так для резьбовых соединений ОТМ ($\varnothing 168,3 \times 10,6$) крутящий момент не превышал 600 кгс·м (~6000 Н·м), что на 15% ниже показателя, имевшего место при использовании состава УС-1.

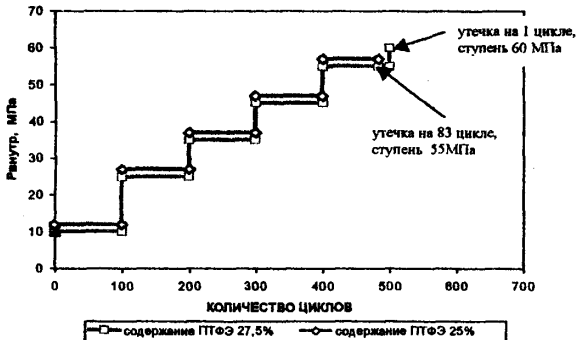


Рисунок 2 - Зависимость показателя герметичности от содержания ПТФЭ

При стендовых испытаниях герметика РОГ в статических (опрессовки водой и природным газом) и динамических (термоциклирование) условиях, в т.ч. в условиях действия изгибающих нагрузок (в соответствии с «Методикой испытаний на герметичность термоциклированием резьбовых соединений труб нефтяного сортамента при наличии изгиба»), а

также при наличии повреждений на резьбе были отмечены высокие герметизирующие свойства резьбового отверждаемого герметика.

На вышеназванном стенде герметичности были проведены сравнительные испытания резьбовых отверждаемых составов РОГ и УС-1. Испытания проводились на натуральных образцах обсадных труб $\text{Ø}168 \times 12,1$ с резьбой ОТТМ. Сравнительные характеристики отверждаемых составов УС-1 и РОГ, в т.ч. по результатам стендовых испытаний приведены в таблице 2.

Было испытано два натуральных образца (образец №1 - два резьбовых соединения - на составе УС-1; образец №2 - два резьбовых соединения - на составе РОГ) в статических (опрессовка водой и природным газом) и динамических (термоциклирование) условиях. Образец №1 испытывался на ступенях внутреннего давления 10-20-30-40-50 МПа. На ступени внутреннего давления 50 МПа произошла утечка в обоих испытываемых соединениях. Образец №2 прошел испытания на ступенях внутреннего давления 10-20-30-40-50-60-70 МПа. Утечки отсутствовали. Проведение испытаний подтверждено актом сравнительных испытаний. Результаты сравнительных динамических (термоциклических) испытаний герметика РОГ и отверждаемой смазки УС-1 отражены на рисунке 3 (При нагреве давление в образцах возрастает на 15-20 %, но для удобства линии нагрева и охлаждения на графике совмещены).

Таблица 2 – Сравнительные характеристики отверждаемых составов УС-1 и РОГ

| Показатели | УС-1 | РОГ |
|--|---|---|
| Крутящий момент, кгс·м (для соединений труб $\text{Ø}168 \times 10,6$) | 690 | 600 |
| Герметичность - <u>статические испытания (опрессовки)</u> вода, МПа природный газ, МПа - <u>динамические испытания (термоциклирование)</u> ; рабочий агент – природный газ; ступенчатое нагружение при 100 циклах смены температур на каждой ступени: - без изгиба - с изгибом (соответствует интенсивности искривления колонны 40° на 100 фт или $\sim 14^\circ$ на 10 м) | 52,0 (утечек нет) 50,0 (утечек нет) 10-20-30-40-50 МПа (на ступени 50 МПа – утечки в 2-х соединениях) 10-20-30-40 МПа (на ступени 40 МПа – утечка в одном из 2-х соединений) | 77,0 (утечек нет) 70,0 (утечек нет) 10-20-30-40-50-60-70 МПа (утечек нет) 10-20-30-40-50-60 МПа (утечек нет) |
| Экологическая безопасность | Наличие вредных наполнителей (порошки свинца и цинка, медная пудра) | Порошки цветных металлов заменены безопасным ПТФЭ |

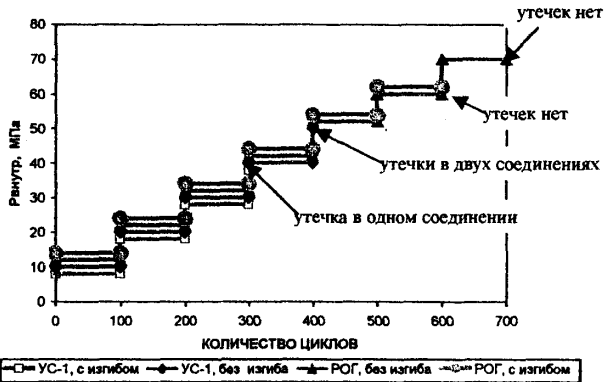


Рисунок 3 - Сравнительные испытания герметика РОГ и смазки УС-1

Технология применения резьбового отверждаемого герметика (РОГ) сходна с технологией применения резьбового состава УС-1 (полимеризующегося), т.к. и тот и другой имеют одинаковую основу (эпоксидный компаунд К-153). Технология применения состава РОГ и правила техники безопасности и санитарии при работе с ним отражены в «Инструкции по применению резьбового отверждаемого герметика (РОГ) для соединений обсадных труб в газовых скважинах».

В целях внедрения в производство резьбового отверждаемого герметика были разработаны технические условия - ТУ 51-00158623-39-97.

Опытно-промышленные испытания Резьбового отверждаемого герметика (РОГ) начались 1992-1993 г.г. в БП «Тюменбургаз». В июле 1993 года он прошел испытания в Управлении «Сервисбургаз» БП «Тюменбургаз» в цехе по испытанию обсадных труб ИЧС – 500. Испытания проведены на обсадных трубах $\varnothing 168 \times 10,6$ с резьбой ОТТМ с максимальным для данного испытания внутренним давлением 22 МПа с выдержкой 15 сек. Утечек в испытуемых соединениях не зафиксировано. По результатам испытаний был составлен акт испытаний. Состав РОГ рекомендован к использованию в резьбовых соединениях обсадных труб при строительстве скважин.

В дальнейшем состав РОГ применялся на буровых объектах АО «Бурсервис» (г. Полтава, Украина). Для опытно-промышленных испытаний в адрес АО «Бурсервис» была направлена опытная партия РОГ в количестве 1 тонны.

Также опытная партия (в количестве 15 кг) направлена для применения в соединениях обсадных труб $\varnothing 168$ мм (200 резьбовых соединений) на буровых предприятиях треста «Северспецбургаз» (г.Ухта). Кроме того, РОГ успешно применялся для герметизации соединений труб $\varnothing 42$ мм (алюминий с нержавеющей сталью) в геологоразведочных скважинах на объектах ООО «Геология».

Герметик РОГ применялся на АООТ «Тяжпрессмаш» (г.Рязань) для герметизации резьбовых соединений внутрискважинного оборудования (подвесные устройства и т.п.).

В октябре 1999 года резьбовой отверждаемый герметик (РОГ) был применен на скважине П-441 Ямбургского месторождения для герметизации обсадных труб Ø245 мм технической колонны. Всего было загерметизировано 44 резьбовых соединения. После спуска и цементирования, техническая колонна была опрессована водой при давлении 50,9 МПа (герметична).

Отверждаемый герметик РОГ применялся для герметизации узлов (гнезд) вакуумирования и муфт лифтовых теплоизолированных труб (ЛИТ), а также при посадке башмаков эксплуатационных колонн фирмы Baker и соединений устройств подвески хвостовиков этой фирмы, не имеющих уплотнительных элементов «металл-металл», на месторождении Бованенково.

За разработку резьбового отверждаемого герметика авторы отмечены медалями «Лауреат ВВЦ» на выставке «Новая техника и технология в газовой промышленности» в 1992г. Герметик РОГ был представлен в качестве экспоната на «Международной конференции и выставке по подземному хранению газа», г. Москва, 11-15 сентября 1995г.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1 Анализ причин межколонных и заколонных газопроявлений, существующих способов герметизации резьбовых соединений обсадных труб показал отсутствие какого-либо универсального подхода к проблеме герметичности для различных термобарических условий, решать которую следует с учетом критериев выбора уплотнительных средств на основе долговременной надежной герметизации резьбовых соединений с применением уплотнительных элементов «металл-металл» и отверждаемых герметиков, а также комплексного подхода, учитывающего все факторы, влияющие на герметичность соединений, в т.ч. внутреннее давление, температуру, наличие изгибающих сил и т.д. Показано, что пути повышения герметичности соединений обсадных труб делятся на две взаимосвязанные задачи: совершенствование средств герметизации резьбовых соединений и совершенствование методики испытаний натуральных трубных соединений.

2 Расширен и обоснован диапазон требований к отверждаемым герметикам и конструкциям резьбовых соединений, учитывающий герметичность, предотвращение изнашивания и задиоров резьбы, а также уплотнительных элементов «металл-металл», технологичность применения в любое время года, антикоррозионные свойства, термостойкость, водо- и углеводородостойкость, стойкость в агрессивных средах, долговечность, сохранение перекрытия уплотнительных металлических поверхностей при максимальном растяжении, а также изгибающих нагрузках в наклонно-

направленных и горизонтальных скважинах и т.д., как основных факторов надежности элементов конструкций скважин в сложных горно-геологических условиях.

3 Разработана методика расчета межрезбовых каналов для треугольного и трапецеидального профилей резьбы с учетом выбора гранулометрического состава наполнителя для их кольматации.

4 Теоретически доказана и экспериментально подтверждена целесообразность и эффективность использования в качестве герметизирующего и антифрикционного наполнителя - порошкообразного политетрафторэтилена (ПТФЭ) в сочетании с эпоксидным компаундом для герметизации резьбовых соединений обсадных труб с различными профилями резьбы. Раскрыт механизм смазывающего действия уплотнительных смазок на эпоксидной основе с добавкой порошкообразного ПТФЭ, связанный с эффективным диспергированием гидрофобного ПТФЭ в гидрофильном эпоксидном компаунде, что дает возможность повышения их антизадирных и противоизносных свойств.

5 Разработан состав резьбового отверждаемого герметика (патент РФ № 2110550). Наиболее приемлемым в качестве эпоксидной основы признан компаунд К-153 в сочетании с наполнителем ПТФЭ и отвердителем аминного типа УП-0633М. Выпущены и успешно испытаны опытные партии герметика РОГ в промысловых и заводских условиях.

6 Разработаны:

- «Инструкция по применению резьбового отверждаемого герметика (РОГ) для соединений обсадных труб в газовых скважинах»;

- Технические условия на резьбовой отверждаемый герметик- РОГ (ТУ 51-00158623-39-97);

- «Методика испытаний натуральных образцов труб нефтяного сортамента на свинчивание-развинчивание резьбовых соединений, антизадирных и противоизносных свойств резьбовых смазок», позволяющая при использовании минимального количества образцов и не прибегая к разрушающему контролю оперативно оценить антизадирные и противоизносные свойства резьбовых смазок;

- «Методика испытаний на герметичность термоциклированием резьбовых соединений труб нефтяного сортамента при наличии изгиба», учитывающая, в отличие от требований АНИ, влияние изгиба в наклонно-направленных скважинах на герметичность резьбовых соединений в условиях термоциклирования для широкого диапазона диаметров, температур и давлений;

- конструкции резьбовых соединений, направленные на повышение их герметичности:

- 1) трубное муфтовое резьбовое соединение (патент РФ № 2186284);

- 2) соединение обсадных труб (патент РФ № 2161687);

- 3) трубное уплотняющееся резьбовое соединение (патент РФ № 2167358).

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. А.Н. Добренков, А.Е.Евгеньев, А.П.Крупеник. Экспериментальная установка для исследования теплообмена между восходящим двухфазным потоком и окружающей средой. // Фильтрация неоднородных систем: Сб. науч. тр. – М.: ВНИИГАЗ, 1988. – с. 60 – 66.
2. Грачев В.В., Добренков А.Н. Определение антизадириных свойств резьбовых смазок. // Межрегиональная научно-техническая конференция по проблемам газовой промышленности России, посвященная 35-летию СевКавНИПИгаза: Тезисы докл. - Ставрополь, 1997. – с. 22 – 23.
3. Добренков А.Н., Иконникова Т.И. Роль герметизации резьбовых соединений в обеспечении качества крепления скважин. // Экологические проблемы и пути решения задач по длительной сохранности недр и окружающей среды на период более 500 лет в зоне ведения геологоразведочных и буровых работ, трубопроводостроения и разработки нефтегазовых месторождений на суше и морских акваториях. Всероссийская научно-практическая конференция: Тезисы докл. – Тюмень, 1997. – с. 126.
4. А.Н. Добренков. Учет изгиба при испытаниях резьбовых соединений // Газовая промышленность. – 2002. - № 2. – с. 56-57.
5. А.Н. Добренков. Применение резьбового отверждаемого герметика для уплотнения соединений обсадных труб // Газовая промышленность. – 2002. - № 3. – с. 64-65.
6. А.Н. Добренков. Усовершенствованный узел герметизации резьбовых соединений // Газовая промышленность. – 2002. - № 4. – с. 80-81.
7. Патент РФ на изобретение № 2110550. Резьбовой отверждаемый герметик / Грачев В.В., Аль-Кардаги Т.Ф., Добренков А.Н. Б.И. № 13 от 10.05.1998.
8. Патент РФ на изобретение № 2167358. Трубное уплотняющееся резьбовое соединение / Грачев В.В., Добренков А.Н., Рудницкий А.В., Ипполитов В.В. Б.И. №14 от 20.05.2001.
9. Патент РФ на изобретение № 2161687. Соединение обсадных труб / Грачев В.В., Добренков А.Н., Рудницкий А.В., Ипполитов В.В. Б.И. № 1 от 10.01.2001.
10. Патент РФ на изобретение № 2186284. Трубное муфтовое резьбовое соединение / Грачев В.В., Добренков А.Н., Рудницкий А.В., Ипполитов В.В. Б.И. № 21 от 27.07.2002.
11. Добренков А.Н. Способ восстановления герметичности резьбовых соединений обсадных труб и НКТ с поврежденными элементами уплотнения «металл-металл». – В сб. научн.тр. ОАО НПО «Бурение»: Техника и технология заканчивания и ремонта скважин в условиях АНПД. – Вып.8. – Красноярск, 2002. – с. 280-285.

НТБ
ИФТУНГ

Соискатель



И. Добренков