



Трубы из высокопрочного чугуна в нефтегазовой отрасли

А. В. МИНЧЕНКОВ – к.т.н., директор по новым технологиям ООО ЛТК «Свободный Сокол», e-mail: mav@

К. М. ГУМЕРОВ – д.т.н., профессор, зав. отделом ГУП «ИПТЭР» РБ, e-mail: K.M.Gumerov@mail.ru

С. И. КОСТИН – начальник отдела «Новые рынки» ООО ЛТК «Свободный Сокол», e-mail: kostin_si@svsokol.ru

В статье рассматривается вариант решения проблемы защиты от коррозии нефтегазопромысловых трубопроводов за счет использования труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом, которые помимо более высокой коррозионной стойкости обладают рядом дополнительных положительных свойств. Проведены испытания соединения, исключая сварку: раструбно-замкового типа «RJ». Показано, что данный вид соединения обеспечивает герметичность и прочность трубопровода в пределах до 6,4 МПа с достаточным запасом. В настоящее время продолжают промышленные испытания на опытных участках, создается необходимая нормативная база.

Ключевые слова: высокопрочный чугун с шаровидным графитом (вчшг), нефтегазопромысловый трубопровод, коррозия, испытания, монтаж, соединения.

Ежегодно в России на нефтепромыслах происходят десятки тысяч аварий трубопроводного транспорта, около 90% из которых является следствием коррозионных повреждений стенок и стыков труб. Из общего числа аварий 50–55% приходится на долю систем нефтесбора и 30–35% на долю трубопроводов поддержания пластового давления. При этом на ежегодный ремонт и замену трубопроводов расходуется несколько тысяч километров труб. Согласно обобщенным данным, полученным в результате многолетней эксплуатации стальных трубопроводов без внутреннего покрытия, порядка 42% труб не выдерживают 5 лет эксплуатации, 17% – 2-х лет. Скорость коррозии на различных участках может достигать 5мм/год, что несомненно ведет к большому количеству аварий.

Сравнение скоростей коррозии материалов труб на нефтепромыслах мм/год
(ист. «Территория НЕФТЕГАЗ» июнь 2014 г., стр. 56)

Наименование материала	Средняя скорость коррозии, мм/год
Сталь с внутренним антикоррозионным покрытием на основе краски ПЭП-585	0,09–0,102
Сталь 20КТ без покрытий	0,507–0,777
ВЧШГ без покрытий (оценочно)	0,03–0,05

Таким образом в числе нерешенных важных проблем при обустройстве нефтяных месторождений является защита от коррозии трубопроводных систем. Стальные нефтегазопромысловые трубопроводы, без дополнительной антикоррозионной защиты, из-за сильной коррозионной агрессивности продуктов скважин имеют небольшой ресурс. Увеличения ресурса можно добиться разными путями, один из которых связан с применением труб, обладающих повышенной стойкостью в коррозионно-активных средах: пластмассовых, металлопластовых, стеклопластиковых, а также стальных труб с защитными покрытиями. Каждый из них имеет свои положительные и отрицательные особенности. Практически во всех случаях повышение ресурса приводит либо к снижению прочности, либо к повышению стоимости. Поэтому поиск более эффективных решений до сих пор остается актуальной задачей.

Одним из вариантов решения данной задачи является применением труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Такие трубы обладают рядом положительных качеств. По сравнению с трубами из обычных низколегированных трубопроводных сталей коррозионная стойкость труб из ВЧШГ в 4...10 раз выше, прочность практически на том же уровне. Такое благоприятное сочетание свойств способствовало заметному росту производства труб из ВЧШГ в мире. Они нашли широкое применение в ряде жизненно важных отраслей, в частности, в водопроводных, канализационных, газопроводных сетях крупных городов мира. Продолжаются исследования свойств и совершенствование структуры металла труб и соединительных элементов из ВЧШГ. Выяснилось, что такие трубы в наибольшей степени отвечают экологическим требованиям, что особенно важно для водоснабжения населенных пунктов.

Мировой опыт эксплуатации трубопроводов из ВЧШГ демонстрирует их высокую надежность в течение длительного срока, до 100 лет. Трубы из ВЧШГ обладают высокой хладостойкостью, что очень важно для северных регионов. Они в значительно меньшей степени подвергаются старению, в том числе под воздействием сероводородсодержащих сред. Эта особенность могла бы быть востребована при обустройстве месторождений с большим содержанием серы.

Таким образом, трубы из ВЧШГ обладают множеством положительных свойств, которые способствуют их применению на нефтяных месторождениях.

Свариваемость ВЧШГ, из-за высокого содержания углерода хуже, чем стали и поэтому способ соединения чугунных труб методом сварки практически не получил распространения. На специализированных предприятиях сварку чугуна выполняют специальными железоникелевыми электродами по специальной технологической карте; после этого элемент трубопровода или фасонная соединительная часть должны пройти гидроиспытания.

Поэтому, монтаж трубопроводов из чугунных труб выполняют иными, в основном раструбно-стыковыми методами. Сварка применяется при ремонтах и на опытных участках трубопроводов. Однако, за последние 5 лет технология сварки ВЧШГ значительно усовершенствовалась и упростилась и велика вероятность, что в ближайшем будущем найдет широкое применение при строительстве трубопроводов из ВЧШГ.

Трубы из ВЧШГ изготавливаются методом центробежного литья, они цельнолитые. В зависимости от состава транспортируемой среды, а так же коррозионной активности почв в местах прокладки, на трубы в заводских условиях может наноситься дополнительное внутреннее и наружное защитное покрытие: цементно-песчаная смесь, полиуретан, цинк, алюмоцинк, покрытия на основе эпоксидных смол, термоусадочные ленты и т.п. Необходимость применения разных видов защитных покрытий в различных условиях эксплуатации требует накопления опыта применения труб из ВЧШГ при обустройстве месторождений и создания соответствующей базы данных.

Широкое применение труб из ВЧШГ в нефтяной отрасли невозможно без соответствующей нормативной базы, учитывающей особенности отрасли. В этой связи разработаны и введены в действие: ГОСТ Р 57430-2017 «Трубы, соединительные части из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и их соединения для промышленных трубопроводов. Технические условия»; ТУ 1461-075-50254094-2012 «Трубы с раструбно-замковым соединением «RJ» из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промышленных трубопроводов на нефтяных месторождениях»; ТУ 1460-076-50254094-2012 «Соединительные части литые с раструбно-замковым соединением «RJ» из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промышленных трубопроводов на нефтяных месторождениях»; ТУ 2531-077-50254094-2011 «Уплотнительные резиновые кольца для строительства промышленных трубопроводов на нефтяных месторождениях из труб с раструбно-замковым соединением «RJ».

Разработан и в настоящее время находится на экспертизе Свод правил «Трубопроводы промышленные для нефтегазовых месторождений из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Правила проектирования строительства, эксплуатации и ремонта.»

Предварительное общение с техническими специалистами нефтедобывающих компаний показывает заинтересованность в применении новых материалов и технологий, в том числе труб из ВЧШГ. В то же время в их сознании крепко утвердилось мнение, что металлические трубы обязательно должны быть соединены сваркой; что сварка – самый надежный способ монтажа и ремонта трубопроводов. Поэтому разрабатываемые технологии без применения сварки должны быть надежными и убедительными.

В настоящее время в России трубы и соединительные детали из ВЧШГ выпускает ООО «Липецкая трубная компания «Свободный сокол».

Металл труб обладает следующими механическими свойствами:

- временное сопротивление $\sigma_B \geq 420$ МПа;
- условный предел текучести $\sigma_{0,2} \geq 300$ МПа;
- относительное удлинение $\sigma \geq 10$ %;
- ударная вязкость на образцах без надреза не менее 3 кгс·м/см².

Химический состав ВЧШГ соответствует таблице:

C	Si	Mn	Mg	S	P
3,3–3,9	1,9–2,9	до 0,4	0,025–0,05	≤ 0,015	≤ 0,1

Микроструктура ВЧШГ ферритная с шаровидной формой графита.

Каждая отлитая на заводе труба из ВЧШГ подвергается испытательному гидравлическому давлению:

- при условном диаметре DN от 80 до 300 мм – не менее 9,0 МПа;
- при условном диаметре DN от 400 до 500 мм – не менее 6,0 МПа.

В настоящее время разработан ряд способов соединения труб из ВЧШГ без применения сварки, среди которых наиболее надежным является раструбно-замковое соединение («RJ»).

На рис. 1 показано соединение типа «RJ», где используется уплотнительное резиновое кольцо типа ВРС (также могут использоваться кольца типа «ТУТОН»). Особенность такого соединения состоит в том, что оно является самоуплотняющимся: под воздействием внутреннего давления резиновое кольцо деформируется и закрывает собой все зазоры в стыке. Прочность и герметичность в кольцевом направлении обеспечивается толщиной стенки труб, в осевом направлении – наличием наплавленного кольцевого валика и стопорами.

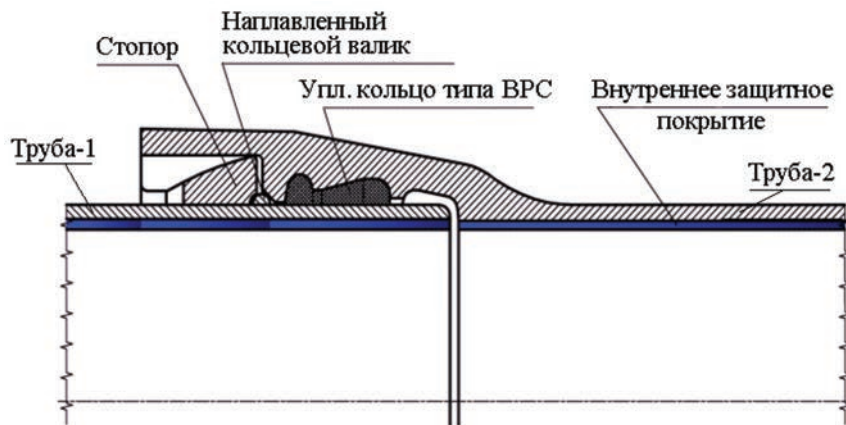


Рис. 1. Раструбно-замковое соединение типа «RJ»

Соединение типа «RJ» не является жестким и обеспечивает герметичность стыка при отклонении от продольной оси труб в пределах ± 5 . Это свойство позволяет без напряжений укладывать трубопровод в неровной местности, а также обеспечивает герметичность в нестабильных грунтах и сейсмически активных районах.

Соединение типа «RJ» не нуждается в температурных компенсаторах, так как в каждом стыке имеется возможность свободного взаимного смещения труб в осевом направлении в пределах 5 мм.





Силами научно-производственных организаций был проведен большой объем испытаний таких соединений.

Соединения типа «RJ» подвергались трем видам стендовых испытаний:

- испытаниям внутренним давлением;
- испытаниям внутренним давлением и изгибом;
- циклическим испытаниям внутренним давлением с поперечным изгибом.

Испытания внутренним давлением

Для этого изготовлены три образца из труб с диаметром условного прохода DN=100 мм, как показано на рис. 2.

Испытания выполнены в следующем режиме:

- 1) Закачка воды и подъем давления до 10,0 МПа; выдержка 10 мин.; сброс давления до 0.
- 2) Подъем давления до 15,0 МПа; выдержка 10 мин.; сброс давления.
- 3) Подъем давления до 20,0 МПа; выдержка 10 мин.; сброс давления.

В результате испытаний получены следующие результаты: два образца выдержали до конца все три этапа испытаний; третий образец выдержал первые два этапа, а на третьем этапе произошло разрушение при давлении 19,0 МПа.

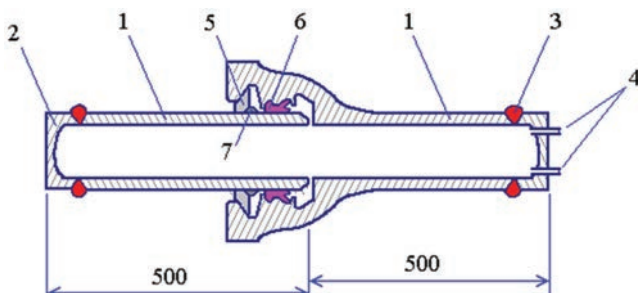


Рис. 2. Образец для гидроиспытаний соединения «RJ»
1 – катушки трубы из ВЧШГ; 2 – приварные заглушки; 3 – сварной шов; 4 – штуцера для закачки испытательной жидкости и выпуска воздуха; 5 – стопор; 6 – резиновая манжета; 7 – наплавленный валик

Таким образом, соединение «RJ» показало высокие прочностные свойства и обеспечило герметичность при давлениях, более чем в 3 раза превышающих заводское испытательное давление.

Испытания изгибом при наличии внутреннего давления

Для этого изготовлены три плети с условным диаметром DN=100 мм, аналогичные рис. 2, но состоящие из двух труб в полную длину по 6 м. Испытания проведены по схеме, показанной на рис. 3.

Программа испытаний включала следующие этапы:

- 1) Заполнение плети водой и создание внутреннего давления 1,6 Мпа.
- 2) Закрепление грузов F_1 и F_2 на расстоянии от середины и подъем плети. Выдержка 10 мин. в поднятом состоянии, спуск плети и установка на опоры без снижения давления.
- 3) Ступенчатое перемещение грузов F_1 и F_2 так, чтобы расстояние уменьшилось на 0,25 м, подъем плети до отрыва грузов от земли; выдержка 10 мин.
- 4) Повторение этапа 3 до тех пор, пока соединение не разрушится или плеть не получит необратимые (пластические) деформации.

В результате испытаний первая плеть согнулась пластически при $L=3$ м, вторая и третья плети – при $L=2,75$ м. Во всех случаях герметичность стыка не нарушилась; согнулись сами трубы в районе стыка.

На рис. 4, 5 показаны процесс испытаний и вид плети после испытания.



Рис. 4. Испытания плети с соединением «RJ» на внутреннее давление с изгибом

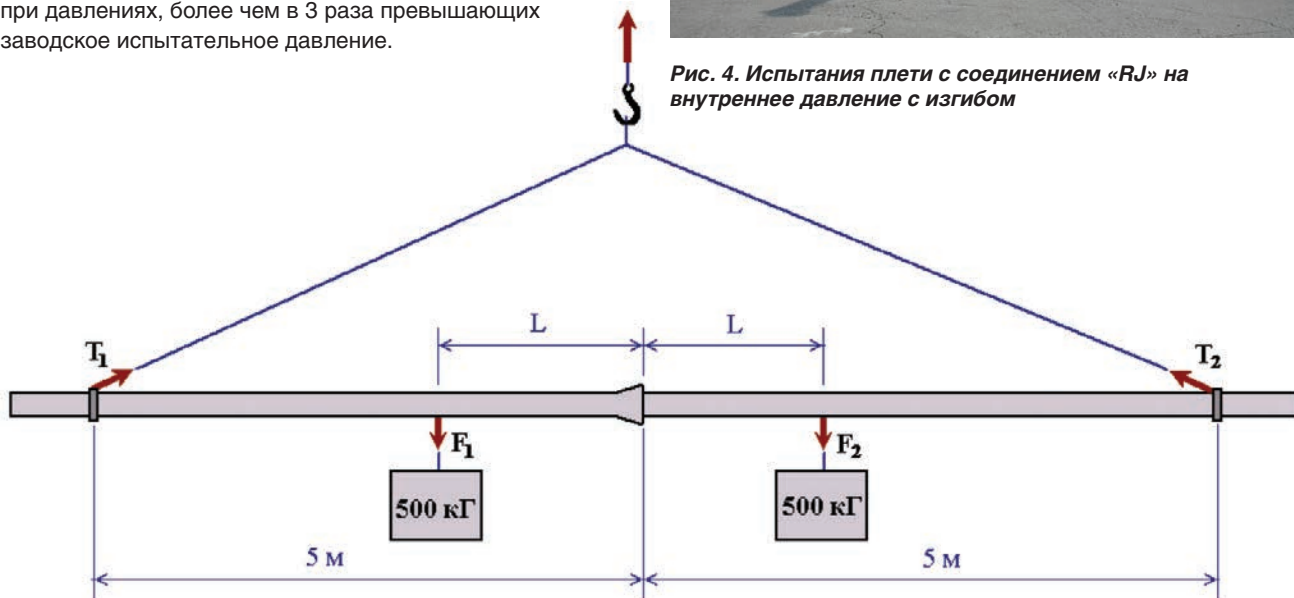


Рис. 3. Схема испытаний соединения «RJ» на внутреннее давление и изгиб



Рис. 5. Плеть с соединением «RJ» после испытаний на внутреннее давление с изгибом

Циклические испытания внутренним давлением и поперечным изгибом

Для этого изготовлены два образца в виде двухтрубных плетей, аналогичные показанным на рис. 3, с условным диаметром DN=300 мм.

Программа испытаний включала следующие этапы:

- 1) Установка плети на ровную поверхность, заполнение водой и подъем давления до 6,0 МПа с 10-минутной выдержкой через каждые 2,0 МПа.
- 2) Выдержка под давлением 1 час при давлении 6,0 МПа.
- 3) Циклические изменения давления в диапазоне 0–6,0 МПа; количество циклов 100.
- 4) Создание давления 6,0 МПа, подъем плети за середину, как показано на рис. 6, положение А) и укладка на две опоры, как показано на рис. 6, положение Б).
- 5) Подъем и укладка плети на опоры 10 раз, сохраняя внутреннее давление 6,0 МПа.
- 6) Укладка плети на ровную площадку, сохраняя давление 6,0 МПа; циклические изменения давления в диапазоне 0–6,0 МПа с выдержкой на высоком давлении по 10 мин.; количество циклов 10.
- 7) Подъем плети за середину и в поднятом состоянии циклические изменения давления в диапазоне 0–6,0 МПа с выдержкой на высоком давлении 10 мин.; количество циклов 10.
- 8) Снятие всех нагрузок и разборка соединения; тщательное обследование состояния всех элементов соединения.

Испытания показали следующее:

- 1) Сборка соединения «RJ» легко выполняется двумя рабочими без специальной подготовки; достаточно ознакомиться с инструкцией по монтажу.
- 2) Соединение обладает свойством самогерметизации под действием внутреннего давления.
- 3) Соединение обладает податливостью при изгибах в рамках заявленных ± 5 .
- 4) На всех этапах испытаний соединения в целом и его отдельные элементы не получили видимых повреждений и сохранили при этом герметичность. Таким образом, раструбно-замковые соединения «RJ» с уплотняющей резиновой манжетой обеспечивают прочность и герметичность трубопровода из ВЧШГ.

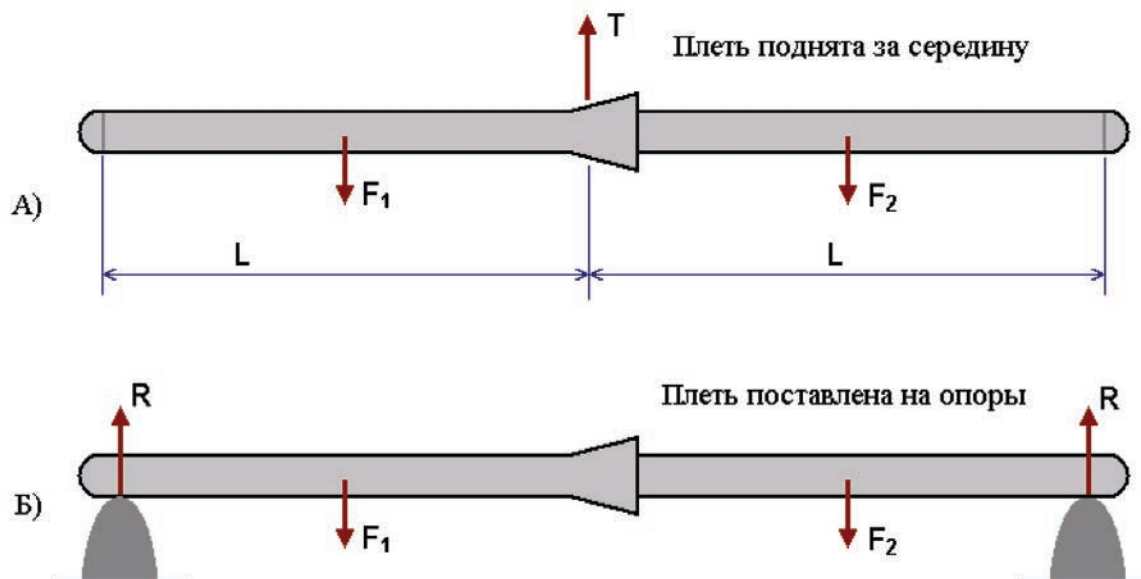


Рис. 6. Циклические испытания на внутреннее давление и изгиб

В настоящее время в качестве опытных участков трубы из ВЧШГ проходят апробацию в ряде нефтяных месторождений. На рис. 7 и 8 показаны отгруженная партия труб и смонтированный трубопровод в траншее перед засыпкой и испытаниями.





Дополнительную информацию о трубах из ВЧШГ, требованиях к ним, технологиях монтажа и ремонта можно получить из нормативно-технической документации [1–9].



Рис. 7. Партия труб из ВЧШГ под соединения типа «RJ», подготовленная к монтажу трубопровода



Рис. 8. Трубопровод Ду 200 мм, смонтированный из труб ВЧШГ с применением соединений типа «RJ»

Таким образом, сделаны следующие главные выводы:

1. Результаты испытаний показали возможность получения равнопрочных соединений труб из ВЧШГ без использования сварки, что позволяет применять их при строительстве нефтепромысловых трубопроводов.
2. Испытаны и рекомендуются к практическому использованию в нефтепромысловых условиях наиболее эффективные технологии монтажа трубопроводов из ВЧШГ – с помощью разъемных раструбно-замковых соединений с использованием герметизирующей резиновой манжеты. ●

Литература:

1. ТУ 1461-075-50254094-2011 Трубы с раструбно-замковым соединением «RJ» из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях. Технические условия.
2. ТУ 1460-076-50254094-2011 Соединительные части с раструбно-замковым соединением «RJ» из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях. Технические условия.
3. ТУ 2531-077-50254094-2011 Уплотнительные резиновые кольца для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях из труб с раструбно-замковым соединением «RJ». Технические условия.
4. ТУ 1468-014-23967414-2011 Части соединительные сварные из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для строительства промысловых трубопроводов на нефтяных месторождениях. Технические условия.
5. ТИ 01-СН-2011 Сварка труб из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом для обустройства нефтяных и газовых месторождений. Технологическая инструкция.
6. КД 01-2012 Классификатор допустимых поверхностных дефектов труб. Липецк, ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол», 2012 г.
7. Руководство по монтажу труб и фасонных частей с соединением «RJ». ОАО «ЛМЗ «Свободный сокол», 2011.