Российский Союз Нефтегазостроителей

«Центральный научно-исследовательский институт специального машиностроения»

Гибридные металлокомпозитные трубы (ГМКТ) для газопроводов, подверженных растрескиванию под напряжением (КРН)

Hybrid metal-composite pipes (HMCP) for gas pipelines, subjected to stress-corrosion cracking (SCC)

ГАЗПРОМ ВНИИГАЗ

IV Международный научно-практический семинар
ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ МАГИСТРАЛЬНЫХ ГАЗОПРОВОДОВ, ПОДВЕРЖЕННЫХ КОРРОЗИОННОМУ РАССТРЕСКИВАНИЮ ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ
IV International Scientific and Practical Seminar
INCREASING THE RELIABILITY OF THE GAS PIPELINE EXPOSED TO CORROSIVE STRONG UPDATES UNDER STRESSES

6 - 8 июня 2018 г.

п. Развилка, МО

ОСОБЕННОСТИ НАСТОЯЩЕЙ И БЛИЖАЙШЕЙ ПЕРСПЕКТИВНОЙ СИТУАЦИИ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

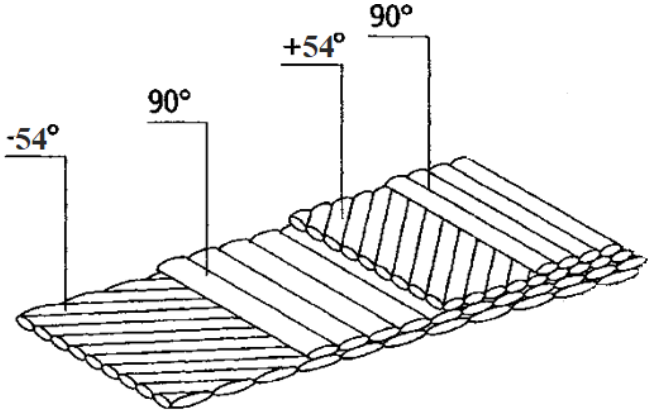
- смещение зоны разведки и активного недропользования в северные и восточные районы страны со сложными климатическими условиями и слаборазвитой инфраструктурой
- изменения качественного состава углеводородного сырья
- аварийность трубопроводов от комплексной проблемы коррозионного растрескивания от напряжения (КРН) металла труб

Настоящие условия ставят перед машиностроителями задачи поиска новых материалов, конструкционных и технологических решений по их применению для увеличения срока безаварийной работы трубопроводов

В этой ситуации, наиболее перспективным представляется использование композиционных материалов, позволяющие конструировать изделия и оборудование с заданными параметрами эксплуатации

СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Металл (ПЭ, ПП) — изотропный материал, свойства его одинаковы во всех направлениях. Полимерно-армированный композит — анизотропный, прочность его вдоль волокон намного больше, чем поперек. В трубе, работающей под внутренним давлением, напряжения, осевые и кольцевые отличаются приблизительно в 2 раза и поэтому необходимо использовать полимерно-армированный композит с прочностью в кольцевом направлении (вдоль волокон) большей чем в осевом. Размещая больше волокон поперек трубы (там больше напряжения), чем вдоль трубы, мы получаем равнопрочную конструкцию, позволяющую экономить материал.



СВОЙСТВА МАТЕРИАЛОВ

Наименование Name	Сталь Steel	Стеклопластик Glass Resin Epoxy	Полиэтилен НД HDPE	Полипропилен PP
Плотность, г/см^3 **Density g / cm^3**	7,8	1,6 – 2,0	0,91-0,968	0,9
Разрушающее напряжение при растяжении, МПа **Breaking stress at tension, MPa**	430 – 540*	1190 – 2450**	20 – 32	30 – 40
Модуль упругости при растяжении, ГПа **Elastic modulus at tension, GPa**	210	60 – 70**	0,55 – 1,0	1,2 – 1,7
Коэффициент линейного расширения при 20°С, *a*, 1/град **Coefficient of linear expansion at 20 ° C, a, 1 / deg**	1,1 – 1,4 $*10^{-5}$	0,5 – 1,2 $*10^{-5}$	13 – 20 $* 10^{-5}$	9 – 12 $* 10^{-5}$
Коэффициент теплопроводности, Вт/м*К **Coefficient of thermal conductivity, W / m * K**	46	0,3 – 0,35	0,42 – 0,44	0,19 – 0,21

* - для используемых марок сталей (for used steel grades)

** - применяем максимальные значения как для однонаправленного пластика (apply the maximum values for both unidirectional plastic)

ПРОЧНОСТЬ - ГЕРМЕТИЧНОСТЬ

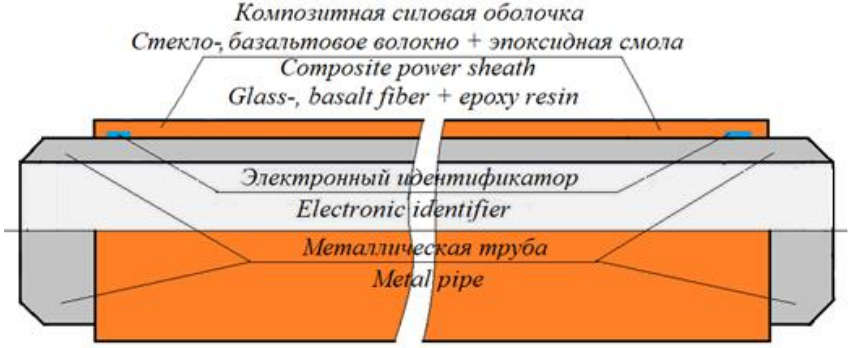
Многолетний опыт экспериментальной работы и сотрудничества с ведущими специалистами исследовательских, проектных и эксплуатирующих предприятий нефтегазовой отрасли позволил выявить главные требования к инновационным решениям в трубопроводном транспорте:

- Гарантированное обеспечение герметичности
- Заданные прочностные характеристики
- Наличие и применимость базы нормативной документации
- Применимость наработанных методов и средств контроля и диагностики
- Возможность обеспечения дополнительных эксплуатационных характеристик (усиленная антикоррозионная и гидроизоляционная стойкость, заданные теплоизоляционные свойства и др.)
- Ремонтопригодность
- Снижение удельного веса изделия
- Эффективные экономические показатели

КОРРОЗИЯ РАССТРЕСКИВАНИЕМ ОТ НАПРЯЖЕНИЯ И ГИБРИДНАЯ МЕТАЛЛОКОМПОЗИТНАЯ ТРУБА (ГМКТ)

Напряженное состояние металла труб в значительной мере оказывает влияние на его коррозионную стойкость, и в частности на КРН. В связи с этим снижение максимальных напряжений в теле труб при возрастающих рабочих давлениях становится актуальной задачей. Одно из решений этой задачи лежит в плоскости изменения конструкции трубы.

Возникает предложение применить полимерные композитные материалы в новой конструкции трубы, представленной на Рис. и состоящей из внутреннего слоя с металлической трубой-основой, воспринимающей осевые нагрузки, и обеспечивающей гарантированную газонепроницаемость, и наружного (внешнего) силового слоя из полимерных композитных материалов, обеспечивающего восприятие кольцевых нагрузок и создающего упрочнение – гибридная металлокомпозитная труба (ГМКТ)



Конструкция гибридной металлокомпозитной трубы (ГМКТ)
The construction of a hybrid metal-composite pipe (GMLT)

Такая конструкция трубы приводит к уменьшению металлоемкости трубопровода на 50-65% и существенному снижению кольцевых напряжений (ниже пороговых значений) в металлической части трубопровода, что обеспечивает высокую стойкость в том числе и от коррозионного растрескивания напряжением (КРН).

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ТРУБЫ ГМКТ

ГМКТ состоит из двух основных слоев рассчитываемых по толщине, внутреннего, из металлической трубы-основы и наружного (внешнего), из полимерно-композитной оболочки (стеклопластик и др. – базальтопластик, углепластик), изготавливаемой методами комбинированной, спирально-кольцевой намотки.

Толщина расчетной утоненной металлической трубы обеспечивает герметичность и прочность гибридной трубы в целом вдоль оси ($\sigma_{1гт}$) и частично по кольцу ($0{,}5\sigma_{2гт}$), при этом полимерно-композитная силовая оболочка совместно с металлической трубой обеспечивает прочность гибридной трубы, прежде всего, в кольцевом направлении и частично в осевом:

$$\sigma_{2мет} + \sigma_{1ко} = 2\sigma_{1гт} = \sigma_{2гт}$$

Стеклянные (базальтовые) волокна выше по прочности на разрыв (вдоль волокон), чем сталь и при намотке укладываются на трубу с усилием натяжения около 100 кг, компенсируя растягивающие кольцевые напряжения, возникающие в металлической трубе-основе от внутреннего эксплуатационного давления, тем самым способствуют борьбе против распространения КРН.

НОВАЯ КОНСТРУКЦИЯ ТРУБЫ ГМКТ

Расчет толщины металлической части трубы (Calculation of the thickness of the metal part of the pipe):

$$h_1 = \frac{P_{рм} \times R_м}{2\sigma_т} \qquad (1)$$

Расчет толщины стенки стеклопластиковой оболочки (Calculation fiberglass shell wall thickness):

$$h_{2ко} = \frac{P_{рко}\, R_{ко}}{S_{ко}} \qquad (2)$$

где

$R_{ко}$ – внутренний радиус композитной оболочки (равен внешнему радиусу металлической трубы)

$R_м$ – внутренний радиус металлической трубы

Рэд – эксплуатационное давление в трубе;

$P_р = P_э \cdot f$ – расчетное давление в трубе;

$P_{рм}$ – расчетное давление в металлической трубе;

$P_{рко}$ – расчетное давление в композитной оболочке;

$S_{ко}$ = 130 кгс/мм^2 – напряжения в стенке стеклопластиковой оболочки;

$\sigma_т$ = 34,5 кгс/мм^2 – предел текучести стали 09Г2С.

Зависимости (1) и (2) обладают значительной вариабельностью и позволяют выбрать оптимальный вариант конструкции ГМКТ противодействующей распространению КРН.

Сравнительные технико-экономические параметры металлических и гибридных металлокомпозитных труб (ГМКТ)

Comparative technical and economic parameters metal and hybrid metal-composite pipes (HMCP)

№ п/п	НАИМЕНОВАНИЯ NAMES	ПРИМЕР №1 Ø1400 мм, P=14,0 МПа (подземный)	ПРИМЕР №2 Ø630 мм, P=28,0 МПа (подводный)	ПРИМЕР №3 Ø820 мм, P=28,0 МПа (подводный)
1.1	Облегченная труба из стали марки 20 (50 000 ₽ т) Lightweight pipe of steel grade 20 (50 000. ₽ t): - толщина стенки, мм (wall thickness, mm) - вес погонного метра, кг (weight per meter, kg) - стоимость, ₽ п. м (cost, ₽ p. m)	14,0 485,0 24 250,0	12,0 182,0 9 100,0	16,0 317,0 15 850,0
1.2	Композитная силовая оболочка – стеклопластик (Composite power sheath – Glass Resin Epoxy): - толщина стенки, мм (wall thickness, mm) - вес погонного метра, кг (weight per meter, kg) - стоимость, ₽ п. м (cost, ₽ p. m)	38,0 322,1 64 672,0	33,0 127,2 23 394,0	42,0 210,4 35 776,0
1.3	Гибридная металлокомпозитная труба (ГМКТ) Hybrid Metal Composite Tube (GMCP) - толщина стенки, мм (wall thickness, mm) - вес погонного метра, кг (weight per meter, kg) - стоимость, ₽ п. м (cost, ₽ p. m)	52,0 807,1 88 922,0	45,0 309,2 32 494,0	58,0 527,4 51 626,0
2.1	Стандартная труба, сталь 09Г2С (80 т. р. т): Standard pipe, steel 09Г2С (80 000 ₽ т) - толщина стенки, мм (wall thickness, mm) - вес погонного метра, кг (weight per meter, kg) - стоимость, ₽ п. м (cost, ₽ p. m)	32,0 1 125,0 90 000,0	27,0 413,5 33 080,0	32,0 650,0 52 000,0
2.2	Нанесение полимерной защиты, ₽ п.м. Application of polymer protection, ₽ p.m.	14 000	6 000	10 000
2.3	Стандартная труба, сталь 09Г2С с защитой: Standard pipe, steel 09Г2С with protection - толщина стенки, мм (wall thickness, mm) - вес погонного метра, кг (weight per meter, kg) - стоимость, ₽ п. м (cost, ₽ p. m)	35,0 1 127,0 104 000,0	30,0 414,5 39 080,0	35,0 651,5 62 000,0
3	Экономический эффект на 1 км трубопров ода только за счет конструкции трубы The economic effect on 1 km of the pipeline is only due to the construction of the pipe	15,078 млн. ₽	6,586 млн. ₽	10,37 млн. ₽

ВЫВОДЫ

Суммируя вышесказанное, за счет внедрения ГМКТ можем получить противодействие распространению КРН:

1 – от механики нагружения, компенсируя растягивающие кольцевые напряжения в металле высокой прочностью композитной силовой оболочкой;
2 – от металлургического качества металла, за счет утонения стенки металлической трубы-основы;
3 – от коррозионной среды, за счет гидроизоляционных и теплоизоляционных свойств материала композитной силовой оболочки.

Также, дополнительно, можно ожидать комплекс преимуществ, получаемый благодаря применению ГМКТ:

- сокращение трудоемкости процессов сварки и повышение качества сварочного шва;
- сокращение сроков строительно-монтажных работ;
- повышения надежности работы ГМКТ в составе нефтегазопроводов;
- увеличения срока службы ГМКТ и трубопровода в целом;
- увеличение условного прохода и пропускной способности ГМКТ;
- снижения веса конструкции;
- снижение закупочной стоимости трубы и СМР.

Важно отметить:

- применение ГМКТ, благодаря конструкции на базе металлической трубы-основы и возможности использования традиционных способов соединения и диагностики трубопроводов, предполагает использование, в основном, существующей нормативной базы, что дает возможность начать проводить их испытания и опытное применение практически уже сегодня;
- конструкция ГМКТ «похожа» на конструкцию труб для морских трубопроводов, поэтому проще найти подтверждение наших решений, выводов и предположений в уже имеющейся статистики и изучении работы данных трубопроводов.

Экономический эффект от применения гибридных металлокомпозитных труб большого диаметра, работающих при высоких рабочих давлениях (от 10 МПа) особенно при наличии фактора КРН составит свыше 10 млн. руб. на один км. и это только на этапе покупки трубы в заводской гидроизоляции.

ПРИМЕРЫ СУЩЕСТВУЮЩИХ РАБОТАЮЩИХ РЕШЕНИЙ

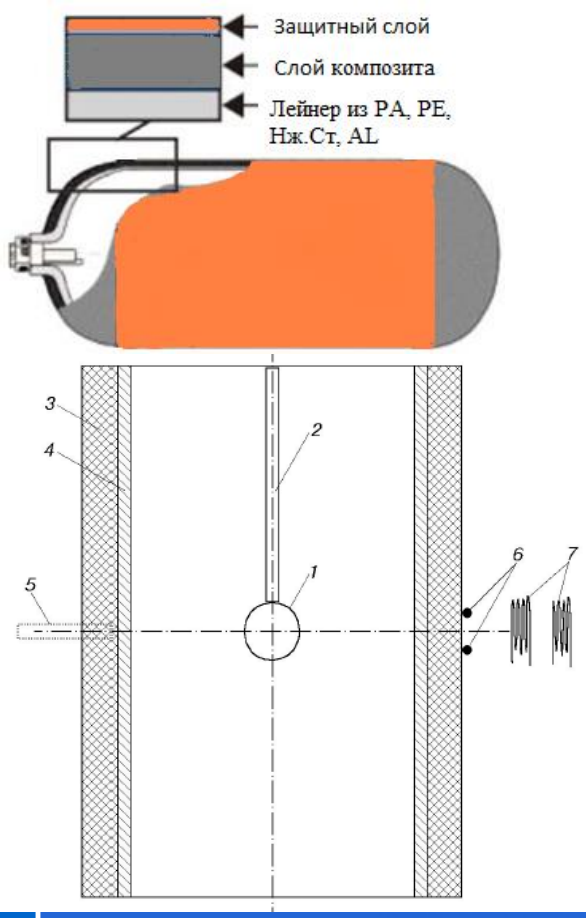
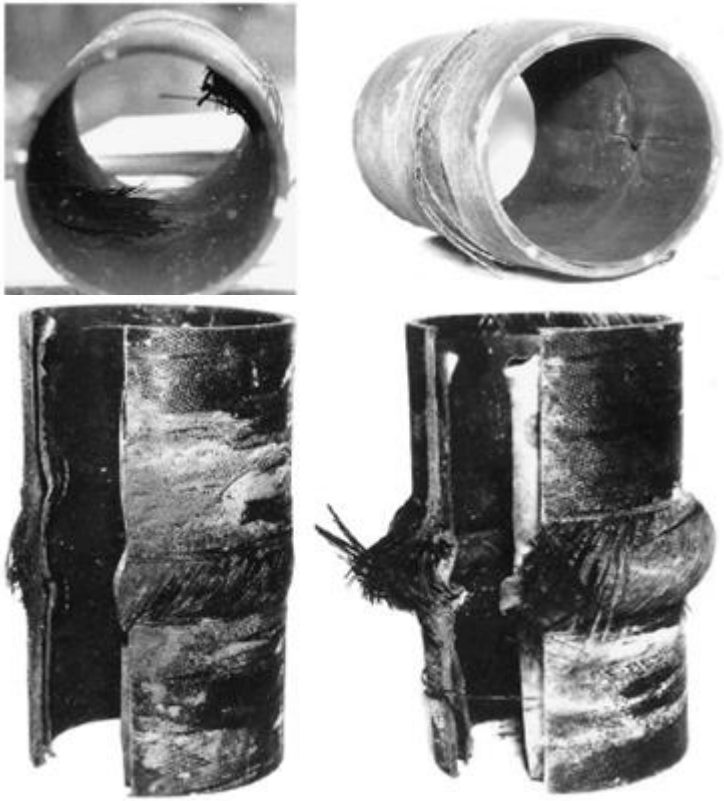


Рис. 1. Схема эксперимента:
1 — заряд ВВ из сплава ТГ 50/50; *2* — стержень для подвески ВВ; *3* — базальтопластиковая оболочка; *4* — стальная оболочка; *5* — область скоростной щелевой фоторегистрации радиального расширения оболочки; *6* — окружные тензодатчики с базой $2\pi R$; *7* — продольные тензодатчики КФ-5 с базой 20 мм

БЕЗОПАСНЫЙ ХАРАКТЕР РАЗРУШЕНИЙ



СПОСОБ РЕМОНТА ТРУБОПРОВОДОВ

ИЛИ

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ТРУБОПРОВОДОВ НАМОТКОЙ КОМПОЗИТНОЙ СИЛОВОЙ ОБОЛОЧКОЙ

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ

ПАТЕНТ

НА ИЗОБРЕТЕНИЕ

№ 2640132

Способ ремонта трубопровода

Патентообладатели: *Щеголев Евгений Михайлович (RU), Усенов Елдияр Токтогулович (RU), Тарасюк Владимир Иванович (RU), Калинников Владимир Александрович (RU), Смирнов Леонид Николаевич (RU), Хоменко Владимир Иванович (RU)*

Авторы: *Щеголев Евгений Михайлович (RU), Усенов Елдияр Токтогулович (RU), Тарасюк Владимир Иванович (RU), Калинников Владимир Александрович (RU), Смирнов Леонид Николаевич (RU), Хоменко Владимир Иванович (RU)*

Заявка № 2016147607
Приоритет изобретения 06 декабря 2016 г.
Дата государственной регистрации в Государственном реестре изобретений Российской Федерации 26 декабря 2017 г.
Срок действия исключительного права на изобретение истекает 06 декабря 2036 г.

Руководитель Федеральной службы по интеллектуальной собственности

Г.П. Ивлиев

ГОСУДАРСТВЕННАЯ ПОДДЕРЖКА

- Перечень поручений Президента Российской Федерации от 12.11.2012г. №Пр-3028 по итогам заседания Совета при Президенте Российской Федерации по модернизации экономики и инновационному развитию России от 24.10.2012г
- Поручения Председателя Правительства Российской Федерации от 21 ноября 2012 г. № ДМ-П8-6998
- Стратегия инновационного развития Российской Федерации на период до 2020 года, утвержденная Распоряжением Правительства РФ от 8.12.2011 №2227-р
- Государственная программа РФ «Развитие промышленности и повышение ее конкурентоспособности на период до 2020 года» (РП № 91-р от 30.01.2013г)
- ✓ Подпрограмма 14. Развитие производства композиционных материалов (композитов) и изделий из них
- Развитие отрасли производства композитных материалов ("дорожная карта") (РП № 1307-р от 24.07.2013г)
- Об утверждении Правил предоставления субсидий из федерального бюджета на поддержку развития производства композиционных материалов (композитов) и изделий из них в рамках реализации российскими организациями комплексных инновационных проектов по созданию высокотехнологичной продукции (Постановление Правительства РФ от 30 октября 2013 г. № 972)
- Разработка и внедрение государственных отраслевых стандартов (ГОСТ Р)

СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!

THANK YOU FOR ATTENTION!

Докладчики
– Хоменко Владимир Иванович, тел. +7 916 8054067, e-mail: khomenko_v@mail.ru (Vladimir Khomenko)
– Токе Эльдиар Майравич, тел. +7 926 7986357, e-mail: tokeem@mail.ru (Eldiar Toke)

Контакты

Российский Союз Нефтегазостроителей – 119571, г. Москва, ул. Академика Анохина, дом 11
тел. (495) 276-00-64, факс (495) 276-16-17
e-mail: info@rosngs.ru

АО «ЦНИИСМ» – 141371, Московская обл., Сергиево-Посадский р-н, г.Хотьково, ул. Заводская, д.1,
тел. (495) 993-00-11, факс (49654) 3-82-94
e-mail: tsniism@tsniism.ru