

УДК 622.692

**В.В. Ерофеев, А.А. Альмухаметов, Р.Г. Шарафиев**, (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация),  
**С.В. Ерофеев** (ООО «ПромСтандарт», г. Челябинск, Российская Федерация),  
**Р.А. Гильманшин, В.М. Якупов, Л.В. Макаров, О.Е. Зубкова** (Уфимский государственный нефтяной технический университет, г. Уфа, Российская Федерация)

## ПОВЫШЕНИЕ ЭКСПЛУАТАЦИОННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ ОТРЕМОНТИРОВАННЫХ УЧАСТКОВ ГАЗОПРОВОДОВ И ГАЗОВЫХ СЕТЕЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ ОБЖИМНЫХ ПРИВАРЕННЫХ МНОГОСЕКЦИОННЫХ МУФТ

**V.V. Erofeev, A.A. Almukhametov, R.G. Sharafiyev** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation), **S.V. Erofeyev** (Promstandart LLC, Chelyabinsk, Russian Federation), **R.A. Gilmanshin, V.M. Yakupov, L.V. Makarov, O.E. Zubkova** (Ufa State Petroleum Technological University, Ufa, Russian Federation)

## APPLICATION OF PRESSED WELDED MULTISECTION COUPLINGS FOR IMPROVEMENT OF OPERATIONAL SAFETY OF REPAIRED SECTIONS OF GAS PIPELINES AND GAS NETWORKS

### **Введение**

Одним из эффективных методов ремонта поврежденных линейных участков газопроводов является ремонт с использованием обжимных приварных многосекционных муфт, в соответствии с которым на поврежденном участке трубопровода выполняется телескопическое соединение «муфта - труба» с помощью герметизирующих кольцевых угловых швов с последующей установкой технологических колец путем дополнения углового шва до стыкового.

Данная установка дополнительных колец вызвана недостаточной прочностью стандартных равнокатетных швов.

### **Цели и задачи**

Предложить замену равнокатетных стандартных швов на неравнокатетные и рассчитать их размеры.

### **Методы**

Теоретический анализ статической прочности телескопических соединений.

### **Background**

One of the effective methods for repairing damaged linear sections of gas pipelines is repair by crimped welded multisection couplings. In accordance with this method a telescopic connection «coupling - pipe» is performed on the damaged pipeline section by means of sealing annular corner seams with the subsequent installation of technological rings by adding a corner seam to butt. This installation of additional rings is caused by insufficient strength of standard equal-catechetical joints.

### **Aims and Objectives**

To propose a substitution of equal-catechetical standard joints for unequal and calculate their dimensions.

### **Methods**

Theoretical analysis of the static strength of telescopic joints.

### Результаты

Определены основные параметры неравнокатетных швов (угол наклона, объем (площадь) наплавленного металла, глубина проплавления стенки труб) при заданной степени их толстостенности, обеспечивающие равнопрочность сварных соединений основному металлу трубопровода.

Предлагаемый метод использования телескопического соединения «муфта - труба» позволяет отказаться от приварки дополнительных колец и снижает тем самым металлоемкость муфты и расход наплавленного металла.

### Results

The main parameters of unequal-catechetical joints (inclination angle, volume (area) of the weld metal, depth of penetration of pipe wall) are determined for a given thickness degree, providing equal strength of the welded joints to the main pipeline metal.

The proposed method of using the telescopic connection «coupling - pipe» allows to refuse from welding of additional rings and thereby to reduce metal capacity of the coupling and the consumption of the welded metal.

---

**Ключевые слова:** газопроводы, ремонтные муфты, неравнокатетные сварные соединения, равнопрочность сварных соединений основному металлу

---

**Key words:** gas pipelines, repairing couplings, unequal catechetical welded joints, full-strength of welded joints to the base metal

---

Промышленные регионы и крупные предприятия нуждаются в непрерывной поставке энергетического сырья, это обстоятельство исключает остановку магистрального газопровода и диктует разработку предупредительного комплекса мероприятий для обеспечения эксплуатационной надёжности трубопроводов путём исключения разрушений.

В этом комплексе значительное место должны занимать конструктивно-технологические методы устранения осязляющего влияния геометрических нарушений формы и дефектов стенок трубы на прочность и долговечность трубопроводных систем [1-5]. В последние годы для восстановления прочности участков с повреждениями и дефектами всё шире применяются защитные усиливающие конструкции на основе безвырезной технологии ремонта газопроводов. Одним из перспективных методов ремонта поврежденных участков газопроводов и газовых сетей без остановки перекачки газа является использование обжимных приварных многосекционных муфт.

В соответствии с принятой технологией монтажа при помощи ремонтных муфт на поврежденном участке трубопровода предполагается выполнение телескопических соединений «муфта - труба» с помощью герметизирующих кольцевых угловых швов (рисунок 1, а) с последующей установкой технологических колец путем дополнения углового шва до «стыкового» (рисунок 1, б).

Данная установка дополнительных технологических колец обусловлена недостаточной прочностью угловых стандартных швов, что было установлено в результате многочисленных опытных испытаний.

Однако, как было установлено ранее [6, 7], надежность и работоспособность таких соединений, относящихся к классу телескопических сварных соединений, неразрывно связаны с совершенствованием расчетных методов оценки их несущей способности и разработкой на их основе практических рекомендаций по выбору оптимальных геометрических параметров угловых швов.

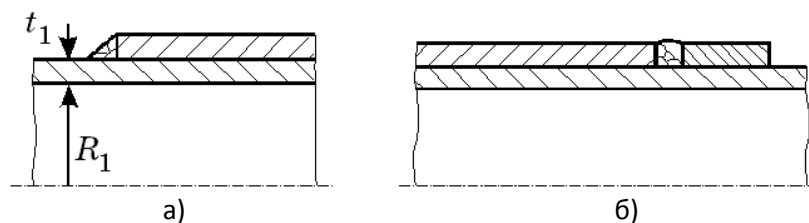


Рисунок 1. Соединение муфты с трубой с помощью герметизирующего углового кольцевого шва (а) и дополнение углового сварного шва до «стыкового» при установке технологического кольца (б)

Существующие методы расчета на прочность рассматриваемых нахлесточных соединений разработаны в основном для листовых конструкций, что существенно ограничивает область их практического использования и снижает достоверность получаемых результатов применительно к газопроводам и газовым сетям, относящимся к классу оболочковых конструкций.

В настоящей работе исследовано влияние геометрических параметров угловых швов ( $\beta$ ), объема (площади) наплавленного металла ( $F$ ), глубины проплавления стенки труб ( $h$ ) и степени их толстостенности ( $\psi_1 = t_1/R_1$ ) на несущую способность телескопических соединений муфт и трубопроводов. Теоретический анализ выполнен с использованием кинематической теоремы предельного равновесия на основе экспериментальных данных, полученных методом муаровых полос и фотоупругости [6-9]. В результате были приняты расчетные схемы, отражающие характер пластического деформирования и особенности напряженного состояния телескопических сварных соединений, выполненных неравнокатетными швами (рисунок 2).

В соответствии с принятыми расчетными схемами очаг пластической деформации в предельном состоянии, характеризующем вязкое разрушение рассматриваемых телескопических соединений «муфта - труба», представлен линиями скольжения  $OA_i$ , совпадающими с образующей поверхности разрушения, имеющей форму конуса и наклоненными к основанию шва под углом  $\theta_i$ .

Величина угла наклона поверхности разрушения  $\theta_i$  определяется из условия расхода минимума энергии на пластическое деформирование и разрушение рассматриваемых соединений.

В зависимости от сочетания геометрических параметров телескопических соединений разрушение соединений может произойти по двум механизмам [3].

Первый характеризуется выходом конической поверхности разрушения на лобовую поверхность углового шва (рисунок 2, а), второй - выходом поверхности разрушения на границу перехода от шва к основному металлу трубы (рисунок 2, б).

Угол наклона поверхности разрушения для рассматриваемых случаев может быть подсчитан по следующим соотношениям:

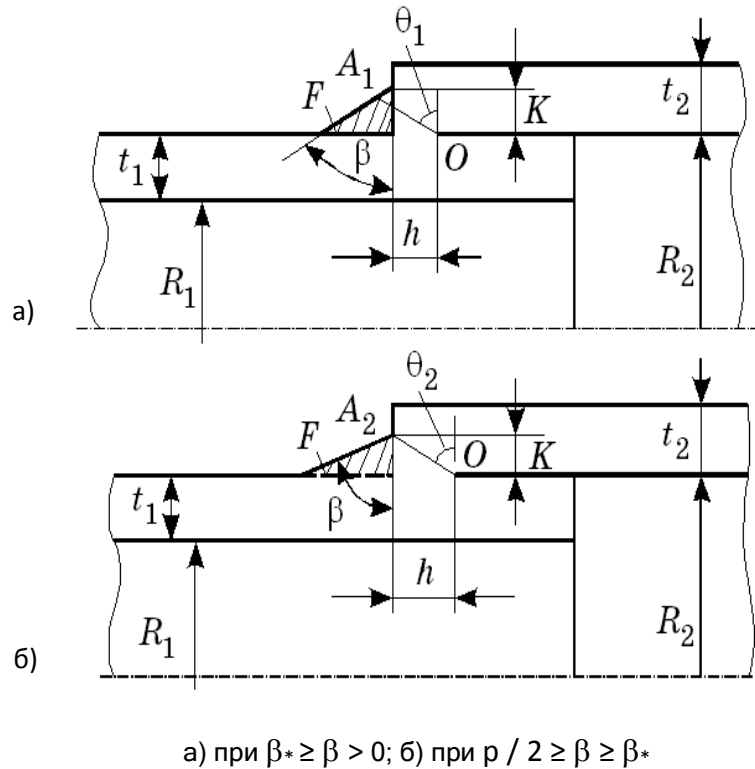
$$\begin{aligned} 0 < \beta \leq \beta^*; \quad \theta_1 &= \pi/2 - \beta/2, \\ \beta^* \leq \beta < \pi/2; \quad \theta_2 &= \arctg(\eta\sqrt{tg\beta}), \end{aligned} \quad (1)$$

где  $\eta = h/\sqrt{2F}$  - относительная глубина проплавления стенки труб;

$\beta^*$  - значение угла наклона лобовой поверхности углового шва, определяющее границу диапазонов предполагаемых механизмов вязкого разрушения телескопических соединений.

Величина  $\beta^*$  определяется из уравнения, вытекающего из геометрических соображений:

$$tg \frac{\beta^*}{2} \sqrt{tg\beta^*} = \frac{1}{\eta}. \quad (2)$$



**Рисунок 2.** Расчетные схемы и механизмы вязкого разрушения телескопических соединений

В результате теоретического анализа были получены следующие соотношения для оценки несущей способности (средних предельных осевых напряжений  $\sigma_{ср}$ ) рассматриваемых сварных соединений:

$$\sigma_{ср} = \frac{1+2\psi_1}{1+\psi_1} \frac{\sigma_B^{\text{III}}}{\sqrt{3}} K_{\eta\beta} \left[ 2\psi_F + \frac{\psi_F^2 K_{\eta\beta} \sin \theta_i \cos \theta_i}{2(1+\psi_1)} \psi_1 \right], \quad (3)$$

где  $\psi_F = \sqrt{2F}/t_1$  - относительная площадь наплавленного металла шва ( $F=0,5K^2 \operatorname{tg}\beta$ , K - размер катета шва у его основания);

$\sigma_B^{\text{III}}$  - предел прочности металла шва;

$\psi_1=t_1/R_1$  - параметр толстостенности трубы ( $t_1, R_1$  - соответственно толщина стенки и внутренний радиус трубы меньшего диаметра);

$K_{\eta\beta}$  - коэффициент, зависящий от геометрических параметров сварных соединений,

$$K_{\eta\beta} = \left( \eta + \sqrt{\operatorname{tg}\beta} \right) \frac{\cos \beta}{\sin(\beta + \theta_i) \sin \theta_i}. \quad (4)$$

Здесь  $\theta_i$  - угол наклона поверхности разрушения, определяемый из соотношения (1).

Анализ полученных соотношений открывает возможности для оптимизации геометрических параметров угловых швов при конструктивно-технологическом проектировании рассматриваемых телескопических соединений муфты и трубы. Так, например, из условия  $d\sigma_{ср}/d\beta = 0$  могут быть получены соотношения, позволяющие по известным значениям относительной глубины проплавления  $\eta$  и степени толстостенности трубы  $\psi_1$  определить оптимальные углы наклона угловых швов  $\beta_{опт}$ , обеспечивающие максимальную несущую способность рассматриваемых соединений. С другой стороны, из условия обеспечения несущей способности телескопических соединений на уровне прочности трубы меньшего диаметра можно получить соотношения, позволяющие оптимизировать геометрические параметры угловых швов с позиции их равнопрочности основному металлу труб. В качестве примера приведем одно из выражений, регламентирующее определенное соотношение между основными геометрическими параметрами телескопического соединения, обеспечивающее равнопрочность соединений основному металлу труб

$$\chi \geq \frac{\left(\frac{2}{\psi_1} + 1\right) \operatorname{ctg} \frac{\beta}{2} \operatorname{tg} \beta - 2\psi_F \sqrt{\operatorname{tg} \beta}}{2 \left[ \frac{2}{\psi_1} + 2 + \psi_F \operatorname{tg} \frac{\beta}{2} \left( \eta \operatorname{ctg} \beta + \sqrt{\operatorname{ctg} \beta} \right) \sin \beta \right]}, \quad (5)$$

#### Список литературы

1. Бакши О.А., Зайцев Н.Л., Маковецкий В.А. Несущая способность лобовых швов нахлесточных соединений // Автоматическая сварка. 1972. № 6. С. 34-37.
2. Бакши О.А., Зайцев Н.Л., Шрон Р.З. Прочность нахлесточных соединений с лобовыми шва // Вопросы сварочного производства: тр. Челябинского политехн. ин-та. 1975. Вып. 168. С. 62-69.
3. Родомакин А.Н., Чахеев А.Л., Гумеров К.М. Испытания соединений труб с полимерными покрытиями в условиях сложных непостоянных нагрузок // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2008. Вып. 4 (74). С. 75-81.
4. Новиков С.В., Родомакин А.Н., Гумеров К.М. Проблемы защиты сварных стыков трубопроводов с внутренним покрытием и способы их решения // Проблемы сбора, подготовки и

где  $\chi = h/t_1 = \eta \psi_F$  - параметр, характеризующий относительную глубину проплавления стенки труб.

На основе полученных результатов можно определить диапазон изменений углов наклона лобовой поверхности угловых швов  $[\beta]_p$ , обеспечивающий равнопрочность телескопических соединений основному металлу трубы при заданных параметрах  $\chi$ ,  $\psi_F$  и  $\psi_1$ .

#### Выводы

1. Представленные результаты исследований позволяют существенно упростить процедуру монтажа ремонтных муфт за счет оптимизации геометрических параметров телескопических соединений «муфта - труба», обеспечивающих равнопрочность соединений основному металлу трубопровода, и исключить установку технологических колец и дополнительную сварку кольцевых стыков.

2. Обеспечение равнопрочности телескопических соединений, выполненных неравнокатетными угловыми швами, основному металлу трубопроводов, позволяет повысить надежность и эксплуатационную безопасность отремонтированных участков газопроводов и газовых сетей с применением обжимных сваренных многосекционных муфт.

#### References

1. Bakshi O.A., Zaitsev N.L., Makovetskii V.A. Nesushchaya sposobnost' lobovykh shvov nakhlestochnykh soedinenii [Carrying Capacity of Frontal Seams of Lap Joints]. *Avtomaticheskaya svarka - Automatic Welding*, 1972, No. 6, pp. 34-37. (in Russ.).
2. Bakshi O.A., Zaitsev N.L., Shron R.Z. Prochnost' nakhlestochnykh soedinenii s lobovymi shva [Strength of Lap Joints with Frontal Seams]. *Trudy Chelyabinskogo politekhnicheskogo instituta «Voprosy svarochnogo proizvodstva»*. [Scientific Works of Chelyabinsk Polytechnical Institute «Questions of Welding Production»]. 1975, Issue 168, pp. 62-69. (in Russ.).
3. Rodomakin A.N., Chakheev A.L., Gumerov K.M. Ispytaniya soedinenii trub s polimernymi pokrytiyami v usloviyakh slozhnykh nepostoyannykh nagruzok [Polymer-Coated Pipe Joint Testing under Complex Unsteady Loads].

транспорта нефти и нефтепродуктов. 2009. Вып. 1 (75). С. 62-67.

5. Таранов Р.А., Гумеров К.М. Упругопластическая модель механического конусно-раструбного соединения труб // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2015. Вып. 1 (99). С. 31-38.

6. Таранов Р.А., Гумеров К.М., Сираев А.Г. Испытания конусно-раструбных соединений труб // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. Вып. 4 (98). С. 108-117.

7. Таранов Р.А., Гумеров А.К. Расчётное обоснование прочности конусно-раструбных соединений // Проблемы сбора, подготовки и транспорта нефти и нефтепродуктов. 2014. Вып. 4 (98). С. 118-122.

8. Когут Н.С., Шахматов М.В., Ерофеев В.В. Несущая способность сварных соединений. Львов: Свит, 1991. 184 с.

*Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2008, Issue 4 (74), pp. 75-81. (in Russ.).

4. Novikov S.V., Rodomakin A.N., Gumerov K.M. Problemy zashchity svarnykh stykov truboprovodov s vnutrennim pokrytiem i sposoby ikh resheniya [Protection of Internally Coated Pipeline Welds: Problems and Solutions]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, Ufa, 2009, Issue 1 (75), pp. 62-67. (in Russ.).

5. Taranov R.A., Gumerov K.M. Uprugoplasticheskaya model' mekhanicheskogo konusno-rastrubnogo soedineniya trub [Elastoplastic Model of Mechanical Cone-Spigot Pipeline Joint]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, Ufa, 2015, Issue 1 (99), pp. 31-38. (in Russ.).

6. Taranov R.A., Gumerov K.M., Siraev A.G. Ispytaniya konusno-rastrubnykh soedinenii trub [Test of Cone-Socket Connections of Pipes]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, Ufa, 2014, Issue 4 (98), pp. 108-117. (in Russ.).

7. Taranov R.A., Gumerov A.K. Raschetnoe obosnovanie prochnosti konusno-rastrubnykh soedinenii [Strength Substantiation of Cone-Socket Design of Pipeline Connections]. *Problemy sbora, podgotovki i transporta nefi i nefteproduktov - Problems of Gathering, Treatment and Transportation of Oil and Oil Products*, 2014, Issue 4 (98), pp. 118-122. (in Russ.).

8. Kogut N.S., Shakhmatov M.V., Erofeev V.V. *Nesushchaya sposobnost' svarnykh soedinenii* [Bearing Capacity of Welded Joints]. L'vov, Svit, 1991. 184 p. (in Russ.).

#### Авторы

• Ерофеев Валерий Владимирович, д-р техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Технология нефтяного  
аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: ervv52@mail.ru

• Альмухаметов Азат Ахатович, канд. техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Вычислительная техника  
и инженерная кибернетика»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: aza73@mail.ru

#### The Authors

• Yerofeev Valery V., Doctor of Technical Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Oil Processing Equipment Technology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: ervv52@mail.ru

• Almuhametov Azat A., Candidate of Technical  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Computer Engineering and  
Cybernetics Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: aza73@mail.ru



• Шарафиев Роберт Гарафиевич, д-р техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Профессор кафедры «Технология нефтяного  
аппаратостроения»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
тел. (347) 243-16-30  
e-mail: sharafiev47@mail.ru

• Sharafiev Robert G., Doctor of Technical  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Professor of Oil Processing Equipment Technology  
Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
tel: (3472) 43-16-30  
e-mail: sharafiev47@mail.ru

• Ерофеев Сергей Валерьевич, канд. техн. наук  
ООО «ПромСтандарт»  
Директор  
Российская Федерация, 454048, г. Челябинск,  
ул. Образцова, 26А, офис 2

• Yerofeev Sergey V., Candidate of Technical  
Sciences  
PromStandart LLC  
Director  
Office 2, 26A, Obrastsov str., Chelyabinsk, 454048,  
Russian Federation

• Гильманшин Рустам Альбертович,  
канд. экон. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Экономическая теория»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1

• Gilmanshin Rustam A., Candidate of Economic  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Economic Theory Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation

• Якупов Вагизьян Миннигалиевич  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры «Математика»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: kafedra-matematiki@mail.ru

• Yakupov Vagizyan M.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Department «Mathematics»  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation,  
e-mail: kafedra-matematiki@mail.ru

• Макаров Леонид Владимирович  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Директор ООО «МИП УГНТУ НПЦ «Нефтегаз  
инжиниринг»  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: leonid.ufa@mail.ru

• Makarov Leonid V.  
Ufa State Petroleum Technological University  
Director, LLC «SIE USPTU «Neftegaz Engineering»  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: leonid.ufa@mail.ru

• Зубкова Ольга Евгеньевна, канд. техн. наук  
Уфимский государственный нефтяной  
технический университет  
Доцент кафедры механики и конструирования  
машин  
Российская Федерация, 450062, г. Уфа,  
ул. Космонавтов, 1  
e-mail: ZubkovaOE@mail.ru

• Zubkova Olga E., Candidate of Technical  
Sciences  
Ufa State Petroleum Technological University  
Assistant Professor of Mechanics and Machines  
Constaction Department  
1, Kosmonavtov str., Ufa, 450062,  
Russian Federation  
e-mail: ZubkovaOE@mail.ru