

---

## ИННОВАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ СОЗДАНИЯ МАГИСТАРЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ НЕФТИ И ГАЗА

---

**Шкарупило Александр Викторович**

ООО «Тайфун» инженер ПТО

ООО "Тайфун" головной офис в Москве. Работы производятся в Ханты-Мансийском автономном округе, Коми, Саха

### Аннотация

---

Представлен новый способ совместного экспандирования труб в линии нефтегазопровода. Совместная пластическая деформация расширения (экспандирование) обеих соединяемых труб позволяет существенно повысить точность изготовления трубопровода. Также предложен метод сборки нефтегазопроводов с использованием втулочной сварки, данный способ может быть использован при отсутствии на участке монтажа эффективных экспандеров.

---

*Ключевые слова:* нефтегазопроводы, трубы, экспандирование, сварка, надёжность.

---

## INNOVATIVE TECHNOLOGIES OF OIL AND GAS TRUNK PIPELINES CREATION

---

**Alexander V. Shkarupilo**

LLC "Tayfun" engineer, industrial engineering unit

### ABSTRACT

---

A new method of joint expansion of pipes in the oil and gas pipeline line is presented. Joint plastic expansion deformation (expansion) of both connected pipes can significantly improve the accuracy of the pipeline. Also, the method of assembling oil and gas pipelines using bushing welding is proposed, this method can be used in the absence of effective expanders on the installation site.

*Keywords:* oil and gas pipelines, pipes, welding, reliability.

### **Введение**

Одним из основных направлений развития энергетики является транспортировка энергоносителей, в частности нефти и газа, на значительные расстояния к потребителям.

По итогам 2017 года поставки российского газа в страны дальнего зарубежья увеличились на 8,1%. Всего экспорт российского газа составил 193,9 млрд м<sup>3</sup>.

В январе 2017 года ПАО «Газпром» установило исторический рекорд месячных поставок 19,1 млрд м<sup>3</sup>, и 19 декабря 2017 новый рекорд суточных поставок 640 млн м<sup>3</sup>.

Несмотря на нестабильную геополитическую ситуацию и санкционное давление со стороны США, поставки российского газа в страны Северно-Западной и Центральной Европы возросли.

Данные страны являются целевыми потребителями газа для проекта «Северный поток - 2». Одновременно возросла и добыча газа на 12,4%, т.е. до 471 млрд м<sup>3</sup> [1].

По прогнозам, мировое потребление энергоресурсов к 2035 году, увеличится не менее чем на 20%. Даже учитывая развитие технологий возобновляемых источников энергии и атомной энергетики, природный газ, в отличие от нефти и угля, увеличит долю в общей энергосистеме к 2035 году с 22 до 23% [6].

В обозримом десятилетии, потребление газа в мире будет увеличиваться значительными темпами – в среднем около 1,5% в год [2].

При этом экспортные поставки природного газа из России в страны азиатско-тихоокеанского региона будут расти с развитием газотранспортных систем. На сегодняшний день в стадии строительства находятся газопровод «Сила Сибири» и Амурский газоперерабатывающий завод. Общая протяженность газопровода составит около 3000 км, а проектная мощность 61 млрд. м<sup>3</sup> газа в год.

Монтаж газопровода начат осенью 2014 г., и на 1 января 2017 г. собрано 700 км труб, проектный срок завершения строительства - 2019-2020 года [3].

Аналогичная ситуация наблюдается и на нефтяном рынке. Поставки нефти из Российской Федерации в Китай, по сравнению с 2015 годом возросли на 24%, и достигли 52,5 млн. тонн, для сравнения Саудовская Аравия поставила нефти в Китайскую Народную Республику в объёме 51 млн. тонн в 2016 году [4].

Одной из причин указанного роста послужило развитие нефтепроводной системы «Восточная Сибирь - Тихий океан».

### **Результаты и обсуждение**

Ниже проделаем обзор развития нефтегазовой отрасли Российской Федерации в контексте совершенствования систем трубопроводного транспорта и технологии производства труб. На сегодняшний день в Российской Федерации трубы для магистральных нефтегазопроводов изготавливают в соответствии с требованиями ГОСТ ISO 3183-2015, ГОСТ 20295-85, ГОСТ 31447-2012, ГОСТ 31448-2012. При строительстве нефтепроводов и газопроводов применяют трубы из сталей класса прочности X90, X100 и X120.

Но изготовленные вальцовкой и сваркой трубы имеют низкую точность, что вызывает определённые технологические сложности при использовании их в системе магистральных трубопроводов. Наиболее современными методами производства труб являются JSOE-формовка и UOE-формовка с последующим экспандированием.

Технология прессовой формовки JSOE разработана фирмой SMS Meer (Германия). Первой стадией процесса является загиб кромок на специальном прессе. Далее, листовая заготовка подвергается поэтапной деформации с помощью пуансона.

Реализация данного процесса начинается с одной стороны заготовки, до получения J-образного профиля. Затем заготовка формуется с другой стороны, получается С-образный профиль. На завершающем этапе образуется открытый О-образный профиль [5].

Реализация процесса прессовой UOE-формовки состоит из трех этапов. На первом этапе осуществляется подгиб кромок листовой заготовки. На втором этапе трубную заготовку перемещают на пресс, где её формируют до U-образной формы.

Далее, на завершающем этапе, заготовке на прессе вертикального типа придают О-образную форму [5].

Полученные данными способами трубные заготовки подвергают сварке, с образованием продольного сварного шва, по всей длине трубы. Затем трубы необходимо подвергнуть экспандированию, т.е. пластической деформации расширения давлением жёстких сегментов на внутреннюю поверхность трубы, для увеличения точности и выравнивания геометрической формы труб.

В соответствии с требованиями ГОСТ 31447-2012 величина остаточной пластической деформации при экспандировании не должна превышать 1,2 %.

На рис. 1 показано положение экспандера перед его вводом в трубу. После каждого цикла деформации экспандер последовательно перемещают вдоль оси трубы на определенный шаг и повторяют цикл деформации расширения трубы [7].



**Рис. 1. - Положение экспандера перед его вводом в трубу**

Экспандирование реализуют за несколько шагов, последовательно по длине трубы, с перекрытием зоны деформации в предыдущем этапе процесса деформации.

Применение операции расширения труб давлением на их внутреннюю поверхность по всей длине трубы потребовало бы слишком больших усилий и соответственно массы и стоимости экспандеров.

Поэтому применяют экспандирование шагами по 2...4 м, с последовательным перемещением экспандера по длине трубы. Реализация процесса экспандирования одной отдельно взятой трубы не позволяет обеспечить точность сборки труб в магистральных трубопроводах.

При сборке и сварке трубопроводов из-за отклонений размеров диаметров труб и их смещений, на стыках соседних труб неизбежно возникают «ступеньки», увеличивающие гидравлическое сопротивление и создающие колебания давлений. Данные «ступеньки» выступают в роли турбулизаторов потока.

Это уменьшает долговечность труб и может привести к их разрушению. На участке трубопровода длиной в 100 км и при длине труб в 12 м, таких ступенек будет 8300, что является негативным фактором для долговечности магистрали [6].

Статистические исследования аварийности трубопроводов, а также анализ результатов диагностики внутритрубного пространства выявляют, что способ формовки и технология сварки серьёзно влияют на протекание стресс-коррозии [7].

Так же известно, что большая доля разрушений газопроводов диаметром 1420мм, из стали X70 происходит в околошовной зоне, на расстоянии до 200 мм от продольного шва [8].

При этом ряд исследователей [9] предполагают полезным введение в трубопроводы искусственных турбулизаторов потока, т.к. турбулентный режим течения жидкости способствует интенсификации теплообмена от стенки трубы к транспортируемому продукту, это обстоятельство приводит к сокращению времени на разрушение пограничного слоя и снижению времени прокачки высоковязких нефтепродуктов.

Но в работе [9] не рассмотрены вопросы надёжности и долговечности трубопроводов, а вибрация, создаваемая турбулентным движением продуктов, способна значительно снизить ресурс транспортной системы. Важно помнить, что количество разрушений трубопроводов в настоящее время высоко. Это в значительной мере определяется неточностями в сборке отдельных труб в линии трубопровода.

Неизбежные «ступеньки» на стыках труб не только приводят к концентрации напряжения, но также создают пульсации давлений, что может существенно уменьшить долговечность и способствовать разрушению трубопроводов.

Как отмечено в [10], из добываемых в Российской Федерации ежегодно 305 млн тонн нефти до 4...5% вытекает при аварийных ситуациях, а экономический ущерб достигает 270 млн USD в год. Высокое качество отдельных труб не гарантирует высокого качества трубопровода в целом из-за неизбежных погрешностей сборки.

В работах [6, 11] была предложена технология с применением совместного экспандирования двух соседних труб перед их сваркой и фиксацией сварным швом их положения при сборке. Этот метод позволяет исключить появление «ступенек» на участках стыковки (соединения) труб в линии трубопровода и повысить его качество.

Новый способ изготовления трубопроводов иллюстрируется рис. 2 и 3. На рис. 2 показаны две трубы 1 и 2, которые необходимо соединить. В полости обеих труб по обе стороны будущей сварки 3 вводят экспандер с сегментами 4 и 5, привод которых выполнен в виде гидравлических цилиндров 6, 7 и 8, 9. [11]

Цилиндры расположены на опорном стержне 10. Также предусмотрены опорные ролики 11 и 12. Узел экспандера вводят в обе соединяемые трубы 1 и 2, которые должны быть соединены сварным швом на участке 3.

На рис. 3 показано положение труб и экспандера после деформации расширения обеих труб сегментами 4, 5 и других (их число обычно принимают равным двенадцати).

Усилие деформации создают гидравлические цилиндры 6, 7 и 8, 9. При этом реализуют деформацию концевых участков труб 1 и 2 одновременно (и одними сегментами), что обеспечивает их соосность и отсутствие «ступенек» на стыке труб.

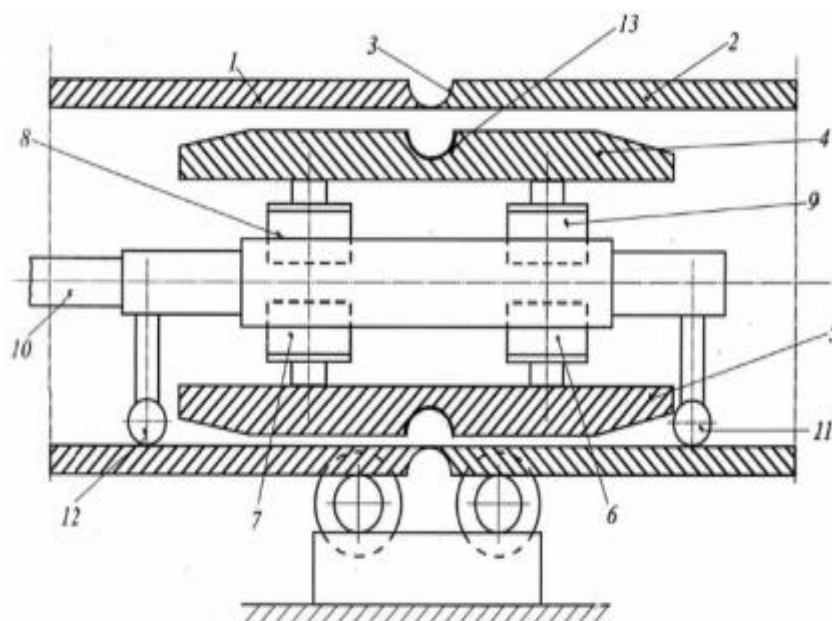


Рис. 2. - Устройство для экспандирования концевых участков двух труб (до начала деформации)

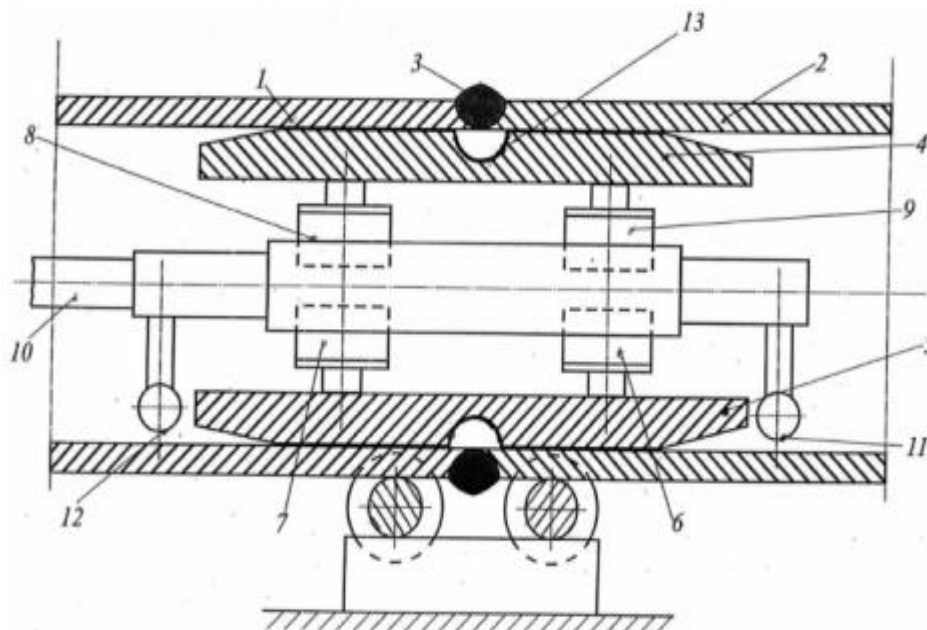


Рис. 3. - Устройство для экспандирования концевых участков двух труб (после осуществления пластической деформации и сварки труб)

Сварку кольцевым швом 3 целесообразно выполнить после деформации труб, а потом плавно уменьшить усилие цилиндров. Разгрузка будет способствовать уменьшению остаточных напряжений после сварки в зоне сварного шва.

Листы 13 защищают поверхность сегментов экспандера от брызг металла при сварке. Они выполнены в виде полуколец с поверхностями в форме тора.

Потом их удаляют для очистки или замены. Их можно на время прикреплять с помощью клея. На рис.4 показаны образцы опытных труб диаметрами 300 мм, которые специально устанавливали со смещениями, разными 0,25 толщины труб.

На рис. 4а показаны образцы после обычной сварки, а на рис. 4б - после сварки при совместной деформации при нагрузке. Ни на одном из двадцати семи образцов,

деформированных совместно, ступенек не возникало. Совместная деформация экспандирования обеих соединяемых труб позволяет существенно повысить точность трубопровода [6, 11].

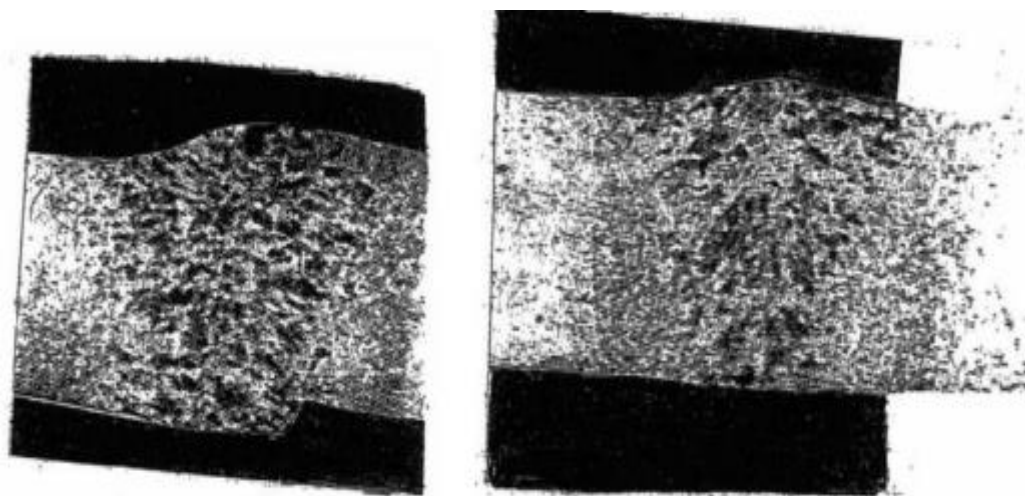


Рис. 4. - Сечение участков соединения двух труб: а - при обычной сварке труб; б - после осуществления совместной пластической деформации труб

В тех случаях, когда на монтаже трубопровода не имеется экспандера для совместной деформации соединяемых труб, можно применить втулочную сварку, рис. 5. Трубы 1 и 2 соединяют с помощью втулки 3, рис. 5. Сначала втулку надевают на трубу 1, уже установленную в линии трубопровода, затем вводят во втулку 3 трубу 2, и стыкуют трубы по плоскости АВ. Соединительная втулка 3 выполнена с вырезами 4 (в данном примере прямоугольного вида).

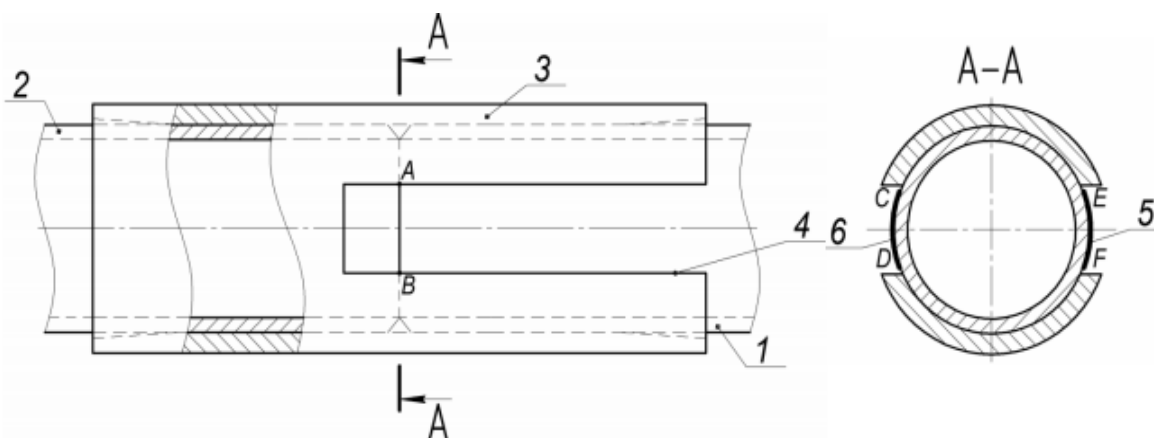


Рис. 5. - Способ сборки трубопроводов при помощи соединительной втулки

Это позволяет осуществить частичную сварку труб 1 и 2 сварными швами 5 и 6 в интервалах CD и EF, что обеспечивает фиксацию труб. Разумеется, нельзя допускать сварку труб с втулкой 3. Число пазов, может быть различным, в примере на рис. 5 - два паза. После сварки в пределах пазов, втулку 3 смещают влево, вдоль трубы 2, и завершают сварку до образования кольцевого шва.

При необходимости, можно после этого выполнить сварку труб и внутренним кольцевым швом. Такое соединение труб, конечно, уступает способу совместного экспандирования, которое обеспечивает точность концов двух труб и совпадения их геометрии, но может быть использовано при отсутствии эффективных экспандеров.

## Заключение

Энергетическая отрасль экономики в настоящее время существенно зависит от надежности трубопроводов для транспортировки газа и нефти. Высокое качество труб не может гарантировать высокое качество трубопроводов, ввиду возможных «ступенек» на стыках труб при их сборке и сварке. Поэтому высокое качество отдельных труб является необходимым, но недостаточным условием обеспечения надежности трубопроводов.

## Список литературы

1. В 2017 году «Газпром» увеличил поставки в дальнее зарубежье [Электронный ресурс] - Режим доступа: <https://iz.ru/691431/2018-01-03/v-2017-godu-gazprom-velichil-postavki-v-dalnee-zarubezhe>
2. Аксютин А.В. Современные риски и возможности для устойчивого развития рынка природного газа // Энергетическая политика. №1. 2017. С. 72.
3. Развитие Дальнего Востока России в контексте будущего Северо-Восточной Азии [Электронный ресурс]: монография / Корейский институт международной экономической политики; Институт экономических исследований ДВО РАН; под ред. Ли Чжэ Ёна, П.А. Минакира. – Хабаровск: ИЭИ ДВО РАН, 2017. – 108 с.
4. Матвеев В.А. Российско-китайское энергетическое сотрудничество: текущие перспективы // Современные российско-китайские отношения. – М.: Изд. ДеЛи плюс, ФГУП Институт дальнего востока РАН, 2017. – С. 103-118.
5. Ментюков К.Ю. Влияние термомеханической обработки при производстве проката и трубного передела на структуру и механические свойства низколегированных сталей для труб большого диаметра // Дисс. канд наук. – М.: ФГУП Центральный научно-исследовательский институт черной металлургии им. И.П. Бардин, 2017.
6. Бровман М.Я. Усовершенствование технологии изготовления сварных трубопроводов // Машиностроитель. – 2017. – № 6. – С. 24-30.
7. Родионова И.Г. Роль технологического и металлургического передела в процессе образования стресс-коррозионных повреждений в трубах из сталей классов прочности Х70-Х80 / И.Г. Родионова, А.И. Зайцев, К.А. Удод, О.Н. Бакланова // Научно-технический сборник – Вести газовой науки. – 2016. – №3(27). – С. 37-47.
8. Тоут А.И. Защита трубопроводов от стресс-коррозии [Электронный ресурс] // АО ВНИИСТ – Режим доступа: <http://www.vniist.ru/vniist/history/press/54.htm>.
9. Гультаев Ю.В. Интенсификация процесса теплообмена при прокачке высоковязких нефтепродуктов // Нефть и газ. – 2018. – №1. – С. 52-54.
10. Шинкин В.Н. Сопротивление материалов для металлургов: учеб. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2017. – 655 с.
11. Бровман М.Я. Усовершенствование процесса сборки трубопроводов // Технология машиностроения. – 2017. – №10. – С. 20-26.

## References



1. In 2017, Gazprom increased supplies to far abroad [Electronic resource] - access Mode: <https://iz.ru/691431/2018-01-03/v-2017-godu-gazprom-uvelichil-postavki-vdalnee-zarubezhe> (In Russian).
2. V. Aksyutin Modern risks and opportunities for the sustainable development of the natural gas market // Energy policy. No. 1. 2017. P. 72 (In Russian).
3. Development of the Far East of Russia in the context of the future of North-East Asia [Electronic resource]: monograph / Korean Institute of international policy; Institute of economic research of the Feb RAS, ed. – Khabarovsk: economic research Institute Feb RAS, 2017. - 108 p (In Russian).
4. Matveev V. A. Russian-Chinese energy cooperation: current prospects // Modern Russian-Chinese relations. - M.: Ed. Delhi plus, FSUE Institute of the far East, RAS, 2017. - P. 103-118 (In Russian).
5. the Influence of thermomechanical processing in the production of rolled steel and the mechanical properties of low-alloy steels for large diameter pipes On the structure and mechanical properties. candidate of Sciences. – M.: Federal state unitary enterprise Central Research Institute of ferrous metallurgy them. I. P. Bardin, 2017 (In Russian).
6. Brovman M. Ya. Improvement of technology of production of welded pipelines. Mashinostroitel. - 2017. - № 6. - P. 24-30 (In Russian).
7. Rodionova I. G. the role of technological and metallurgical redistribution in the process of formation of stress-corrosion damage in steel pipes of strength classes X70-X80 / I. G. Rodionova, A. I. Zaitsev, O. N. Udod Baklanova / / Scientific and technical Collection-News of gas science. - 2016. - №3 (27). - P. 37-47 (In Russian).
8. Tout A. I. Protection of pipelines against stress corrosion [Electronic resource] // AO VNIIST – Mode of access: <http://www.vniist.ru/vniist/history/press/54.htm> (In Russian).
9. The Intensification of the process of pumping of high-viscosity oil products. Oil and gas. - 2018. - №1. - P. 52-54 (In Russian).
10. Shinkin V. N. Resistance of materials for metallurgists: studies. - M.: Ed. Mrs House, 2017. - 655 p (In Russian).
11. Brovman M. J. process development and Assembly of pipelines // Technology of mechanical engineering. - 2017. - №10. - P. 20-26 (In Russian).