

## ОЦЕНКА РАБОТОСПОСОБНОСТИ СВАРНЫХ ТРОЙНИКОВ ПРИ УМЕНЬШЕНИИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ДЛИН

*К.А. Войдер, М.Г. Глухов, Т.С. Есеев, С.И. Ярославцев*

Приведены результаты моделирования механического поведения сварных тройников. Установлен уровень снижения прочности и ресурса работоспособности сварных тройников при уменьшении их строительных длин.

*Ключевые слова:* сварные тройники, моделирование, прочность.

Сварные тройники (рис. 1) находят широкое применение при сооружении трубопроводных систем различного назначения. Одним из важнейших технических параметров сварных тройников, имеющих большое значение при изготовлении, транспортировке и монтаже, является строительная длина  $2L$  [1].

ООО «Газпром ВНИИГАЗ» совместно с ФГБОУ ВПО «Южно-Уральский государственный университет» провели исследования по оценке влияния строительной длины тройников на уровень вязкой прочности и ресурса работоспособности при циклическом изменении внутреннего давления. Для проведения оценки были выбраны два тройника с различной строительной длиной, в процессе расчетов методом конечных элементов (МКЭ) тройники подвергались нагрузке внутренним давлением.

Результаты расчетов планируется использовать для дальнейшей исследовательской работы, в частности, при сопоставлении с результатами проведения натурных полигонных испытаний.

Оценка уровня вязкой прочности проводилась при помощи расчета напряженно-деформированного состояния тройников на упругой и упруго-пластической стадиях нагружения под действием внутреннего давления. Оценку ресурса работоспо-

собности при циклическом изменении внутреннего давления проводили в зонах концентрации напряжений сварных швов, в которых располагались виртуальные трещиновидные надрезы. В процессе циклических нагружений выполнены расчеты коэффициентов интенсивности напряжений по мере подрастания виртуальных трещин.

В качестве испытываемых объектов были выбраны равнопроходные тройники  $dN = DN = 1020$  мм со строительными длинами  $L_1 = 750$  мм и  $L_2 = 1025$  мм, классом прочности К60.

Пространственные геометрические модели тройников, сваренных в узлы для испытаний внутренним давлением, разрабатывались с помощью программы твердотельного моделирования SolidWorks на основе предоставленной технической документации. Учитывая симметричность узлов и нагрузки по двум плоскостям, рассматривалась 1/4 объекта (рис. 2).

Предварительно построенные трехмерные модели в SolidWorks импортировались в ANSYS, где реализовалась процедура МКЭ (рис. 3).

Расчет напряженно-деформированного состояния выполнен для узлов № 1 и 2 на упругой стадии нагружения под действием внутреннего давления  $P_{\text{раб}} = 9,8$  МПа. Расчеты показали, что интенсивность напряжений по Мизесу при рабо-

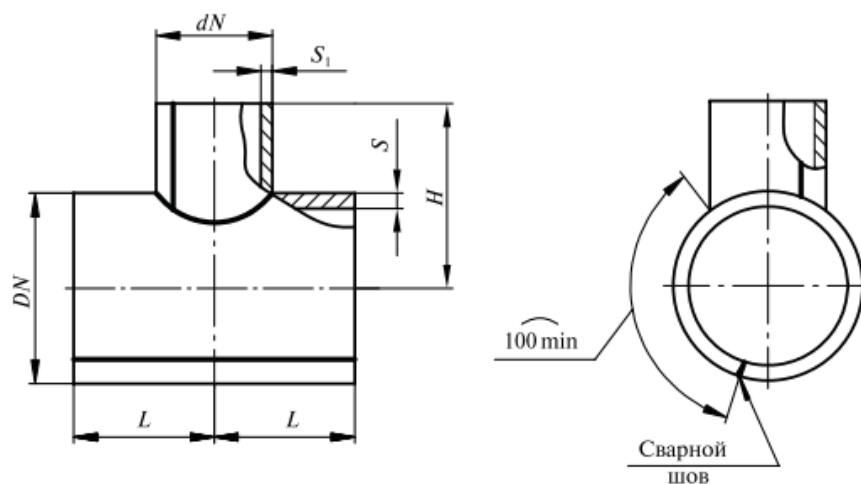


Рис. 1. Тройник сварной:  $DN$  – условный диаметр магистрали тройника;  $dN$  – условный диаметр ответвления тройника;  $H$  – высота тройника;  $L$  – полудлина тройника;  $S$  – толщина стенки магистрали;  $S_1$  – толщина стенки ответвления

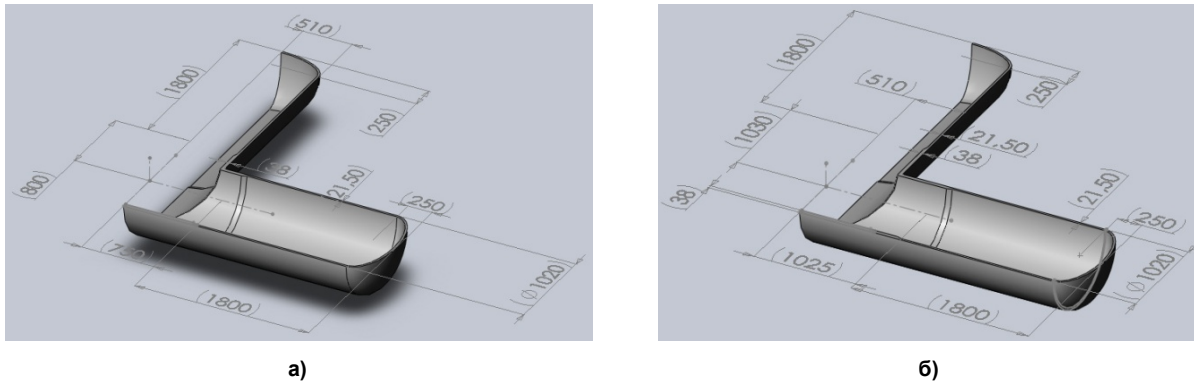


Рис. 2. Трехмерная макромодель узлов испытаний тройников: а – узел № 1; б – узел № 2

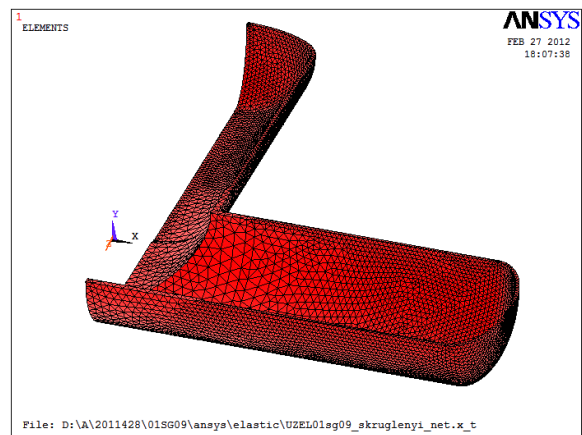
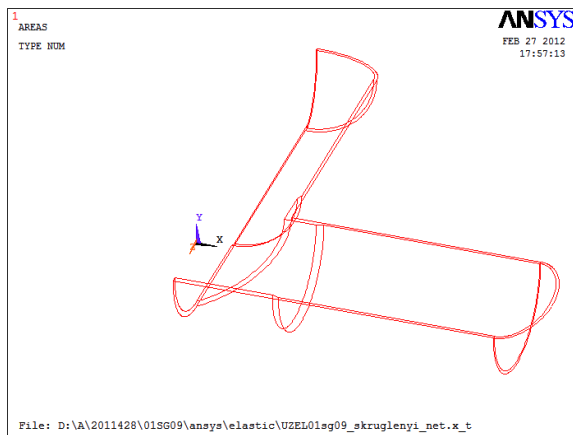


Рис. 3. Конечноэлементная модель в ANSYS

чем давления 9,8 МПа для узла № 1 соответствует напряжениям 727 МПа, а для узла № 2 – 703 МПа (рис. 4). В обоих случаях уровень напряжений значительно превышает предел текучести материала тройника (441 МПа), что свидетельствует об их высокой нагруженности.

На упругопластической стадии нагружения потеря несущей способности тройников наблюдается при предельном давлении 21,0 МПа и 21,6 МПа в узлах № 1 и 2 соответственно (рис. 5). При этом

деформация в зоне концентрации напряжений присоединяемых труб к магистрали и ответвления в тройнике со строительной длиной  $L = 750$  мм составила 9,3 %, а в тройнике с  $L = 1025$  мм – 5,4 %, что в обоих случаях меньше, чем нормативное относительное удлинение – 19 %.

Дополнительно было проведено моделирование цикла давления 0–14,7–0,98–9,8 МПа в узлах. Данная схема является имитацией натуральных испытаний тройников с последующей эксплуатацией в

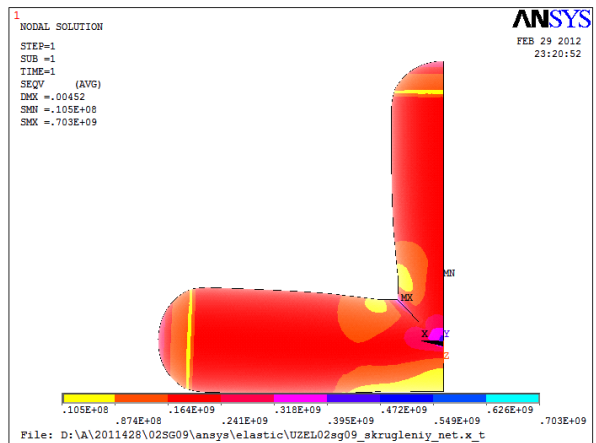
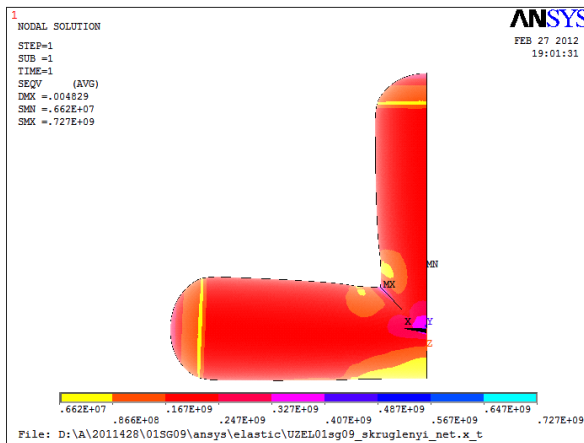
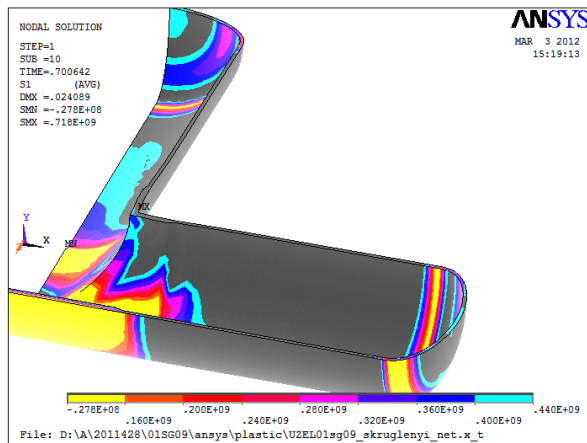
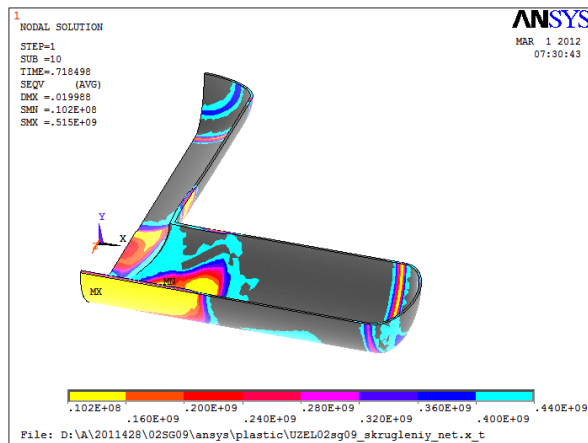


Рис. 4. Интенсивность напряжений по Мизесу: а – узел № 1; б – узел № 2



a)



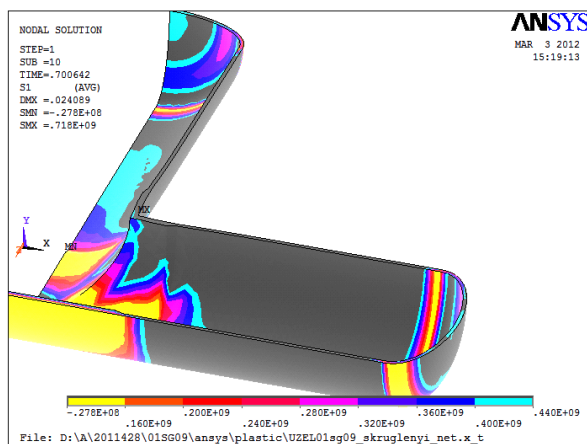
b)

Рис. 5. Интенсивность напряжений по Мизесу при давлении 21,0 МПа в узле № 1 (а) и 21,6 МПа в узле № 2 (б)

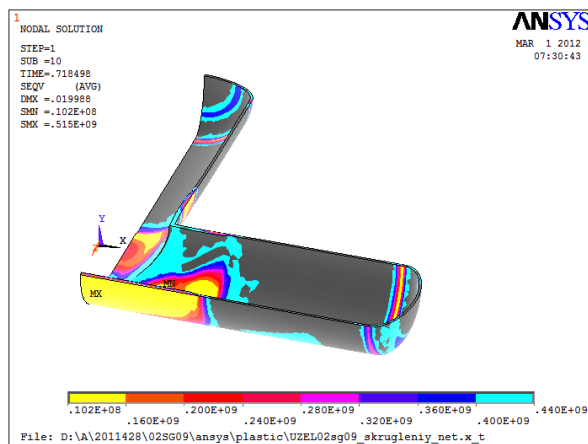
реальных условиях. Первоначально производится повышение давления до уровня испытательного  $P_{исп} = 14,7$  МПа, затем давление сбрасывается до  $0,1P_{раб} = 0,98$  МПа, после чего начинается приложение циклической нагрузки в интервале от  $0,1P_{раб} = 0,98$  МПа до  $P_{раб} = 9,8$  МПа. По результатам моделирования цикла было установлено, что в процессе нагружения до давления 14,7 МПа в области концентрации напряжений возникают пластические деформации. Уровень деформаций относительно невелик, около 1,7 % в узле № 1 и 1 % в узле № 2 (рис. 6) и далек от предельного – 19 %. Других областей, где бы происходило пластическое течение, в узлах не отмечается. При сбросе давления возникают остаточные напряжения от местного пластического деформирования. В области протекания пластических деформаций при разгрузке напряжения меняют знак, на месте растягивающих появляются сжимающие и наоборот. Последующее нагружение до рабочего давления 9,8 МПа приводит к снижению растягивающих напряжений в области концентрации за счет при-

сутствия остаточных напряжений сжатия. Напряжения не достигают предела текучести, высоконагруженная область повторно пластически не деформируется.

При оценке ресурса работоспособности при циклическом изменении внутреннего давления значения коэффициентов интенсивности напряжений соответствовали внутреннему давлению 9,8 МПа. Оценка получена на основе данных методов конечных элементов для коэффициентов формулы Пэриса по данным [2–4] при пульсации внутреннего давления от 10 до 100 % рабочего давления. Для расчета коэффициентов интенсивности напряжений при промежуточных длинах трещин применялся линейный интерполяционный алгоритм. Определенная таким образом зависимость коэффициента интенсивности напряжений использовалась для определения ресурса работоспособности текущей конфигурации. Подсчет длины трещины в зависимости от количества циклов производился по программе РЕСУРС. Как потенциально возможные определены три значения



a)



b)

Рис. 6. Давление 14,7 МПа, главные пластические деформации. Уровень деформаций около 1,7 % в узле № 1 (а) и 1 % в узле № 2 (б)

Ресурс работоспособности узлов при циклах внутреннего давления от 0,98 до 9,8 МПа

Исполнение узла	Расчетное количество циклов до разрушения при начальных размерах дефектов		
	2 мм	3 мм	4 мм
Узел № 1	14 000	12 000	10 500
Узел № 2	17 000	14 000	12 500

начальных длин трещин (дефектов сварки): 2, 3 и 4 мм. В таблице приведены результаты проведенных расчетов.

Выводы по результатам моделирования:

1. При укорочении строительной длины в 1,5 раза против стандартной по СНиП 2.05.06–85 концентрация напряжений возрастает на 3–4 %, предельное давление снижается на 3 %. При этом сохраняется равнопрочность тройников присоединяемым трубам – трубы вовлекаются в пластическую деформацию.

2. Начальное нагружение до уровня 14,7 МПа (испытательное давление) и последующая разгрузка формируют поле остаточных напряжений сжатия в зоне концентрации напряжений. Вторичный набор до уровня рабочего давления 9,8 МПа возвращает знак напряжений (растяжение), однако при этом интенсивность напряжений меньше предела текучести.

3. Наиболее значимый отрицательный эффект

от уменьшения строительной длины ожидается в снижении ресурса работоспособности тройников на 20 % при циклическом изменении давления – с 12 500 до 10 500 циклов.

*Литература*

1. СНиП 2.05.06–85. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы.

2. Карзов, Г.П. Сварные сосуды высокого давления: Прочность и долговечность / Г.П. Карзов, В.П. Леонов, Б.Т. Тимофеев. – Л.: Машиностроение, Ленингр. отд-ние, 1982. – 287 с.

3. Морозов, Е.М. Ansys в руках инженера: Механика разрушения / Е.М. Морозов, А.Ю. Музыземнек, А.С. Шадский. – М.: ЛЕНАНД, 2008. – 453 с.

4. Винокуров, В.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности / В.А. Винокуров, С.А. Куркин, Г.А. Николаев; под ред. Б.Е. Патона. – М.: Машиностроение. – 1996. – 576 с.

**Войдер Кирилл Александрович**, заведующий сектором, Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ (г. Москва); element-54@mail.ru.

**Глухов Максим Григорьевич**, научный сотрудник, Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ (г. Москва); element-54@mail.ru.

**Есиев Таймураз Сулейманович**, начальник лаборатории, Научно-исследовательский институт природных газов и газовых технологий – Газпром ВНИИГАЗ (г. Москва); element-54@mail.ru.

**Ярославцев Сергей Иванович**, канд. техн. наук, доцент кафедры оборудования и технологии сварочного производства, Южно-Уральский государственный университет (г. Челябинск); element-54@mail.ru.

*Поступила в редакцию 25 марта 2014 г.*

## **PERFORMANCE EVALUATION OF WELDED T-JUNCTIONS AT REDUCTION OF COMPLETED LENGTHS**

**K.A. Voyder**, Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies (Gazprom VNIIGAZ), Moscow, Russian Federation, [element-54@mail.ru](mailto:element-54@mail.ru),  
**M.G. Glukhov**, Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies (Gazprom VNIIGAZ), Moscow, Russian Federation, [element-54@mail.ru](mailto:element-54@mail.ru),  
**T.S. Esiev**, Scientific Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies (Gazprom VNIIGAZ), Moscow, Russian Federation, [element-54@mail.ru](mailto:element-54@mail.ru),  
**S.I. Yaroslavtsev**, South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation, [element-54@mail.ru](mailto:element-54@mail.ru)

The paper presents the results of simulation of welded T-junction behaviour. The degree of decreasing the strength and performance of welded T-junctions on reduction of their completed lengths is established.

*Keywords: welded T-junctions, simulation, strength.*

### **References**

1. SNiP 2.05.06-85. *Stroitel'nye normy i pravila. Magistral'nye truboprovody*. [Building Norms and Rules. The Main Pipe Ducts].
2. Karzov G.P., Leonov V.P., Timofeev B.T. *Svarnye sosudy vysokogo davleniya: Prochnost' i dolgovechnost'* [High-Pressure Welded Vessels: Strength and Durability]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1982. 287 p.
3. Morozov E.M., Muzyemnek A.Yu., Shadskiy A.S. *ANSYS v rukakh inzhenera: Mekhanika razrusheniya* [ANSYS in Hands of the Engineer: Fracture Mechanics]. Moscow, LENAND Publ., 2008. 453 p.
4. Vinokurov V.A., Kurkin S.A., Nikolaev G.A. *Svarnye konstruksii. Mekhanika razrusheniya i kriterii rabotosposobnosti* [Welded Structures. Fracture Mechanics and Criteria of Working Capacity]. Paton B.E. (Ed.). Moscow, Mashinostroenie Publ., 1996. 576 p.

**Received 25 March 2014**