

О возможности применения сварных тройников на объектах ОАО «Газпром»

О.П. Васильев

заместитель генерального
директора по развитию¹
o.vasilyev@inpipe.info

Ю.М. Свердлик

начальник отдела прочности и надежности
объектов МГ, заместитель начальника центра
прочности, надежности и диагностики, эксперт
промышленной безопасности в области
нефтяной и газовой промышленности²
sverdlik@ggc.nnov.ru

А.В. Устюжанин

главный специалист отдела прочности и
надежности²
ustav@ggc.nnov.ru

¹ООО «ИПРИС», Москва, Россия

²ОАО «Гипрогазцентр», Нижний Новгород, Россия

Рассматривается обоснование возможности применения сварных тройников при строительстве объектов ОАО «Газпром». Критерием возможности применения является удовлетворение критериям статической и циклической прочности предлагаемых тройников.

Материалы и методы

Программный комплекс TRIFLEX, реализующий конечно-элементный расчет напряженно-деформированного состояния (НДС) пространственных трубопроводных систем.

Программный комплекс ANSYS, реализующий конечно-элементный расчет НДС производных конструкций.

Ключевые слова

статическая прочность, циклическая прочность, сварной тройник, штамповарный тройник, ANSYS

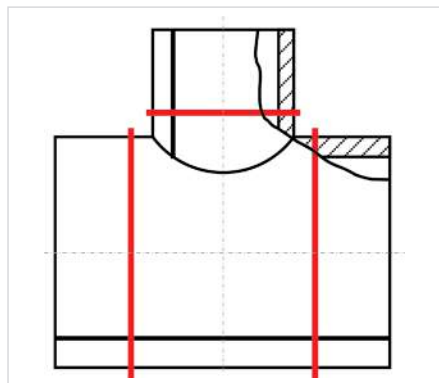


Рис. 1 — Опасные сечения тройника

В настоящее время в проектных институтах ОАО «Газпром» распространена практика применения штамповарных тройников при проектировании компрессорных станций. Преимущества такого выбора понятны и связаны, в первую очередь, с обеспечением прочности тройника в составе обвязки компрессорного цеха: штамповарный тройник не имеет явных концентраторов в месте действия наибольшего изгибающего момента.

В соответствии с планом мероприятий по недопущению проектными институтами необоснованного увеличения стоимости реализуемых проектов, разработанного в соответствии с п. 3.1 протокола оперативного совещания под руководством Заместителя Председателя Правления ОАО «Газпром» В.А. Маркелова от 03.12.2013 № 03-143 на проектные институты возложена ответственность за необоснованное удорожание строительства объектов. В связи с этим необходимо провести мероприятия по снижению стоимости оборудования, используемого при строительстве компрессорных цехов.

С этой целью представляется целесообразным использование сварных тройников вместо штамповарных тройников. Сварные тройники имеют ряд преимуществ перед штамповарными тройниками:

- в процессе изготовления исходные материалы (трубы или цилиндрические заготовки) не подвергаются температурным воздействиям выше точек превращения. Это имеет место при осуществлении операции термоулучшения при изготовлении штамповарных равнопроходных тройников, а в силу того, что данная операция индивидуальна для каждого типоразмера штампованного тройника, его марки стали (плавки) и имеет низкую повторяемость в серии, то она имеет множество «узких» мест, взаимовлияющих на качество конечной продукции;
- технологичность, т.к. при изготовлении сварных тройников не требуется специальная оснастка и нет того большого количества спецпроцессов (технологических переделов) с

присутствием человеческого фактора (что имеется при изготовлении штамповарных тройников);

- все выше перечисленные факторы прямым и непосредственным образом влияют на сроки и стоимость изготовления ТС и, как следствие, сроки и себестоимость значительно ниже, чем у штамповарных.

Недостатками, связанными с применением сварных тройников, могут являться:

- сварной стык магистрали с ответвлением;
- наличие геометрического концентратора.

Негативное влияние сварного шва можно минимизировать при существующем уровне технического оснащения — производить вырезку отверстий с микронной точностью с применением станков с ЧПУ, осуществление сварки механизированным либо автоматизированным способом передовыми сварочными материалами с контролем качества сварного соединения ультразвуковым и рентгенографическим методами на современном оборудовании. Всё это позволяет свести вероятность наличия потенциального дефекта сварного шва к нулю.

Окончательный вывод о возможности применения сварных тройников на объектах ОАО «Газпром» можно сделать на основании оценки несущей способности предлагаемых тройников. Приведем обоснование возможности применения сварных тройников ТС 1020(22К60)х720(18К60)-9,8-0,6-ХЛ и ТС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-ХЛ на компрессорных станциях ОАО «Газпром» с рабочим давлением до 9,8 МПа. В таб. 1 приведены сравнительные характеристики сварных и штамповарных тройников указанных выше типоразмеров и выполненных из стали класса прочности К60.

Возможность применения предлагаемых тройников будет подтверждена в случае, если:

- трубопроводная обвязка компрессорного цеха, включая предлагаемые тройники, будет удовлетворять условиям статической прочности в соответствии с [1];
- трубопроводная обвязка компрессорного цеха, включая предлагаемые тройники, будет удовлетворять условиям циклической прочности.

Обозначение тройника¹

ТС 1020(22К60)х720(18К60)-9,8-0,6-ХЛ
ТШС 1020(22К60)х720(18К60)-9,8-0,6-УХЛ
ТС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-ХЛ
ТШС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-УХЛ
ТС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-ХЛ
ТШС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-УХЛ

Толщина магистрали, мм

40
30
62
45
62
45

Толщина ответвления, мм

30
22
40
30
40
30

Таб. 1 — Характеристики тройников

¹Рассматривались сварные тройники производства ЗАО «Завод Сибгазстройдеталь» по ТУ 1468-018-00153821-2006, штамповарные тройники производства ОАО «Трубодеталь» по ГазТУ 102/488/1-05.

²Программный комплекс TRIFLEX реализует конечно-элементный расчет НДС пространственных трубопроводных систем.

Анализ будет произведен на примере отдельного компрессорного цеха. Рассматривается цех с блочно-модульной компоновкой, имеющий в своем составе 5 технологических модулей. Давление газа после компримирования не выше 9,8 МПа. Проведение статического расчета трубопроводной системы КЦ на нагрузки, возникающие при эксплуатации и гидроиспытаниях с определением действующих нагрузок на тройники ТС 1020(22К60)х720(18К60)-9,8-0,6-ХЛ и ТС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-ХЛ. Расчет трубопроводной системы компрессорной станции, построенной в программном комплексе Triflex², проводится в балочной постановке.

Проведение расчета НДС тройников по полученным на первом этапе нагрузкам производится в программном комплексе ANSYS³. Тройник моделируется объемными конечными элементами. По результатам расчета НДС тройника проводится оценка циклической прочности тройника согласно методикам [2] и [3].

В качестве критерия прочности тройников принималось не превышение максимального среднего по сечению тройника эквивалентного напряжения (магистральной или ответвления) значения предела текучести материала тройника. Определение средних по сечению максимальных эквивалентных напряжений в тройниках производилось по результатам численного моделирования для трёх наиболее опасных сечений (рис. 1).

Методика оценки циклической прочности тройников основана на положениях [2], [3].

При отсутствии подробных сведений о режимах изменения давления на компрессорной станции используют типизированный режим нагружения, отражающий среднестатистические данные по переменному нагружению трубопроводов компрессорной станции. Типизированный режим нагружения для трубопроводов компрессорной станции состоит из 32 отнулевых циклов. Эквивалентные напряжения в стенке трубы, возникающие после 32 отнулевых циклов типизированного режима нагружения, приводят к поврежденности, равной поврежденности при эксплуатационном режиме нагружения за год эксплуатации.

Эквивалентное напряжение отнулевого цикла вычисляется по формуле:

$$\sigma_{\text{экв}}^0 = \frac{\left(1,2 \cdot 10^8 + 1,24 \cdot 10^5 \frac{N_0}{\sqrt{1-\mu+\mu^2}} \frac{1}{m_y}\right)}{0,94 + 0,019 \left(\frac{D_n}{\delta}\right)^{\frac{1}{m_y}}}$$

где:

D_n — наружный диаметр трубопровода компрессорной станции, мм;

δ — толщина стенки трубы, мм;

μ — коэффициент ($\mu = 0,3$ для подземных тройников и $\mu = 0,5$ для надземных тройников);

m_y — усталостная характеристика трубных сталей ($m_y = 3$);

N_0 — количество отнулевых циклов в типизированном режиме переменного нагружения трубопровода, равное 32;

$\sigma_{\text{экв}}$ — максимальное значение эквивалентных напряжений по критерию Мизеса по результатам расчета НДС тройника.

Поскольку локальные эквивалентные упругие напряжения в ряде случаев могут превышать предел пропорциональности материала, необходимо выполнить пересчет данных напряжений в локальных эквивалентных условно упругих (с учетом пластического деформирования) напряжениях:

$$(\sigma_F) = (\sigma_{\text{пл}})^{\frac{v-1}{v+1}} \left(\frac{1+v}{2} (\sigma_{\text{экв}}^0)^2 + \frac{1-v}{2} (\sigma_{\text{пл}})^2 \right)^{\frac{1}{1+v}}$$

где:

$$v = \frac{0,73 \lg \left[(1 + 1,4 \cdot 10^{-2} \psi) \frac{\sigma_B}{\sigma_{0,2}} \right]}{\lg \left[\frac{2,3 \lg \frac{100}{100-\psi}}{2 \cdot 10^{-3} + \frac{\sigma_{0,2}}{E}} \right]}$$

— показатель упрочнения;

$$\sigma_{\text{пл}} = \left[\frac{\sigma_{0,2}}{(2 \cdot 10^{-3} E + \sigma_{0,2})^v} \right]^{\frac{1}{1-v}}$$

— предел пропорциональности.

Скорректированное относительное сужение ψ рассчитывается по формуле:

$$\psi = 15 + 0,5 \psi_f$$

где:

ψ_f — относительное сужение материала (принимается равным 40%).

Амплитудное значение циклической нагрузки для рассматриваемого вида циклического нагружения составляет:

$$(\sigma_{\text{аф}}) = \frac{(\sigma_F)}{2}$$

Допускаемое значение числа циклов при заданной амплитуде циклической нагрузки

равно минимальному значению из 2-х, определяемых по уравнениям:

$$(\sigma_{\text{аф}}) = \left(\frac{E \cdot \ln \frac{100}{100-\psi}}{n_\sigma \left((4[N])^m + \frac{1+r^*}{1-r^*} \right) + \frac{\sigma_{-1}}{n_\sigma \left(1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \frac{1+r}{1-r} \right)}} \right) \Phi_s$$

$$(\sigma_{\text{аф}}) = \left(\frac{E \cdot \ln \frac{100}{100-\psi}}{n_\sigma \left((4n_N[N])^m + \frac{1+r^*}{1-r^*} \right) + \frac{\sigma_{-1}}{(1 + \frac{\sigma_{-1}}{\sigma_B} \frac{1+r}{1-r})}} \right) \Phi_s$$

где:

E — модуль упругости, МПа;

σ_{-1} — предел выносливости на базе 106, МПа;

σ_B — предел прочности, МПа;

r^* — коэффициент асимметрии цикла условно упругих напряжений,

r — коэффициент асимметрии цикла напряжений,

m — характеристика материала,

n_σ — коэффициент запаса по напряжениям,

n_N — коэффициент запаса по долговечности.

Здесь $\Phi_s = 0,8$ — коэффициент снижения циклической прочности сварного шва, выполненного ручной электродуговой сваркой без термообработки, принимаемый в соответствии с [3].

При отсутствии экспериментальных данных по усталостным параметрам допускается пересчет по статическим характеристикам трубных сталей по формулам:

$$m = 0,5$$

$$\sigma_{-1} = k_{-1} \sigma_B$$

где $k_{-1} = 0,4$.

Если $(\sigma_F) > \sigma_{0,2}$ и $(\sigma_{\text{аф}}) < \sigma_{0,2}$ то r^* определяется по формуле

$$r^* = \frac{\sigma_{0,2} - 2(\sigma_{\text{аф}})}{\sigma_{0,2}}$$

Если $(\sigma_{\text{аф}}) > \sigma_{0,2}$, то r^* принимают равным

$$r^* = -1.$$

Коэффициент асимметрии цикла напряжений

$$r = 0.$$

Значения коэффициентов запаса по напряжениям и долговечности, на основании [2], [3] следующие $n_\sigma = 2$, $n_N = 10$.

Срок службы тройника $T_{\text{тр}}$ связан с допускаемым числом циклов следующей зависимостью:

$$T_{\text{тр}} = ([N]) / N_0$$

где N_0 — количество отнулевых циклов в типизированном режиме переменного нагружения трубопровода, равное 32.

Для каждого тройника на основании значений максимальных эквивалентных напряжений по критерию Мизеса, полученных

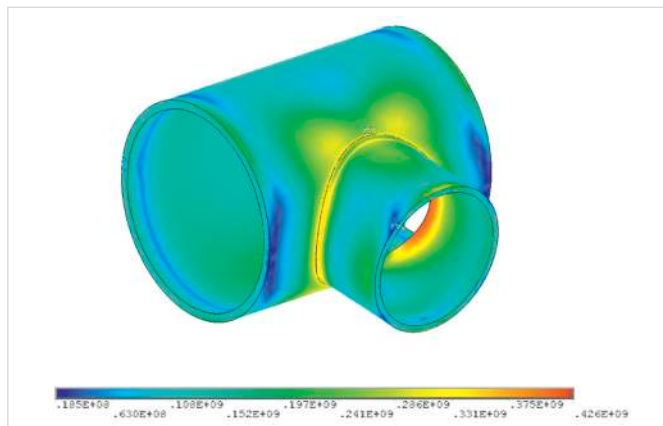


Рис. 2 — Эквивалентные напряжения в тройнике ТС 1020(22К60)х720(18К60)-9,8-0,6-ХЛ при эксплуатации

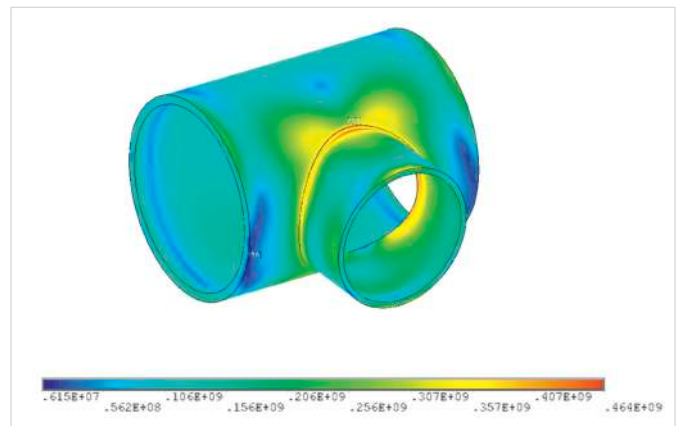


Рис. 3 — Эквивалентные напряжения в тройнике ТС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-ХЛ при эксплуатации

³Программный комплекс ANSYS реализует конечно-элементный расчет НДС производных конструкций.

при расчете НДС тройников, определяется максимально допустимое количество циклов и срок службы тройников.

Ниже приведены распределения полей эквивалентных напряжений при эксплуатации КС в наиболее нагруженном тройнике ТС 1020 (22К60) х 720 (18К60)-9,8-0,6-ХЛ (рис. 2) и в наиболее нагруженном тройнике ТС 1420(32К60)х1020(22К60)-9,8-0,6-ХЛ (рис. 3).

Итоги

Локальные эквивалентные напряжения в тройниках ТС 1020 (22К60)х720 (18К60)-9,8-0,6-ХЛ не превышают 426 МПа, при этом средние эквивалентные напряжения в опасных сечениях не превышают 237 МПа, что составляет 53,7% от напряжений, допускаемых по [1]. Для указанного тройника допускаемое число эквивалентных циклов нагружения составляет 2896, что соответствует сроку службы тройника — 90 лет.

Локальные эквивалентные напряжения в тройниках ТС 1420 (32К60)х1020 (22К60)-9,8-0,6-ХЛ не превышают 465 МПа, при этом

средние эквивалентные напряжения в опасных сечениях не превышают 245 МПа, что составляет 55,6% от напряжений, допускаемых по [1]. Для указанного тройника допускаемое число эквивалентных циклов нагружения составляет 2850, что соответствует сроку службы тройника — 89 лет.

Таким образом основные технологические трубопроводы, а также тройники ТС 1020 (22К60)х720 (18К60)-9,8-0,6-ХЛ и ТС 1420 (32К60)х1020 (22К60)-9,8-0,6-ХЛ в составе обвязки рассматриваемой КС условиям статической прочности удовлетворяют. Уровень эквивалентных напряжений в сварных тройниках при эксплуатационном режиме и в режиме гидротестирования не превышает 62% максимально допустимых по [1]. Срок службы сварных тройников составляет не менее 82 лет. Данный срок превышает расчетный срок безопасной эксплуатации технологических трубопроводов типовых компрессорных станций — 40 лет.

Выводы

Таким образом, тройники ТС 1020 (22К60)

х720 (18К60)–9,8–0,6–ХЛ, ТС 1420 (32К60) х1020 (22К60)–9,8–0,6–ХЛ могут быть применены вместо тройников ТШС 1020 (22К60)х720 (18К60)-9,8-0,6-УХЛ, 1420 (32К60)х1020 (22К60)-9,8-0,6-УХЛ в составе трубопроводной обвязки рассматриваемой компрессорной станции, а также на других компрессорных станциях ОАО «Газпром» при обосновании достаточной прочности.

Список используемой литературы

1. Строительные нормы и правила Российской Федерации. СНиП 2.05.06-85*. Магистральные газопроводы.
2. Стандарт организации. СТО Газпром 2-2.3-453-2010. Методика оценки ресурса тройников. Введ. 15.09.2010. М.: ОАО «Газпром», 2010. 114 с.
3. Правила и нормы в атомной энергетике Госатомэнергонадзора СССР. ПНАЭ Г-7-002-86. Нормы расчета на прочность оборудования и трубопроводов атомных энергетических установок.

ENGLISH

GAS INDUSTRY

Possibility of using welded tees at OJSC "Gazprom"

UDC 622.691

Authors:

Oleg P. Vasil'ev — deputy general director for development¹; o.vasilyev@inpipe.info

Yuriy M. Sverdlik — head of the strength and reliability of trunk pipelines objects, deputy head of the center of strength, reliability and diagnostics, Industrial safety expert in the oil and gas industry²; sverdlik@ggc.nnov.ru

Aleksey V. Ustyuzhanin — chief specialist of the strength and reliability²; ustav@ggc.nnov.ru

¹ITRIS LLC, Moscow, Russian Federation

²Giprogaзtsentr OJSC, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Abstract

The explanation of the possibility of using welded tees during construction of JSC "Gazprom". The possibility of applying the criterion is to satisfy the criteria of static and cyclic strength of the proposed tees.

Materials and methods

Software package TRIFLEX implements finite element calculation of the stress-strain state (SSS) spatial piping systems. ANSYS software system implements a finite element calculation of VAT derivatives structures.

Results

Local equivalent stresses in tees TC 1020 (22К60) х720 (18К60)-9,8-0,6-CL does not exceed 426 МПа, while the average equivalent stress in the dangerous sections do not exceed

237 МПа, which is 53.7% of the strains permitted by [1]. Tee for the specified allowable number of load cycles is equivalent to 2896, which correspond to the lifetime of the tee — 90 years. Local equivalent stresses in tees TC 1420 (32К60) х1020 (22К60)-9,8-0,6-CL does not exceed 465MPa, while the average equivalent stress in the dangerous sections do not exceed 245MPa, which is 55.6% of the strains allowed in [1]. Tee for the specified allowable number of load cycles is equivalent to 2850, which correspond to the lifetime of the tee — 89 years. Thus the basic technological pipelines, as well as tees TC 1020 (22К60) х720 (18К60)-9,8-0,6-CL and TC 1420 (32К60) х1020 (22К60)-9,8-0,6-CL as part of COP considered binding conditions satisfy the static strength. Level equivalent stresses in welded tees at operational mode and hydraulic

testing does not exceed 62% of the maximum allowable in [1]. The service life of welded T-joints is not less than 82 years. This period exceeds the expected life safe operation of process piping typical compressor stations — 40 years.

Conclusions

Thus, T-TC 1020 (22К60) х720 (18К60) -9,8-0,6-CL, TC 1420 (32К60) х1020 (22К60) -9,8-0,6-CL can be used instead of tees TSHS 1020 (22К60) х720 (18К60) -9,8-0,6-UHL, 1420 (32К60) х1020 (22К60) -9,8-0,6-UHL as part of the piping under consideration compressor station, as well as other compressor stations OJSC "Gazprom" in the justification of sufficient strength.

Keywords

static strength, fatigue strength, welded tee, stamped tee, ANSYS

References

1. *Stroitel'nye normy i pravila Rossiyskoy Federatsii* [Building regulations of the Russian Federation]. SNIP 2.05.06-85*. Trunk gas pipelines.
2. *Standart organizatsii. Metodika otsenki*

1. *resursa troynikov* [Standard organization]. SТО Газпром 2-2.3-453-2010. Methods of assessing the resource tees. Permission. 15.09.2010. Moscow: OJSC "Gazprom", 2010, 114 p.
3. *Pravila i normy v atomnoy energetike*

Gosatomenergonadzora SSSR [Rules and regulations in nuclear power Gosatomenergonadzor USSR]. PNAE G 7-002-86. Norms based on the strength of the equipment and pipelines of nuclear power plants.