

УДК 621.791.052.8:622.692

**А. М. Файрушин**, канд. техн. наук, доцент, **Д. Н. Яковлева**, магистрант  
Уфимский государственный нефтяной технический университет, Россия  
Тел./Факс: +79177556131; E-mail: [tna\\_ugntu@mail.ru](mailto:tna_ugntu@mail.ru)

## ПОВЫШЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ УЗЛОВ ОТВЕТВЛЕНИЯ ТРУБОПРОВОДОВ С УКРЕПЛЯЮЩИМИ (НАКЛАДНЫМИ) КОЛЬЦАМИ

*В данной статье рассмотрена одна из актуальных проблем безопасной эксплуатации трубопроводов. Опасные участки трубопровода – это тройниковые узлы, подверженные динамическим нагрузкам, воздействию агрессивных сред и внешних условий. Проведен анализ прочности и обеспечения работоспособности на основе существующих способов их обеспечения, а также предложены технические решения, направленные на увеличение прочности узла опасного участка. Исследования предлагаемых решений, проведенные в работе, показывают положительные результаты и возможность их внедрения в производство.*

**Ключевые слова:** накладное кольцо, ответвление, врезка, трубопровод, трубопроводная система, тройниковое соединение.

**A. M. Fairushin, D. N. Yakovleva**

## INCREASING SAFETY IN THE OPERATION OF THE NODES OF THE BRANCH PIPELINE WITH REINFORCING (PATCH) RINGS

*In this article one of the actual problems of safe operation of pipelines is considered. Dangerous sections of the pipeline are T-joint connections exposed to dynamic loads, aggressive environments and external conditions. The analysis of strength and performance on the basis of existing methods of their provision, as well as the proposed technical solutions aimed at increasing the strength of the node of the dangerous area. Studies of the proposed solutions carried out in the work show positive results and the possibility of their implementation in production.*

**Key words:** laid on ring, branch, tie-ins, pipeline, pipeline system, T-joint connection.

### 1. Введение

Существование угроз безопасной эксплуатации трубопровода, основные из которых дефекты и отсутствие термообработки сварных швов, оставляет актуальным вопрос обеспечения безопасности [1,2]. Если рассматривать сосуды давления, то существует схожий с трубопроводной системой участок – отверстие под штуцер. Около 70 % разрушений сосудов давления приходится именно на эту зону [3].

Для укрепления опасного участка трубопровода существуют различные конструкции (плоские накладные кольца, воротник, плоские, охватывающие всю трубу, заплечики, кольцо в виде воротника, косынки и ребро, три ребра). Однако наиболее распространен именно способ укрепления накладным кольцом.

Дефекты, которые приводят к разрушению:

- трещины;
- укороченный горизонтальный катет углового сварного шва «труба-кольцо»;
- непровар швов;
- зазор между корпусом и накладкой.

Все это провоцирует появление области повышенной концентрации напряжений.

На сегодняшний день остаются не решенными задачи обеспечения достаточной прочности и надежности места опасных участков трубопровода, таких как тройниковое

соединение. Одним из ярких и трагичных примеров является авария на нефтебазе Шехарис. Разрушение трубопровода и розлив нефти произошел как раз из-за разрыва тройника в зоне приварки накладного кольца к трубе [4,5]. Потому целью исследования является разработка технических решений для увеличения работоспособности и прочности узла.

## 2. Основное содержание и результаты работы

Первое техническое решение – это конструкция с применением двух накладных колец. Это уменьшит зону термического влияния швов (ЗТВ) и перераспределит сварочные напряжения с основной трубы [6].

При дальнейшем моделировании и расчетах неизвестными являются диаметры будущих колец и их соотношение между собой. Согласно отраслевым стандартам ПАО «Газпром» диаметр накладки берется в 2 раза больше диаметра отверстия, которое укрепляется. Толщина накладного кольца должна составлять 100 % от толщины стенки трубопровода. Поэтому толщина наших 2 колец в сумме тоже должна составить 100 % от толщины стенки трубопроводов.

Для численного моделирования взята модель основной трубы диаметром 820 мм, патрубка диаметром 200 мм. Исследуемые модели – это модели со следующими диаметрами накладных колец:

Модель 1 (350 мм/ 450 мм,  $S_1 = S_2 = 5$  мм);

Модель 2 (350 мм/ 400 мм,  $S_1 = S_2 = 5$  мм (рисунок 1));

Модель 3 (300 мм/ 500 мм,  $S_1 = S_2 = 5$  мм);

Модель с одним кольцом для сравнения результатов диаметром (400 мм;  $S = 10$  мм).

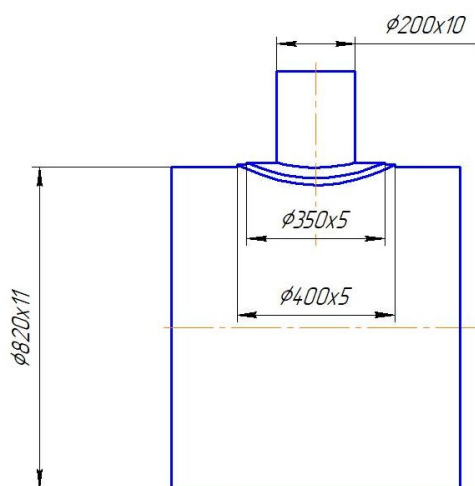


Рисунок 1. Схема модели 2 тройникового соединения трубопровода

Моделирование и прочностной расчет проводились в программе ANSYS. Для расчетов необходимо создать достаточно регулярную сетку близ колец с минимально возможным размером и нагрузить модель. Модель нагружалась внутренним давлением 2 МПа и перемещением патрубка по оси Y для моделирования динамики процесса.

Эта нагрузка показала максимальную концентрацию напряжений в ЗТВ (рис. 2).

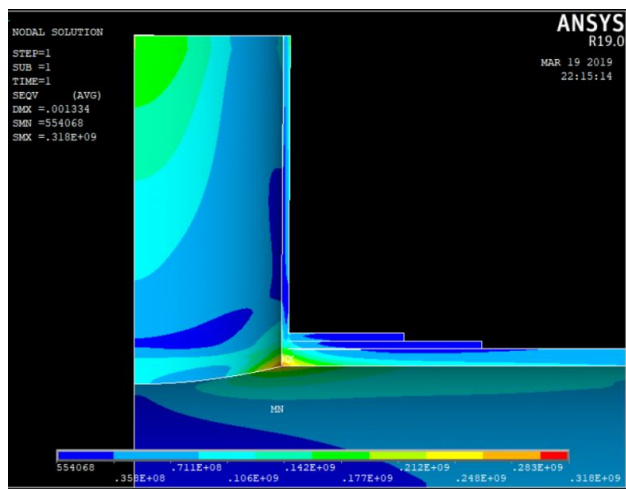
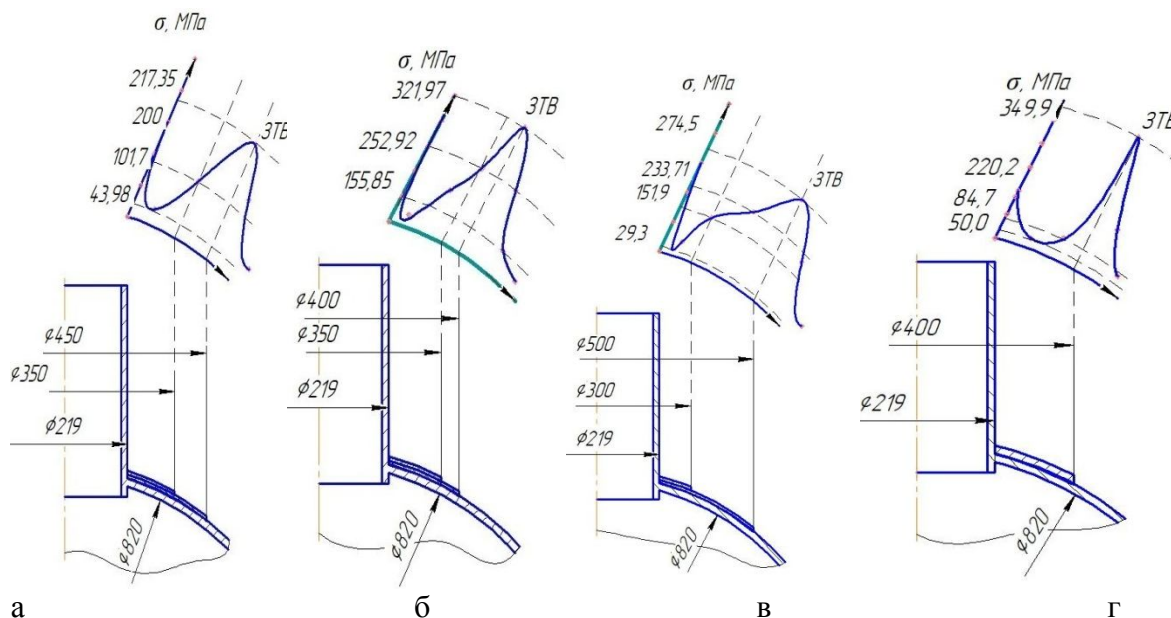


Рисунок 2. Распределение напряжений модели 2

Модель с одним кольцом показала максимальные напряжения в сравнении с моделями с двумя накладными кольцами.

Для анализа результатов были выбраны точки для построения графиков напряжений вдоль поперечного сечения трубопровода, так как именно здесь необходимо проанализировать нагрузку. Наилучший результат, т.е. наименьшие напряжения в ЗТВ, наблюдаются на модель с накладными кольцами диаметрами 450-350 мм (рис. 3). То есть разность между диаметрами 100 мм [7].



а – Модель 1 (350 мм/ 450 мм,  $S_1 = S_2 = 5$  мм); б – Модель 2 (350 мм/ 400 мм,  $S_1 = S_2 = 5$  мм); в – Модель 3 (300 мм/ 500 мм,  $S_1 = S_2 = 5$  мм); г – Модель с одним кольцом (400 мм;  $S = 10$  мм).

Рисунок 3. Графики эквивалентных напряжений в поперечном сечении трубопровода

На общем графике можно также сравнить полученные напряжения на моделях (рис. 4). Напряжение, которое испытывает трубопровод, работающий под давлением 2 МПа, равно 68 МПа. На тройнике рассчитывается коэффициент интенсификации и составляет он для тройника с накладными кольцами 4,8. Именно во столько раз напряжение на тройнике больше, чем на основном трубопроводе и составляет оно 328 МПа, когда предел текучести 343 МПа для стали 09Г2С. Модель с двумя накладными кольцами с разностью диаметров в 100 мм показали минимальные напряжения, приходящиеся на ЗТВ.

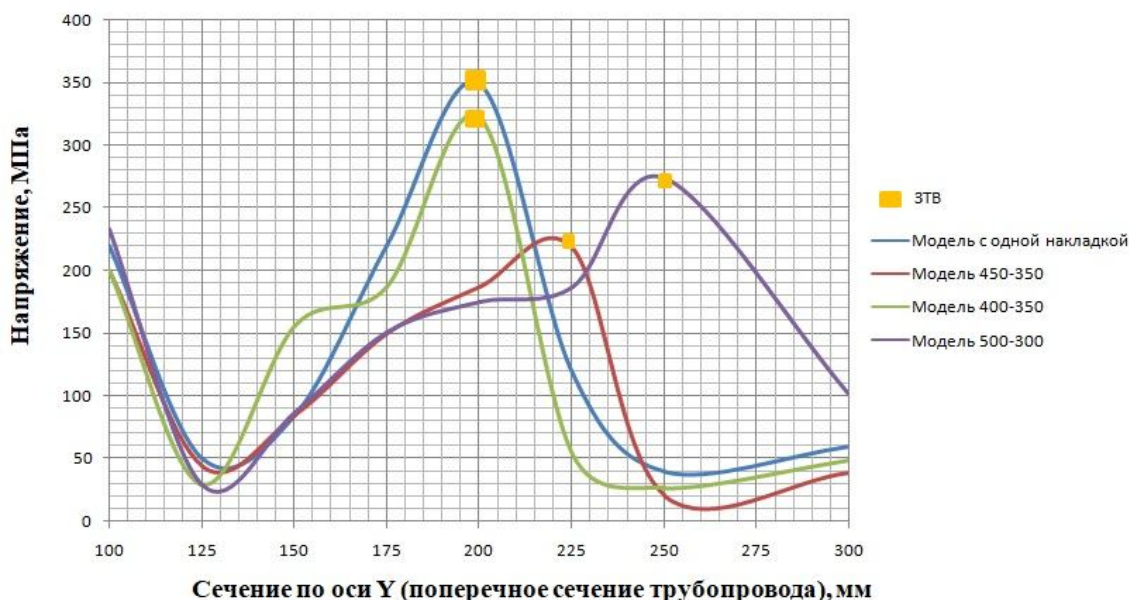


Рисунок 4. График эквивалентных напряжений в поперечном сечении трубопровода

Именно эта модель была использована для вывода коэффициента расчета диаметров накладных колец.

Конструкция узла тройникового соединения трубопровода, включающая в себя патрубок, соосно на котором расположен прилегающий кольцевой элемент, сваренный с трубопроводом и патрубком угловыми кольцевыми сварными швами. Кольцевой элемент представляет собой два накладных кольца, сумма толщины стенок которых равна толщине стенки трубопровода. При этом диаметры накладных колец по полученному в исследовании выводу определяют по следующим соотношениям:

$$D_6 = k_1 \cdot D_{п},$$

$$D_m = k_2 \cdot D_{п},$$

где  $D_6$  – диаметр большего накладного кольца, мм;

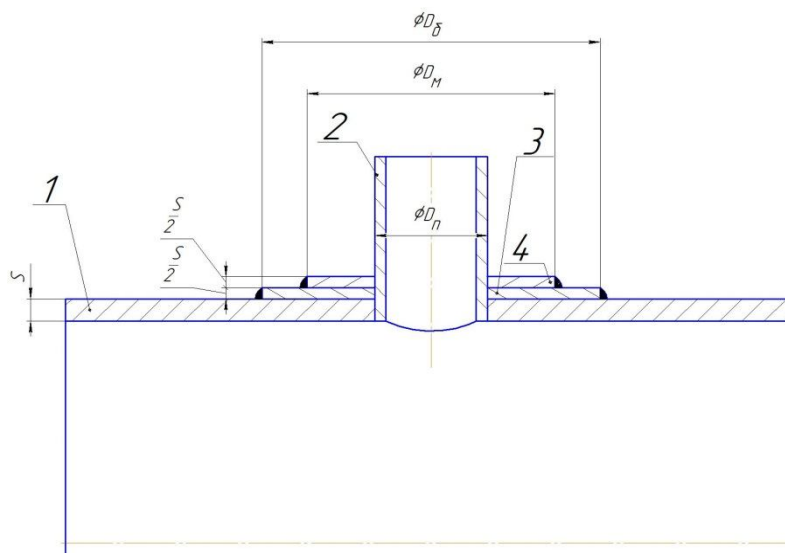
$k_1$  – коэффициент, который характеризует отношение диаметров большего накладного кольца и патрубка,  $k_1 = 2,2$ ;

$D_{п}$  – диаметр патрубка, мм;

$D_m$  – диаметр меньшего накладного кольца, мм;

$k_2$  – коэффициент, который характеризует отношение диаметров меньшего накладного кольца и патрубка,  $k_2 = 1,7$ .

Таким образом, подобрать накладные кольца для тройникового соединения можно для любого его типоразмера (рис. 5).



1 – основная труба; 2 – патрубок; 3, 4 – накладные кольца большего и меньшего диаметра

Рисунок 5. Схема конструктивного решения применения двух накладных колец

Следующее, что предлагается – это использование современных материалов, а именно нанесение накладного элемента из поликарбамида. Конструкция из поликарбамида представляет собой эластичное монолитное покрытие, которое, затвердевая после нанесения, представляет собой толстую пленку. Наносится на любые поверхности резервуаров, емкостей, трубопроводов. Применение этого материала исключает сварной шов.

Для того, чтобы смоделировать данный узел, необходимо точно ввести свойства поликарбамида в библиотеку материалов ANSYS. Из нагрузок задавалось давление в трубе. Остается путем численного моделирования определить оптимальные радиусы и размеры нанесения покрытия.

Были созданы 3 модели, аналогичные предыдущему расчету, толщина покрытия бралась равной толщине стенки основной трубы, различными брались диаметр покрытия на основной трубе и высота покрытия на патрубке:

Модель 1 ( $D = 350$  мм,  $H = 100$  мм);

Модель 2 ( $D = 400$  мм,  $H = 150$  мм);

Модель 3 ( $D = 450$  мм,  $H = 200$  мм).

По результатам расчетной модели был получен график эквивалентных напряжений на поперечном сечении трубопровода (рис. 6).

Как видно, максимальная нагрузка приходится на область перехода от покрытия к трубе с наименьшим диаметром покрытия.

Оптимальным вариантом является модель с диаметром покрытия в два раза больше диаметра патрубка и высотой 150 мм.

Таким образом, предполагается путем нанесения поликарбамида уменьшить напряженно-деформированного состояния узла тройникового соединения.

На основе полученных результатов выведены формулы расчета геометрии размеров наносимого покрытия для любого типоразмера тройника (рис. 7).

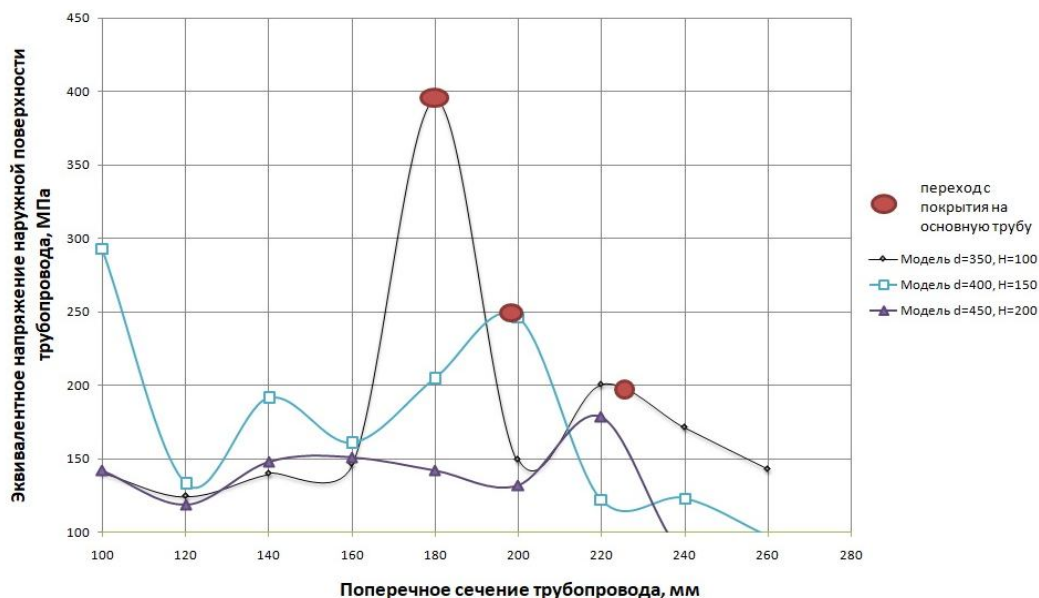
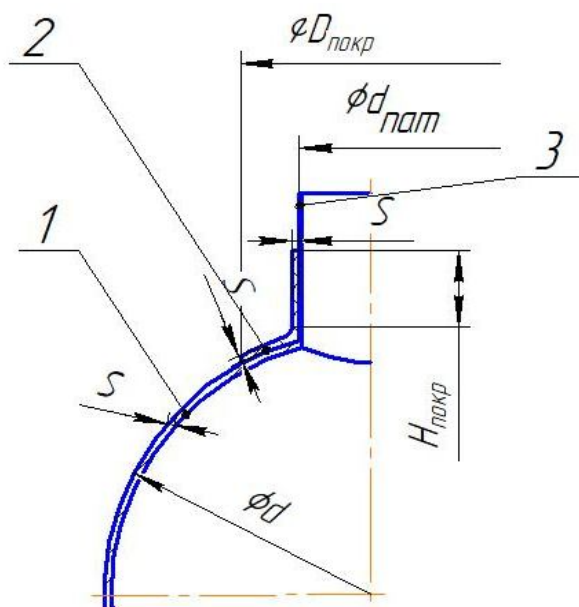


Рисунок 6. График эквивалентных напряжений в поперечном сечении трубопровода с применением конструкции из поликарбамида

$D_{\text{покр}} = 2 \cdot d_{\text{пат}}$  ;  
 $S_{\text{покр}} = S_{\text{осн}}$  ;  
 $H_{\text{покр}} = 0,75 \cdot d_{\text{пат}}$ ,  
 где  $D_{\text{покр}}$  – диаметр покрытия, мм;  
 $d_{\text{пат}}$  – диаметр патрубка, мм;  
 $S_{\text{покр}}$  – толщина покрытия, мм;  
 $S_{\text{осн}}$  – толщина основной трубы, мм;  
 $H_{\text{покр}}$  – высота покрытия.



1 – основная труба; 2 – конструкция из поликарбамида; 3 – патрубок  
 Рисунок 7. Схема технического решения применения конструкции из поликарбамида



### 3. Заключение

Основные угрозы безопасности, связанные с потерей герметичности узла, могут быть устранены путем применения следующих технических решений, исследование которых дало положительные результаты: использования двух накладных колец вместо одного и конструкции из накладного кольца из поликарбамида.

Данные технические решения направлены на уменьшение уровня напряженно-деформированного состояния тройникового соединения – опасного участка трубопровода и увеличение его прочности, надежности и работоспособности узла.

Основные выводы работы по исследованию опасных участков трубопровода и возможных технических решений заключаются в следующем:

1. Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния тройникового соединения трубопровода с применением программного обеспечения ANSYS, на основании которого оптимизированы конструкции накладных колец;

2. Разработан и получен патент на полезную модель предлагаемого технического решения конструкции с двумя накладными кольцами на тройниковом узле трубопровода;

3. Разработаны рекомендации к применению конструкции из поликарбамида на узле тройникового соединения трубопровода и возможности внедрения ее в производство.

### ЛИТЕРАТУРА:

1. Хасанов, Р.Р. Напряженно-деформированное состояние и обеспечение надежности тройников подземных трубопроводов: монография / Р.Р. Хасанов, С.М. Султанмагомедов. – Уфа: Изд-во УГНТУ, 2013. – 100 с.

2. Ерофеев, В.В. Оценка остаточного ресурса сварных соединительных узлов магистральных трубопроводов на базе данных технической диагностики / В.В. Ерофеев // Сборник научных трудов. – Челябинск, 2012. – С. 24-31.

3. Аписов, И.В. Анализ напряженного состояния укрепленного накладным кольцом штуцерного узла с учетом дефектов сборки / И.В. Аписов, О.В. Четверткова, Д.В. Каретников, И.Г. Ибрагимов, Т.Э. Закиров // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело» – 2014. – № 5. – С. 223-237.

4. Гумеров, А.К. Механизмы разрушения магистральных трубопроводов с приварными элементами / А.К. Гумеров, А.К. Шмаков, Ф.Ш. Хайрутдинов // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2007. – №1. – С. 1-5.

5. Гумеров, А.Г. Безопасность длительно эксплуатируемых магистральных нефтепроводов: научное издание / А.Г. Гумеров, Р.С. Гумеров, К.М. Гумеров. – М.: «Недра-Бизнесцентр», 2003. – 310 с.

6. Файрушин, А.М. Разработка рекомендаций по применению локально укрепленных штуцерных узлов с ребрами жесткости / А.М. Файрушин, М.З. Зарипов, Д.В. Каретников, Д.Н. Яковлева, А.В. Исламова // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело» – 2017. – №6. – С. 76-95.

7. Яковлева, Д.Н. Повышение безопасности при эксплуатации узлов ответвления трубопроводов с помощью укрепляющих (накладных) колец / Д.Н. Яковлева, А.М. Файрушин // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2018. – №6.

Поступила в редколлегию 25.01.2019 г.