



УДК 621.643.2-034.14

## ПРИМЕНЕНИЕ УСИЛИВАЮЩЕГО ЭЛЕМЕНТА ИЗ ПОЛИКАРБАМИДА ДЛЯ ОТВЕТВЛЕНИЙ ТРУБОПРОВОДОВ, РАБОТАЮЩИХ ПОД ДАВЛЕНИЕМ

### STRENGTHENING PIPELINE BRANCHES WITH HELP REINFORCEMENT ELEMENT FROM POLYCARBAMIDE

**Файрушин Айрат Миннуллович**

кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры оборудования  
и технологий сварки и контроля,  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет  
tna\_ugntu@mail.ru

**Исламова Алена Вячеславовна**

магистрант 1 курса механического факультета,  
кафедра оборудования и технологий сварки и контроля,  
Уфимский государственный  
нефтяной технический университет  
alena.islamova.1997@mail.ru

**Аннотация.** Рассматриваются вопросы о повышении работоспособности ответвлений трубопроводов и их безопасную эксплуатацию. Проведен анализ состояния конструкций по обеспечению надежности и безаварийной работы опасных участков трубопровода. Предложен способ укрепления тройниковых соединений поликарбамидом.

**Ключевые слова:** трубопровод, трубопроводная система, узел ответвления, сосуды давления, накладное кольцо, поликарбамид.

**Fireushin Airat Minnullovich**

Candidate of Technical Sciences,  
Associate Professor,  
Associate Professor of Department  
of Equipment and Technologies  
for Welding and Control,  
Ufa State Petroleum Technical University  
tna\_ugntu@mail.ru

**Islamova Alena Vyacheslavovna**

Master of the 1st year  
of the Faculty of Mechanics,  
Department of Equipment  
and Technologies for Welding and Control,  
Ufa State Petroleum Technical University  
alena.islamova.1997@mail.ru

**Annotation.** The issue of improving the efficiency of branch pipelines and their safe operation are considered. The analysis of the state of structures to ensure the reliability and trouble-free operation of hazardous sections of the pipeline. A method is proposed for strengthening tee joints with polycarbamide.

**Keywords:** pipeline, pipeline system, branch node, pressure vessel, ring, polyuria.

Технологические трубопроводы имеют большое количество узлов ответвлений, которые являются концентраторами напряжений, в связи с уменьшением площади поперечного сечения участка трубопровода. В случае если в месте врезки ослабление основного трубопровода не компенсируется запасом прочности соединения, то укрепление данных узлов в соответствии с ГОСТ 32569-2013 [1] является необходимой процедурой.

Для укрепления опасного участка трубопровода его усиливают специальными накладными конструкциями различных типов:

- плоским накладным кольцом;
- воротником;
- плоским кольцом, охватывающим всю трубу;
- заплечиками;
- кольцом в виде воротника;
- косынками и ребром.

Однако наиболее распространен способ укрепления накладным кольцом в виду того, что в теории он имеет лучшие прочностные свойства, но фактически в связи со сложностью пригонки, сборки и приварки накладного кольца приводит к появлению следующих дефектов:

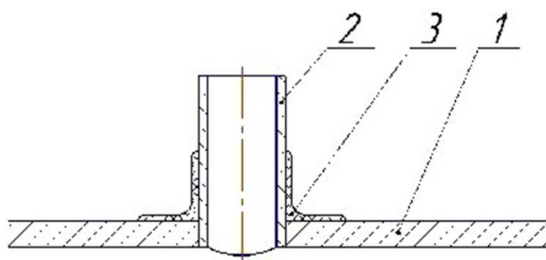
- трещин;
- укороченного горизонтального катета углового сварного шва «труба-кольцо», что стало одной из причин разрушения нефтепровода [2];
- зазоры между усиливающей накладкой и корпусом трубопровода [3];
- дефекты сварного шва;
- эксплуатационные дефекты [3, 4].

Все это ведет к появлению области повышенной концентрации напряжений в узлах врезки и как следствие к дальнейшему разрушению.

Известен способ вибрационной обработки сварных соединений, который позволяет уменьшить остаточные напряжения и увеличить сопротивляемость материала ползучести [5–6]. Однако данный способ не позволяет устранить остальные дефекты приварки накладных (укрепляющих) колец [7].



Нанесение поликарбамида на узел тройникового соединения трубопровода обеспечит его прочность, исключает зазор между накладкой и корпусом, а отсутствие сварных швов исключает остаточные сварочные напряжения, являющиеся причиной появления трещин, а так же зону термического влияния, а так же дефекты сварных швов (рис. 1).



**Рисунок 1** – Схема сварного ответвления с использованием укрепляющего элемента из поликарбамида:  
1 – основная труба; 2 – ответвление трубы; 3 – усиливающая накладка из поликарбамида

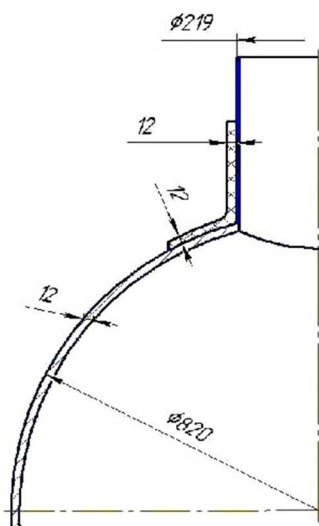
Основные свойства поликарбамида:

- твёрдость по Шору (А) при сохранении эластичности – 96;
- удлинение при разрыве – не менее 250 %;
- предел прочности при растяжении – не менее 10 МПа;
- срок службы покрытия из поликарбамида – до 50 лет;
- адгезионная прочность – не менее 2,5 МПа, (струйная обработка) – не менее 4,0 МПа;
- время отверждения (при +20 °С) – 6 секунд;
- максимальная рабочая температура от минус 100 до +250 °С.

Были проведены численные исследования на моделях в программе ANSYS WORKBENCH в модуле Static Structural для определения и сравнения напряженно-деформированного состояния узла при укреплении металлическим кольцом и различными конструктивными исполнениями накладок из поликарбамида.

Модель представляла собой цилиндрическую трубу с врезанным патрубком, нагруженная внутренним избыточным давлением. Геометрия: основная труба наружным диаметром 820 мм, толщина стенки 12 мм; патрубок наружным диаметром 219 мм, толщина стенки 4 мм. На патрубке толщина покрытия соответственно 4 мм, на основной трубе 12 мм.

Место врезки и укрепления отверстия усиливалось покрытием из поликарбамида путем сборки основной трубы с моделью накладной конструкции (рис. 2).



**Рисунок 2** – Основные размеры расчетной модели

Остается неизвестным диаметр и высота будущего покрытия. Для сравнения были взяты 3 модели, варьируемые диаметром нанесенного покрытия и его высотой:

- $d = 350$  мм,  $H = 100$  мм;
- $d = 400$  мм,  $H = 150$  мм;
- $d = 450$  мм,  $H = 200$  мм.



Модель узла врезки представлена на рисунке 3.

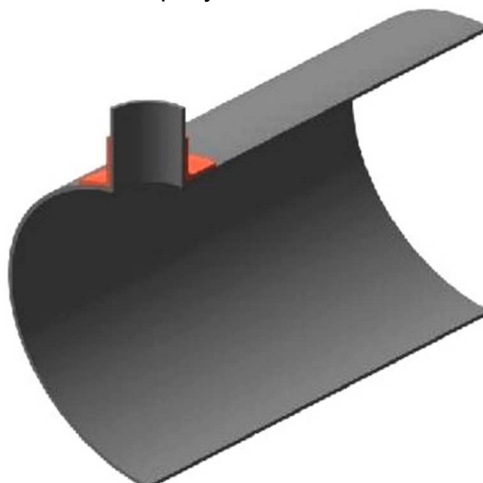


Рисунок 3 – Модель узла врезки

После импорта моделей в ANSYS WB задались свойства материалов:

- основная труба и патрубок 09Г2С  $\sigma_T = 343$  МПа;
- покрытие алюминиевый сплав, так как он имеет самые приближенные в библиотеке материалов свойства (предел прочности на разрыв 20 МПа, плотность 1101 кг/м<sup>3</sup>, твердость 627 НВ)

Построение сетки проводилось с упором на регулярность основной трубы (рис. 4), так как именно ее напряжение мы должны вычислить.

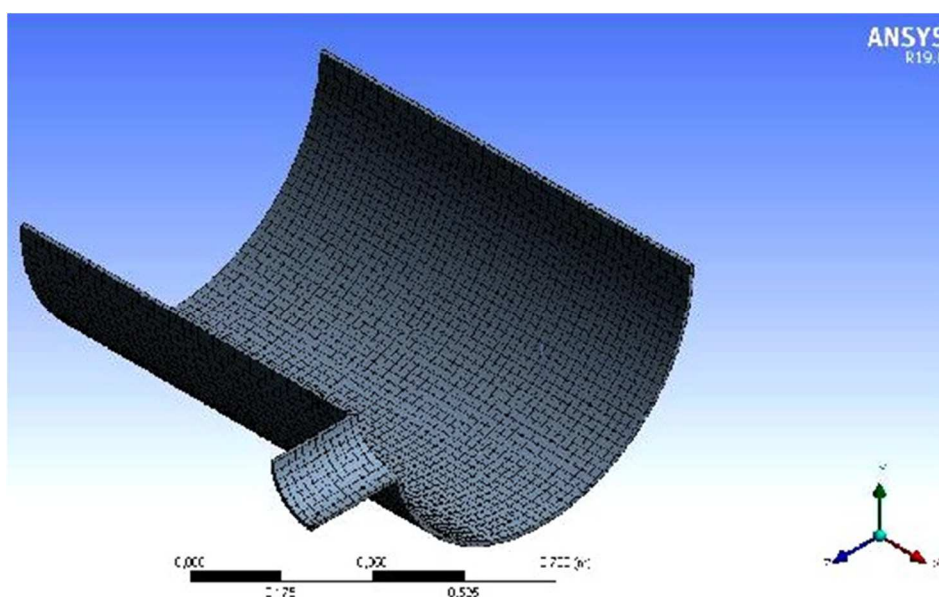


Рисунок 4 – Сетка расчетной модели

Параметры нагружения модели составили:

- давление 1,6 МПа;
- перемещение 0,0003 м.

График эквивалентных напряжений наружной поверхности трубы в поперечном сечении трубы представлен на рисунке 5.

Переход основной трубы с покрытием на основную трубу без покрытия является аналогом сварного шва для укрепления накладным кольцом.

По результатам моделирования видно, что при использовании укрепляющих элементов диаметром 400 и 450 мм, эквивалентные напряжения в основной трубе и патрубке не превышают допустимые напряжения материала основной трубы (сталь 09Г2С). Следовательно, в рамках данного исследования оптимальный размер покрытия:

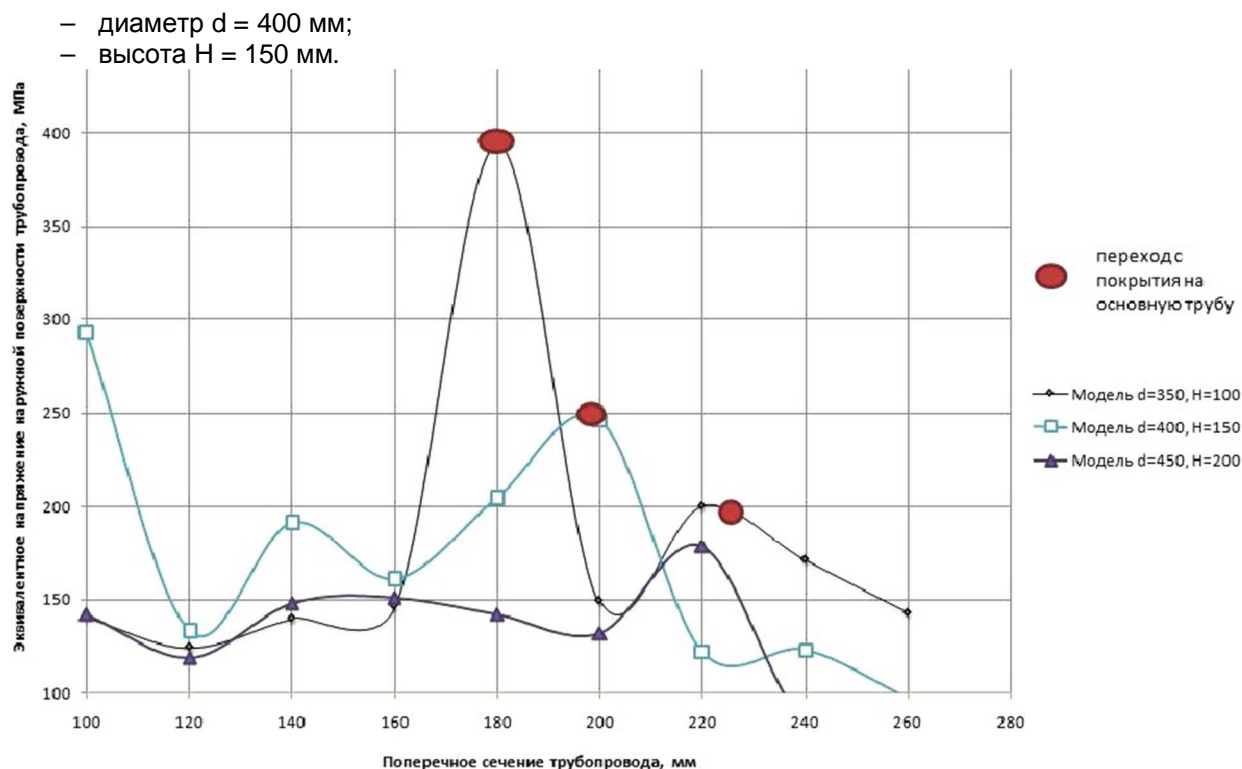


Рисунок 5 – График эквивалентных напряжений

## Выводы

1. Предложен способ укрепления узла из поликарбамида вместо традиционного укрепления приварным укрепляющим кольцом. Альтернативный способ позволяет исключить необходимость в сварных соединениях, и, как следствие, зону термического влияния, а также дефекты сварных швов.

2. На основании проведенного численного моделирования на примере модели трубопровод-патрубок было установлено, что укрепление накладными кольцами можно заменить на укрепляющий элемент из поликарбамида. Можно предположить, что размеры покрытия соответствуют следующим утверждениям:

- диаметр наносимого покрытия системой горячего безвоздушного распыления на основной трубе  $D_{\text{пок}} \geq 2 \cdot d_{\text{пат}}$ ;
- толщина покрытия на патрубок и основной трубе равна толщине стенки основной трубы, что обеспечивается путем нанесения нескольких слоев поликарбамида (1 слой = 4 мм толщины);
- высота покрытия на патрубок равна  $H \geq 0,75 \cdot d_{\text{пат}}$  [8].

## Литература:

1. ГОСТ 32569-2013. Трубопроводы технологические стальные. Требования к устройству и эксплуатации на взрывопожароопасных и химически опасных производствах. – М.: Межгосуд. совет по стандартизации, метрологии и сертификации, 2015. – 131 с.
2. Гумеров А.К., Шмаков А.К., Хайрутдинов Ф.Ш. Механизмы разрушения магистральных трубопроводов с приварными элементами // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2007. – № 1. – С. 1–5. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/GumerovAK/GumerovAK\\_1.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/GumerovAK/GumerovAK_1.pdf) (дата обращения 28.02.2020).
3. Анализ напряженного состояния укрепленного накладным кольцом штуцерного узла с учетом дефектов сборки / И.В. Аписов и др. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2014. – № 5. – С. 223–237. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5\\_2014/ogbus\\_5\\_2014\\_p223-237\\_ApisovIV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5_2014/ogbus_5_2014_p223-237_ApisovIV_ru.pdf) (дата обращения 28.02.2020).
4. Файрушин А.М. Разработка рекомендаций по применению локально укрепленных штуцерных узлов с ребрами жесткости / А.М. Файрушин и др. // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2017. – № 6. – С. 76–95. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6\\_2017/ogbus\\_6\\_2017\\_p76-95\\_FairushinAM\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p76-95_FairushinAM_ru.pdf) (дата обращения 03.03.2020).
5. Ризванов Р.Г. Повышение качества изготовления сварных нефтехимических аппаратов применением вибрационной обработки в процессе сварки / Р.Г. Ризванов и др. // Башкирский химический журнал. – 2005. – Т. 12. – № 1. – С. 27–29.
6. Файрушин А.М. О влиянии параметров вибрационной обработки на свойства металла сварного соединения / А.М. Файрушин и др. // Нефтегазовое дело. – 2011. – Т. 9. – № 2. – С. 70–75.
7. Яковлева Д.Н. Повышение безопасности при эксплуатации узлов ответвления трубопроводов с помо-



щью укрепляющих (накладных) колец / Д.Н. Яковлева, А.М. Файрушин, А.В. Исламова // Электронный научный журнал «Нефтегазовое дело». – 2018. – № 6. – С. 43–59. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6\\_2018/ogbus\\_6\\_2018\\_p43-59\\_YakovlevaDN\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2018/ogbus_6_2018_p43-59_YakovlevaDN_ru.pdf) (дата обращения 03.03. 2020).

8. Пат. 194931 РФ, F16L 49/00. Конструкция узла тройникового соединения трубопровода с применением накладной угловой конструкции / А.М. Файрушин, Д.В. Каретников, А.В. Исламова, Д.Н. Яковлева. № 2019121092; Заявлено 03.07.2019; Оpubл. 30.12.2019; Бюл. № 1.

### References:

1. GOST 32569-2013. Steel technological pipelines. Requirements for the device and operation in explosive and fire hazardous and chemically hazardous industries. – М. : Interstate. Council for Standardization, Metrology and Certification, 2015. – 131 p.

2. Gumerov A.K. Destruction mechanisms of main pipelines with welded elements / A.K. Gumerov, A.K. Shmakov, F.Sh. Khairutdinov // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». – 2007. – № 1. – P. 1–5. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/GumerovAK/GumerovAK\\_1.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/authors/GumerovAK/GumerovAK_1.pdf) (accessed 28.02.2020).

3. Apisov I.V. Analysis of the stress state of the nozzle assembly strengthened by the overhead ring taking into account assembly defects / I.V. Apisov et al. // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». – 2014. – № 5. – P. 223–237. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5\\_2014/ogbus\\_5\\_2014\\_p223-237\\_ApisovIV\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/5_2014/ogbus_5_2014_p223-237_ApisovIV_ru.pdf) (accessed 28.02.2020).

4. Fireushin A.M. Development of recommendations for the use of locally reinforced choke assemblies with stiffeners / A.M. Fireushin et al. // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». – 2017. – № 6. – P. 76–95. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6\\_2017/ogbus\\_6\\_2017\\_p76-95\\_FairushinAM\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2017/ogbus_6_2017_p76-95_FairushinAM_ru.pdf) (accessed 03.03.2020).

5. Rizvanov R.G. Improving the quality of manufacturing of welded petrochemical apparatuses using vibration processing in the welding process / R.G. Rizvanov et al. // Bashkir Chemical Journal. – 2005. – Vol. 12. – № 1. – P. 27–29.

6. Fireushin A.M. About the influence of vibration processing parameters on the properties of the weld metal / A.M. Fireushin et al. // Oil and gas business. – 2011. – Vol. 9. – № 2. – P. 70–75.

7. Yakovleva D.N. Improving safety during the operation of pipeline branch nodes using reinforcing (overhead) rings / D.N. Yakovleva, A.M. Fireushin, A.V. Islamova // Electronic scientific journal «Oil and Gas Business». – 2018. – № 6. – P. 43–59. – URL : [http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6\\_2018/ogbus\\_6\\_2018\\_p43-59\\_YakovlevaDN\\_ru.pdf](http://ogbus.ru/files/ogbus/issues/6_2018/ogbus_6_2018_p43-59_YakovlevaDN_ru.pdf) (accessed date 03.03.2020).

8. Пат. 194931 RF, F16L 49/00. The design of the node tee connection of the pipeline with the use of invoice angular design / A.M. Fireushin, D.V. Karetnikov A.V. Islamova, D.N. Yakovleva. № 2019121092; Announced July 3, 2019; Publ. 30.12.2019; Bull. № 1.