

УДК (UDC) 621.86, 621.644

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЖЕННОСТИ
ЛИНЕЙНО-ПРОТЯЖЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ
ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ОБЖИМНЫХ УСТРОЙСТВLOAD STUDY OF THE LINEAR-EXTENDED STRUCTURES
WHEN USING CRIMPING DEVICESХимич А.В., Артемова А.А., Перминова Д.И., Лагереv И.А.
Khimich A.V., Artyomova A.A., Perminova D.I., Lagerev I.A.Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)
Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В статье представлены научные подходы к исследованию напряженно-деформированного состояния линейно-протяженных конструкций, содержащих обжимные устройства. К примерам таких конструкций можно отнести канатные системы, трубопроводы для транспортировки сред под давлением. В статье подробно рассмотрено исследование напряженно-деформированного состояния газопровода, на который установлена муфта стягивающаяся стальная, используемая для ремонта подводных участков.

Ключевые слова: линейно-протяженная конструкция, обжимное устройство, напряженно-деформированное состояние.

Дата принятия к публикации: 25.01.2022
Дата публикации: 25.03.2022

Сведения об авторах:

Химич Анна Васильевна – аспирант ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: annahimich14@mail.ru.

Артемова Анна Алексеевна – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: a.artemova25@yandex.ru.

Перминова Диана Игоревна – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: di.perm01@mail.ru.

Лагереv Игорь Александрович – доктор технических наук, доцент, проректор по инновационной работе ФГБОУ ВПО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.
ORCID: 0000-0002-0921-6831

Abstract. The article presents scientific approaches to the study of the stress-strain state of linearly extended structures containing crimping devices. Examples of such structures include rope systems, pipelines for transporting media under pressure. The study of the stress-strain state of a gas pipeline on which a steel coupling used for the repair of substructures is installed is considered in detail.

Keywords: linear-extended structure, crimping device, stress-strain state.

Date of acceptance for publication: 25.01.2022
Date of publication: 25.03.2022

Authors' information:

Anna V. Khimich – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,
e-mail: annahimich14@mail.ru.

Anna A. Artyomova – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,
e-mail: a.artemova25@yandex.ru.

Diana I. Perminova – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,
e-mail: di.perm01@mail.ru.

Igor A. Lagerev - Doctor of Technical Sciences, Assistant Professor, Vice rector for Innovations, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,
e-mail: lagerev-bgu@yandex.ru.
ORCID: 0000-0002-0921-6831

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-1543.2022.4

Acknowledgements

The study was supported by Presidential Grant for Governmental Support to Young Russian Scientists No. №MD-1543.2022.4

1. Введение

Линейно-протяженные конструкции получили широкое распространение в строительстве и машиностроении. К примерам таких конструкций можно отнести канатные транспортные системы (рис. 1) [1-3] и магистральные трубопроводы для транспортировки углеводородов [4].

а)



б)



Рис. 1. Канатные транспортные системы:
 а – стационарная подвесная канатная дорога;
 б – мобильный транспортно-перегрузочный канатный комплекс для лесозаготовки

В ходе сооружения или ремонта линейно-протяженной конструкции могут использоваться различные обжимные устройства. Например, для канатной транспортной системы это может быть узел соединения двух канатов (рис. 2). При ремонте дефектных подводных участков газопроводов применяются муфты стягивающиеся стальные (рис. 3 и рис. 4).

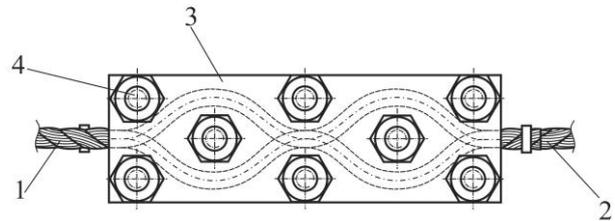


Рис. 2. Узел соединения двух канатов:
 1, 2 – скрепляемые канаты; 3 – зажимное устройство в виде двух параллельных пластин; 4 – болтовые соединения, обеспечивающие обжатие канатов



Рис. 3. Муфта стягивающаяся стальная, установленная на газопровод

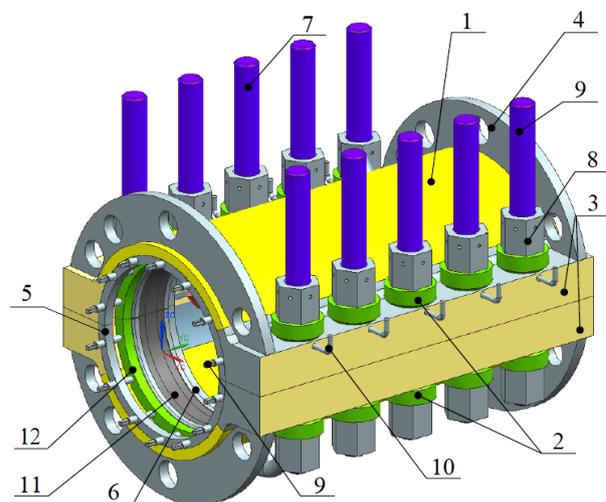


Рис. 4. Муфта стягивающаяся стальная для ремонта подводных участков магистральных газопроводов:
 1 – корпус; 2 – бобышка; 3 – фланец;
 4 – полукольцо; 5 – полукольцо;
 6 – ребро; 7 – шпилька; 8 – гайка;
 9 – шпилька малая; 10 – фиксатор;
 11 – манжетное уплотнение; 12 – вкладыш

Обжимное устройство оказывает воздействие на линейно-протяженный объект, благодаря чему достигается необходимый эффект от его применения. Данная статья посвящена вопросам моделирования напряженно-деформированного состояния линейно-протяженной конструкции методом конечных элементов при использовании обжимных устройств на примере использования муфты стягивающейся стальной для ремонта магистрального газопровода с номинальным диаметром 1220 мм.

2. Методика расчета муфты методом конечных элементов

В ходе исследования с учетом рекомендаций [4, 5] была разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния системы «газопровод – муфта стальная стягивающаяся» методом конечных элементов.

Общий вид конечноэлементной модели системы «газопровод – муфта стальная стягивающаяся» показан на рис. 5.

Так как муфта имеет сложную форму, то она в расчете аппроксимировалась объемными конечными элементами. Труба газопровода является тонкостенным элементом, поэтому она аппроксимировалась плоскими конечными элементами. Сшивка двух типов

конечных элементов выполнена с использованием специальных конечных элементов, связывающих степени свободы.

В ходе исследования применялась стратегия ручного построения конечноэлементной сетки, так как было необходимо пристыковать объемные конечные элементы муфты к плоским конечным элементам трубопровода.

Так как аналитические расчеты показали, что наибольшие напряжения в конструкции в большинстве случаев возникают в нормальном режиме работы газопровода (при номинальном давлении газа в трубопроводе), то конечноэлементные расчеты выполнены для этого режима [4].

С двух сторон от разъема муфты, состоящей из двух половин, в центрах отверстий под шпильку добавлялись дополнительные конечноэлементные узлы (рис. 6). С каждой стороны эти дополнительные узлы связывались абсолютно жесткими конечными элементами с узлами конечных элементов, примыкающих к отверстию. Два дополнительных узла, размещенных с разных сторон разъема, связывались упругим конечным элементом, моделирующим шпильку. К дополнительным узлам вдоль осевой линии отверстия также приложено усилие предварительного натяжения шпильки 1018 кН.

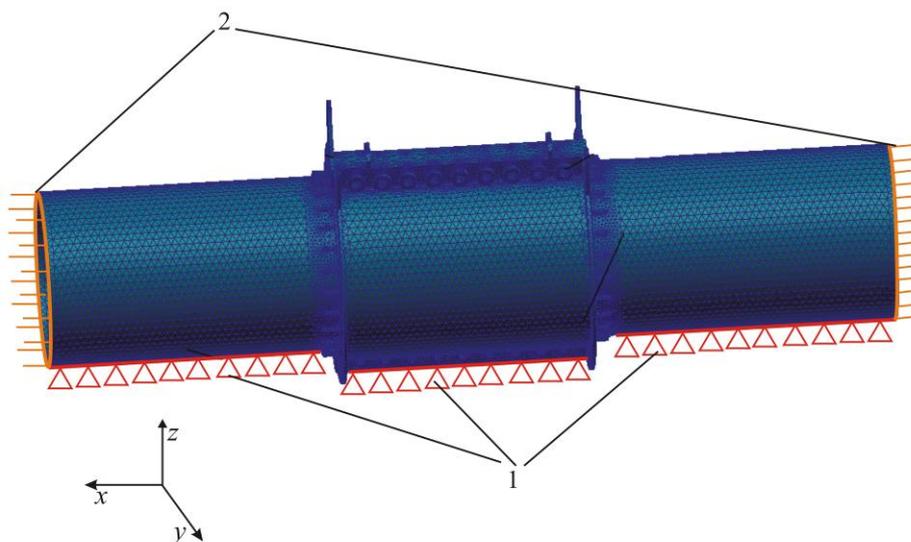


Рис. 5. Конечноэлементная модель муфты с креплениями:

- 1 – крепление по всем направлениям по нижней линии и вдоль трубопровода и муфты;
- 2 – крепление вдоль оси трубопровода (вдоль оси x)

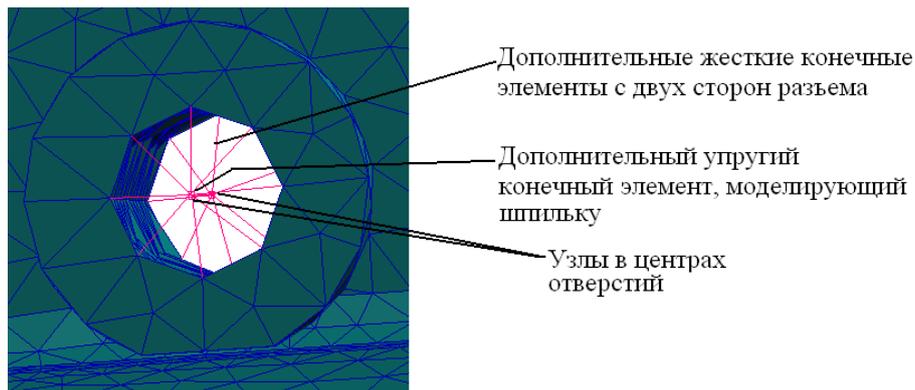


Рис. 6. Моделирование шпилек разреза муфты

В качестве действующих функциональных нагрузок согласно табл. 14 п. 12.2.1 СП 36.13330.2012 и СП 20.13330.2016 при расчете были рассмотрены следующие постоянные нагрузки:

- нормативная нагрузка от рабочего давления транспортируемого газа;
- нормативная нагрузка от гидростатического давления воды;
- нормативная вертикальная нагрузка от веса насыпного грунта;
- нормативная горизонтальная нагрузка от бокового давления веса насыпного грунта;
- нормативная вертикальная нагрузка от веса трубы;
- нормативная вертикальная нагрузка от веса муфты и наполнителя.

Распределенные нагрузки приложены в виде нагрузки типа «Давление». Среди них: нормативная нагрузка от рабочего давления транспортируемого газа 7,5 МПа; нормативная нагрузка от гидростатического давления воды на газопровод и муфту 0,4 МПа (для глубины расположения 40 м).

Нормативные вертикальные нагрузки от веса учитывались с помощью постоянного ускорения свободного падения. Также были приложены указанные выше усилия затяжки шпилек.

3. Результаты расчета муфты

На рис. 7 – 9 приведены результаты расчета напряженно-деформированного состояния конструкции. Для оценки влияния муфты на газопровод расчеты выполнены с установкой и без установки муфты.

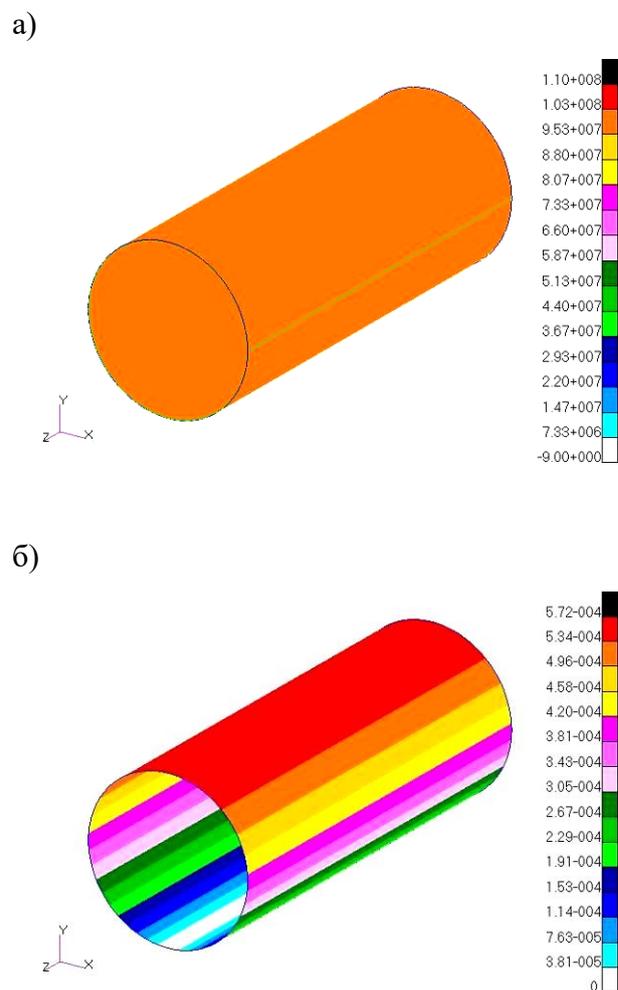


Рис. 7. Результаты расчета газопровода без установки муфты: а – эквивалентные напряжения в конструкции, Па; б – деформации, м

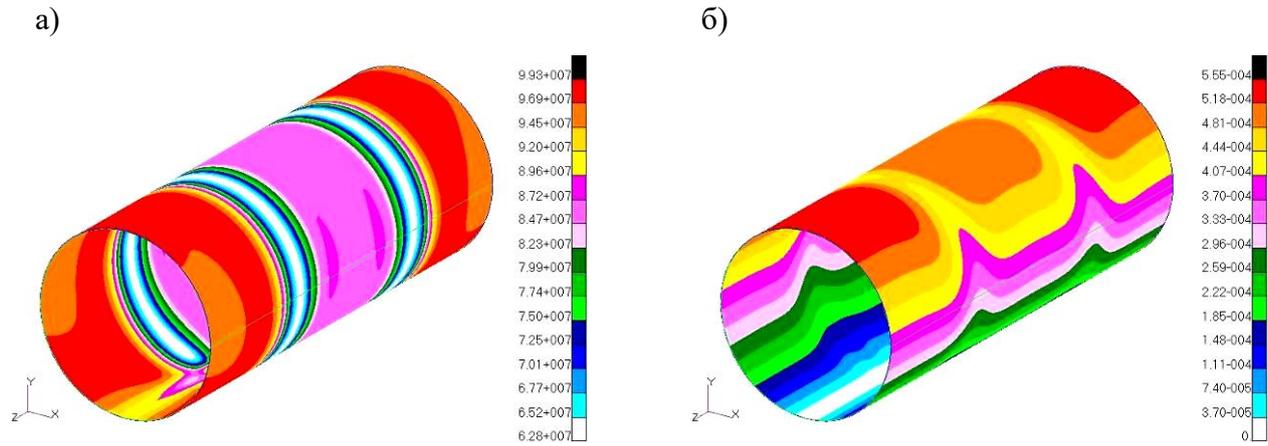


Рис. 8. Результаты расчета трубопровода при установке муфты:
 а – эквивалентные напряжения в конструкции, Па; б – деформации, м

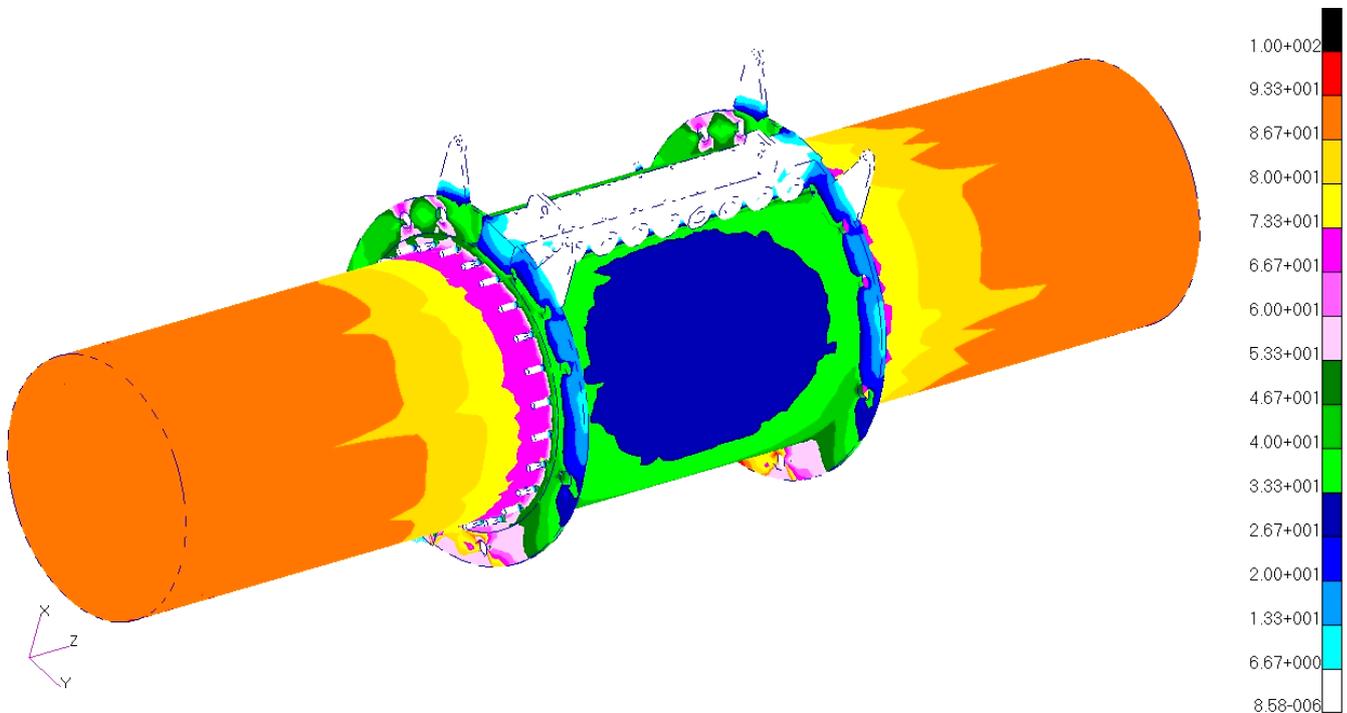


Рис. 9. Результаты расчета эквивалентных напряжений в муфте, МПа

Муфты стальные стягивающиеся применяются для ремонта дефектов газопроводов, представляющих собой потерю металла в результате коррозии или иного воздействия. С использованием разработанной модели проанализировано влияние потери металла на величину максимальных эквивалентных напряжений σ в газопроводе (рис. 10). При этом в области дефекта установлена муфта. Глубина дефекта определяется толщиной стенки газопровода S . При номинальном диаметре газопровода 1220 мм номинальная толщина стенки S была принята равной 40 мм.



Рис. 10. Зависимость максимальных эквивалентных напряжений в газопроводе в зависимости от S

4. Основные выводы

На основе результатов исследования можно сделать следующие выводы.

1. Обжимные устройства вносят свой вклад в напряженно-деформированное состояние линейно-протяженной конструкции. Усилия обжатия приводят к возникновению сжимающих напряжений, которые складываются с нормально действующими напряжениями. В случае с канатами наличие обжимных устройств увеличивает суммарные напряжения. В случае с трубопроводами, испытывающими растягивающие напряжения от воздействия внутреннего давления, суммарные напряжения уменьшаются.

Список литературы

1. Пат. 2337023 Рос. Федерация: МПК7 В61В 7/00. Мобильная подвесная канатная дорога / Короткий А.А., Хальфин М.Н., Маслов В.Б. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. № 2007102705/11; заявл. 24.01.2007; опублик. 27.10.2008, Бюл. 30.
2. Лагерев А.В., Таричко В.И., Солдатченков С.П. Обеспечение общей устойчивости базовых колесных станций мобильных канатных дорог // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 210-220.
3. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Оптимальное проектирование линий канатного метро в условиях сильно урбанизированной городской среды // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2015. Т.1. № 1. С. 57-65.
4. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Говоров В.В. Прочностной анализ коннектора для подводных переходов магистральных газопроводов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2011. №3. С. 31-37.
5. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Мильто А.А. Универсальная методика определения напряжений в стержневых элементах конструкций гидравлических кранов-манипуляторов в задачах динамики // Вестник Брянского государственного университета. 2013. №4. С. 21-27.

2. Установка муфты стальной стягивающейся на газопровод приводит к снижению на 15...45% величины действующих напряжений. При этом меньшие значения соответствуют участку трубопровода внутри муфты, большие – участкам установки манжетных уплотнений.

3. Напряжения в трубопроводе соответствуют допускаемым при $S \approx 24$ мм (красные линии на графике, показанном на рис. 10). Напряжения в трубе соответствуют номинальному значению (для режима Д0) при $S_{min} \approx 31$ мм (зеленые линии на графике линии на графике, показанном на рис. 10). Таким образом, необходимо минимальное значение $S = 31$ мм.

References

1. Patent RU 2337023, B61B 7/00. Mobilnaya podvesnaya kanatnaya doroga [Mobile ropeway]. Korotkiy A.A., Khalphin M.N., Maslov V.B. Published 27.10.2008. (In Russian)
2. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P. General stability of a base vehicle of a mobile ropeway. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 210-220. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-02-210-220 (In Russian)
3. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal design of cable subway lines in a highly urbanized city environment. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2015, Vol.1, No.1, pp. 57-65. (In Russian)
4. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Govorov V.V. Strength analysis of the connector for underwater crossings of main gas pipelines. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, No.3, pp. 31-37. (In Russian)
5. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Milto A.A. Universal technique for stress analysis of beam elements of articulating cranes in case of dynamic load. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2013, No.4, pp. 21-27. (In Russian)