

## Анализ технологий строительства подземных нефтегазопроводов в сейсмически опасных районах

*А.О. Онищенко, С.М. Аль-Машвали, И.А. Томарева*

*Институт архитектуры и строительства (ИАuС)  
Волгоградского государственного технического университета (ВолгГТУ)*

**Аннотация:** Обеспечение надежности нефтегазопроводов, проложенных в зонах с повышенной сейсмичностью, а именно, выбор конструкции и технологии строительства трубопроводов, является темой актуальной и требующей серьезной проработки. В статье рассмотрены способы прокладки подземного трубопровода в сейсмоопасных районах, дан анализ предлагаемых конструкций и технологий строительства. Для минимизации выявленных недостатков авторами предложена конструктивная схема трубопровода, построенного методом микротоннелирования, которая позволит обеспечить устойчивость конструкции к воздействию сейсмических нагрузок и снизить затраты на строительство и эксплуатацию.

**Ключевые слова:** подземный нефтегазопровод, сейсмическое воздействие, надежность, микротоннелирование, технология строительства, конструктивные схемы, компенсирующий элемент.

В Российской Федерации около 20% территорий регулярно подвергаются сейсмическим воздействиям. По 12-балльной макросейсмической шкале MSK-64 в таких регионах страны, как Северный Кавказ, Юг Сибири и Дальнего Востока, о. Сахалин, Курильские острова интенсивность землетрясений достигает 8-9 баллов и более (рис. 1) [1, 2].



Рис. 1. - Зоны с повышенной сейсмичностью на территории России

Значительная часть трубопроводных систем, транспортирующих нефть и газ, располагаются именно в этих районах. На протяжении всего жизненного цикла трубопроводов необходимо учитывать возникающее сейсмическое движение земной коры, которое способствует появлению значительных горизонтальных и вертикальных деформаций грунтов и может привести к авариям [3, 4].

Поэтому обеспечение надежности нефтегазопроводов, эксплуатируемых в зонах с повышенной сейсмичностью, а именно, выбор конструкции и технологии строительства трубопроводов, является темой актуальной и требующей серьезной проработки.

В большинстве случаев весьма целесообразным мероприятием сейсмозащиты трубопровода является снижение степени его заземления в грунте [5].

Известны способы строительства подземного трубопровода в зонах с повышенной сейсмичностью, заключающиеся в разработке траншеи, укладке в нее трубопровода и засыпке траншеи грунтом с предварительным оснащением трубопровода упругодеформирующимися и упругопластичными элементами, компенсирующими сейсмические нагрузки (рис. 2, 3) [6]. Дополнительной защитой может служить стальной лист, накрывающий трубопровод сверху (рис. 4) [7]. При сейсмической активности, за счет свойств установленных элементов, происходит компенсация сил, действующих на трубопровод, демпфирование колебаний трубопровода. В связи с этим происходит существенное повышение надежности трубопровода.

Однако недостатками рассмотренных способов строительства нефтегазопроводов являются сложность и достаточно высокая стоимость строительно-монтажных операций, а также работ при проведении ремонта и профилактики в процессе эксплуатации трубопровода.

---

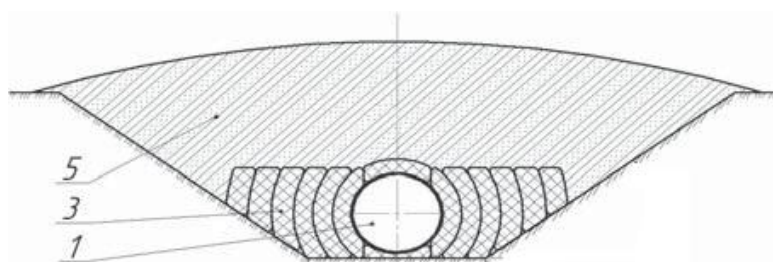


Рис. 2. - Поперечное сечение траншеи с упругопластичными элементами: 1 – трубопровод, 3 – упругопластичный элемент, 5 – грунт засыпки (гравий или щебень)

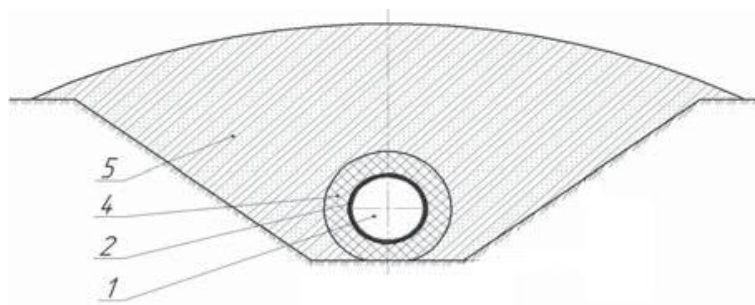


Рис. 3. - Поперечный разрез траншеи с упругодеформируемыми элементами: 1 – трубопровод, 2 – скальный лист, 4 – упругодеформируемый элемент, 5 – грунт засыпки (гравий или щебень)

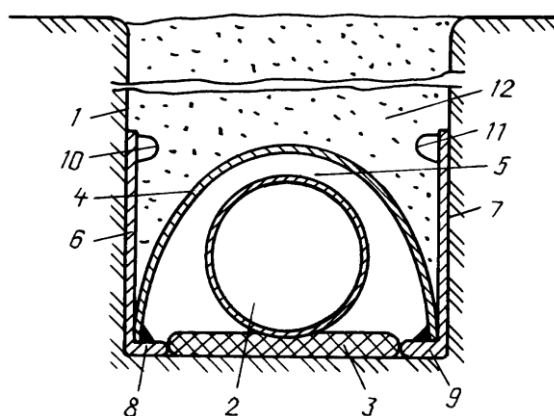


Рис. 4. - Поперечный разрез траншеи с трубопроводом, уложенным на плоские упругопластичные элементы и накрытого стальным листом: 1 – траншея; 2 – трубопровод; 3 – упругопластичные элементы; 4 – стальные листы; 5 – зазор; 6,7 – вертикальные листы; 8,9 – отогнутые кромки; 10,11 – петли; 12 – грунт

Исследования авторов направлены на то, чтобы предложить технологию строительства подземного трубопровода в сейсмически опасном районе, объединяющую достоинства выше представленных способов и минимизирующую их недостатки.

С этой целью предлагаем рассмотреть трубопровод, построенный методом микротоннелирования, применив следующую конструктивную схему. Футляры из железобетонных труб, формирующие микротоннель, необходимо покрыть изолирующим слоем из материалов, противостоящих усилиям среза, имеющих долговечность, долгосрочную стабильность и малые объемные изменения. К таким относятся материалы, основанные на асфальте, силиконе или полиуритане. Сам трубопровод предлагается оснащать компенсирующими элементами (рис. 5, 6, 7).

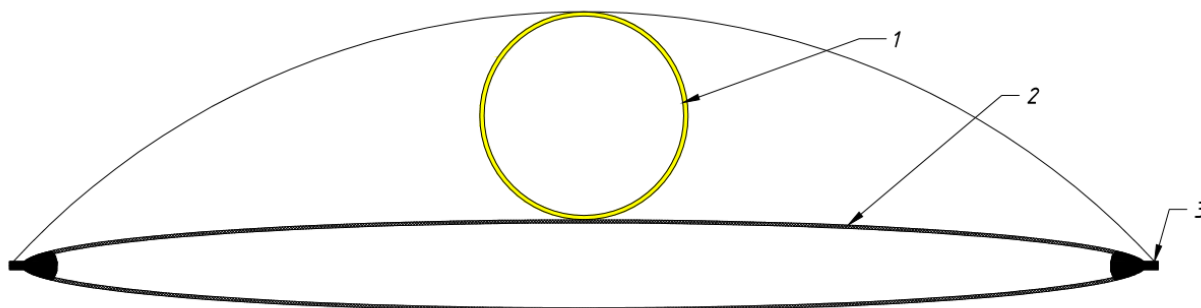


Рис. 5. - Поперечный разрез расположения не сцепленных компенсирующих элементов на трубопроводе: 1 – трубопровод; 2 – микротоннель; 3 – компенсирующие элементы

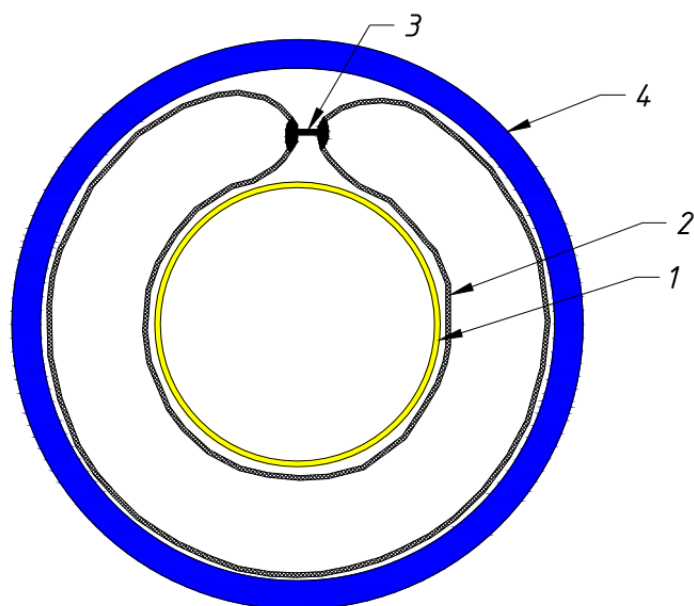


Рисунок 6. - Продольный разрез микротоннеля с компенсирующими элементами: 1 – трубопровод; 2 – компенсирующие элементы; 3 – сцепка; 4 – микротоннель

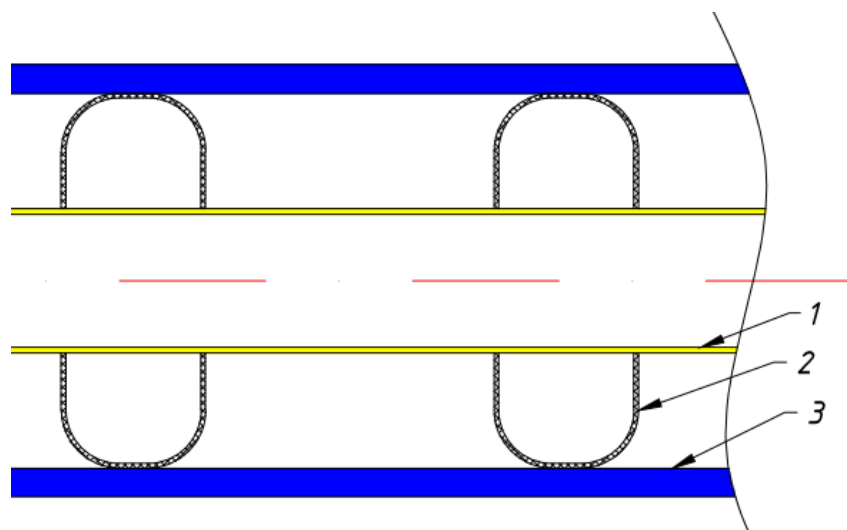


Рисунок 7. - Продольный разрез микротоннеля с компенсирующими элементами: 1 – трубопровод; 2 – компенсирующие элементы; 3 – микротоннель

Объектом исследования выбран трубопровод диаметром 1220 мм с толщиной стенки от 12 мм, изготовленный из пластичных сталей с пределами прочности до 650 МПа, уложенный в микротоннеле диаметром 1400 мм. Микротоннель выполнен из железобетонных труб, а в качестве компенсирующих вставок предлагаем установить пневматические ролик-мешки. Выбор вставок обусловлен простотой в эксплуатации, минимальными затратами на их установку и ремонт. Ролик-мешки устанавливаются при помощи крана и затягиваются вокруг трубопровода с помощью стяжек. Для уменьшения воздействия динамических нагрузок на трубопровод компенсирующие элементы предлагаем установить с чередованием воздушных прослоек.

Анализ нормативных документов (СП 14.13330.2018), научной литературы [8-10] и произведенные расчеты показали следующее: предложенная конструкция (микротоннель с уложенным в нем трубопроводом с компенсирующими элементами), построенная в зоне с сейсмичностью 8 баллов, способна выдержать смещение до нескольких метров без разрушения и деформации трубопровода.

Анализ рассмотренных способов сейсмозащиты трубопроводов показал, что разработанная нами конструкция (микротоннель + трубопровод + компенсирующие элементы) имеет преимущество по сравнению с остальными методами сейсмозащиты. Предлагаемое решение позволяет повысить надежность трубопровода, упростить его прокладку, а также удешевить операции, связанные с ремонтом и профилактикой его оборудования в процессе эксплуатации.

Предложенная технология строительства может быть востребована в тех районах, где разработка траншей для строительства нефтегазопроводов не желательна или недопустима (районы Крайнего Севера, особо охраняемые природные территории, плотная застройка в густонаселенных районах и т.д.).

---

## Литература

1. Медведев С.В., Шпонхойер В., Карник В. Шкала сейсмической интенсивности MSK-64. – М.: МГК АН СРРР, 1965. 11 с.
2. Инженерно-сейсмологические исследования для районирования сейсмической опасности. Сб. науч. тр. / Редкол.: Алешин А.С. - М.: Наука, 1992. 124 с.
3. Савинов О.А. Сейсмостойкость магистральных трубопроводов и специальных сооружений нефтяной и газовой промышленности. М.: Наука, 1980. 170с.
4. Наваретте Д.Д.Х Особенности строительства трубопроводов в районах с высокой сейсмичностью: дис... канд. техн. наук: 05.03.13. Уфа, 2013. 163 с.
5. Имаева Р.Ф., Муфтахов Е.М. Особенности строительства магистральных трубопроводов в сейсмических районах // Neftegaz.ru – 2018 - № 12. С.24-27
6. Мустафин Ф.М., Шаммазов А.М., Гаскаров А.И., Наваретте Д.Д.Х. и др. Способ прокладки трубопроводов в сейсмических районах: пат. 2447348 Рос. Федерация: МПК F 16L 1/028 C2/2010
7. Тарасов Ю.Д., Николаев А.К. Способ прокладки трубопроводов в сейсмических районах: пат. 2498140 Рос. Федерация: МПК F 16L 1/028 C1/2012
8. Андреева Е.В. Разработка методики оценки несущей способности подземных магистральных трубопроводов в сейсмически опасных зонах: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19. М., 2009. 24 с.
9. Гехман А.С. Расчёт, конструирование трубопроводов в сейсмических районах / А.С. Гехман, Х.Х Зайнетдинов. М.: Стройиздат, 1988. 184 с.



10. Рудаченко А.В., Саруев А.Л. Исследование напряженно-деформированного состояния трубопроводов. учеб.-метод. пособие // Томск, 2011. 136 с.

### References

1. Medvedev S.V., Shponhojer V., Karnik V. Shkala sejsmicheskoy intensivnosti MSK-64[Seismic intensity scale MSK-64]. M.: MGK AN SRRR, 1965. 11 p.

2. Inzhenerno-sejsmologicheskie issledovaniya dlja rajonirovaniya sejsmicheskoy opasnosti [Engineering and seismological researches for the zoning of seismic hazard]. Sb. nauch. tr. Redkol.: Aleshin A.S. M.: Nauka, 1992. 124 p.

3. Savinov O.A. Sejsmostojkost' magistral'nyh truboprovodov i special'nyh sooruzhenij neftjanoj i gazovoj promyshlennosti [seismic resistance of main pipelines and special structures of the oil and gas industry]. M.: Nauka, 1980. 170 p.

4. Navarette D.D.H Osobennosti stroitel'stva truboprovodov v rajonah s vysokoj sejsmichnost'ju [Features of construction of pipelines in areas with high seismicity]: dis... kand. tehn. nauk: 05.03.13. Ufa, 2013. 163 p.

5. Imaeva R.F., Muftahov E.M. Neftegaz.ru, 2018, № 12. Pp.24-27

6. Mustafin F.M., Shammazov A.M., Gaskarov A.I., Navarette D.D.H. i dr. Sposob prokladki truboprovodov v sejsmicheskikh rajonah [Method of laying pipelines in seismic areas]: pat. 2447348 Ros. Federacija: MPK F 16L 1/028 C2/2010

7. Tarasov Ju.D., Nikolaev A.K. Sposob prokladki truboprovodov v sejsmicheskikh rajonah [Method of laying pipelines in seismic areas]: pat. 2498140 Ros. Federacija: MPK F 16L 1/028 C1/2012

8. Andreeva E.V. Razrabotka metodiki ocenki nesushhej sposobnosti podzemnyh magistral'nyh truboprovodov v sejsmicheski opasnyh zonah [Development of a methodology for assessing the bearing capacity of underground





main pipelines in seismically hazardous areas]: avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk: 25.00.19. M., 2009. 24 p.

9. Gegman A.S., Zaynetdinov H.H. Raschet, konstuirovaniye i ekspluatatsiya truboprovodov v seismicheskikh rayonah [Calculation, design and operation of pipelines in seismic areas] M.: Stroyizdat, 1988. 184 p.

10. Rudachenko A.V., Saruev A.L. Issledovanie napryazhenno-deformirovannogo sostojaniya truboprovodov [Investigation of the stress-strain state of pipelines]. Ucheb.-metod. Posobie. Tomsk, 2011. 136 p.