
АНАЛИЗ СПОСОБОВ СЕЙСМОЗАЩИТЫ МАГИСТРАЛЬНЫХ И ГОРОДСКИХ ТРУБОПРОВОДОВ С УЧЁТОМ НАДЗЕМНОЙ ПРОКЛАДКИ ГАЗОПРОВОДОВ В РЕСПУБЛИКЕ АРМЕНИЯ

ПЕТРОСЯН АСМИК

доцент кафедры спасательного дела

Учебного подразделения спасательной службы и кризисного управления

Образовательного комплекса Министерства внутренних дел

Республики Армения кандидат педагогических наук, доцент

кандидат технических наук

DOI: 10.61746/18292984-2026.1.28cmt-15

Аннотация. В статье выполнен комплексный анализ способов сейсмозащиты магистральных и городских трубопроводов с учётом особенностей их подземной и надземной прокладки. Особое внимание уделено надземным магистральным газопроводам, широко применяемым в Республике Армения в условиях сложного горного рельефа и высокой сейсмической опасности. Исследованы основные механизмы сейсмического воздействия на трубопроводные системы, выполнена классификация конструктивных, инженерно-геотехнических и планировочных методов и технологий повышения сейсмостойкости, а также оценена возможность их приспособления к условиям Республики Армения.

Сформулированы выводы и практические рекомендации по применению рациональных решений при проектировании и реконструкции надземных газопроводов.

Ключевые слова: магистральные трубопроводы, надземные газопроводы, сейсмозащита, сейсмостойкость, опорные системы, деформационные компенсаторы.

Магистральные и городские газопроводы представляют собой критически важные элементы топливно-энергетической инфраструктуры и во многих случаях проходят по территориям с высокой сейсмической активностью.

Сейсмические повреждения газопроводов охватывают широкий спектр последствий, включая как первичные, так и вторичные эффекты. Для газопроводов первичные воздействия, такие как физические повреждения, могут вызывать вторичные последствия — выброс опасных веществ, пожары, взрывы, ухудшение экологической ситуации и перебои в предоставлении услуг. Эти вторичные явления, в свою очередь, способны приводить к более масштабным социальным нарушениям, экологическому ущербу, человеческим жертвам, экономическим потерям и другим косвенным последствиям. Ключевой стратегией снижения этих рисков является учёт региональной сейсмической уязвимости при проектировании трассы трубопровода [8].

Сейсмическое воздействие на трубопроводные системы имеет сложный характер и определяется как параметрами землетрясения, так и условиями взаимодействия трубопровода с окружающим грунтовым массивом. Основными опасными проявлениями землетрясений являются волновые колебания грунта и остаточные деформации основания, включая тектонические смещения, оползни и разжижение грунтов. В случае неоднородного грунтового массива максимальные напряжения в трубопроводе формируются вблизи границ раздела слоёв и могут превышать значения, полученные при игнорировании взаимодействия «грунт–труба» [5].

Поведение подземных трубопроводов существенно отличается от поведения надземных сооружений. Для надземных конструкций основным сейсмическим воздействием являются инерционные силы, воспринимаемые опорными элементами, в то время как для подземных трубопроводов инерционные эффекты в значительной степени компенсируются взаимодействием с окружающим грунтом. При этом определяющую роль играет совместная деформация системы «грунт–труба». Кроме того, для надземных сооружений обычно предполагается когерентное движение основания, тогда как протяжённые подземные трубопроводы подвергаются воздействию некогерентных сейсмических колебаний, обусловленных фазовыми сдвигами и неоднородностью грунта вдоль трассы [5].

Повреждения подземных трубопроводов подразделяются на вызванные временными и постоянными деформациями грунта. Временные деформации обусловлены распространением сейсмических волн, тогда как постоянные деформации возникают вследствие смещения разломов, оползней, бокового расползания грунта и других остаточных процессов [7].

Газопроводы малых диаметров, прокладываемые под землёй, обладают повышенной устойчивостью к внутреннему давлению в условиях сейсмического воздействия. Наиболее уязвимыми являются надземные трубопроводные системы, которые напрямую воспринимают инерционные нагрузки, что способствует формированию специфических механизмов повреждений [4].

Республика Армения относится к регионам с повышенной сейсмической опасностью, что обуславливает необходимость применения специальных проектных решений, направленных на обеспечение надёжности и безопасности линейных инженерных сооружений. Особенностью газотранспортной системы Республики Армения является широкое применение надземной прокладки магистральных и городских газопроводов, обусловленное горным рельефом, активными геодинамическими процессами и технико-экономическими факторами.

Целью настоящей работы является анализ существующих способов сейсмозащиты магистральных и городских газопроводов и обоснование рациональных технических решений для надземных газопроводов в условиях Республики Армения с учётом требований действующей нормативной базы.

Способы сейсмозащиты надземных трубопроводов классифицируются по следующим признакам:

1. Конструктивные способы сейсмозащиты направлены на повышение деформативной способности трубопроводных систем и снижение концентрации напряжений. К основным конструктивным решениям относятся применение деформационных компенсаторов, использование труб из материалов с повышенной пластичностью, устройство криволинейных участков трассы, усиление сварных соединений, а также применение подвижных, скользящих и маятниковых опор для надземных трубопроводов [3].

В работе [3] предложен системный подход к сейсмозащите магистральных трубопроводов, основанный на управлении деформационной способностью трубопроводной системы и снижении жёсткости наиболее напряжённых узлов.

При сооружении трубопроводов в сейсмически активных районах используются различные конструктивные решения по их прокладке. Широко применяется надземный способ прокладки трубопроводов на свободноподвижных опорах, особенно при пересечении трассой трубопровода активных тектонических разломов. Классификация способов уменьшения сейсмических воздействий на надземные трубопроводы представлена на рис. 1.

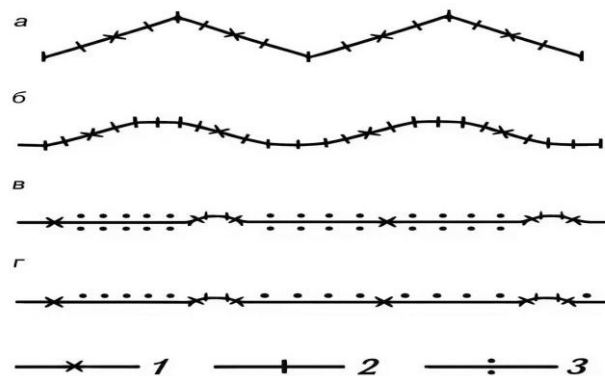


Рис.1 Варианты прокладки трубопроводов, обеспечивающие самокомпенсацию деформаций: а – с Z-образными компенсационными участками; б – зигзагообразная прокладка, в, г – прямолинейная со слабоизогнутыми компенсационными участками; 1 – неподвижные опоры; 2 – свободноподвижные опоры; 3 – продольноподвижные опоры

На протяженных трубопроводах для компенсации сейсмических нагрузок, возникающих вследствие взаимных смещений опор, находящихся в различных фазах движения сейсмической волны вдоль трубопровода, также применяется установка компенсаторов различных типов рис. 2.

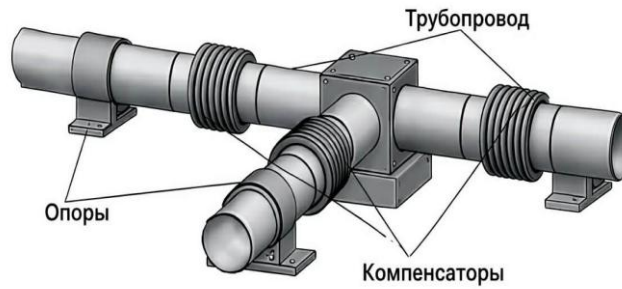


Рис. 2 Установка сильфонных компенсаторов на трубопроводах

Одними из наиболее перспективных являются сильфонные компенсаторы, обладающие гибкостью, имеющие небольшие размеры и обеспечивающие более четкую работу трубопроводной системы. Сильфонные компенсаторы различных конструкций устанавливают как на прямолинейных, так и на криволинейных участках трубопроводов, а также на участках трубопроводов, пересекающих границу двух грунтовых толщ с резко отличающимися свойствами. Сильфонные деформационные компенсаторы воспринимают перемещения, вызываемые растягивающими и сжимающими усилиями, а также изгибающими моментами, возникающими в трубопроводе.

При проектировании надземных трубопроводов для сейсмоопасных районов необходимо обеспечить условия для гашения колебаний. Конструкции опор надземных трубопроводов должны позволять трубопроводам свободно перемещаться по опорам как в продольном, так и в поперечном направлении. Ригели опор, на которые опирается трубопровод, должны иметь упоры, препятствующие его перемещению свыше определенного значения и сбросу трубы с опор. Для активного гашения энергии сейсмических колебаний в продольном направлении применяется прокладка трубопровода с компенсационными участками, в продольном и поперечном горизонтальном направлениях. Конструкция опоры трубопровода с компенсационными салазками и направляющим хомутом, представленная на рис. 3.



Рис.3 Опора трубопровода с компенсационными салазками и направляющим хомутом

Данный вид опоры воспринимает расчетные усилия и обеспечивает нормальную работу трубопровода при статических нагрузках и возможность продольных перемещений трубопровода при расчетных эксплуатационных нагрузках и сейсмических колебаниях.

Такая опора обеспечивает двухмерное перемещение трубопровода в целях компенсации возникающих деформационных нагрузок[3].

Для защиты трубопровода от вертикальной составляющей волн применима конструкция опор трубопровода, внешний вид которой приведен на рис. 4 [3]. Конструкция состоит из упругих стальных пластин, размещенных на одиночных бетонных основаниях, поверх которых кладется трубопровод. Отсутствие жесткого крепления трубы и опоры обеспечивает продольную и поперечную свободу перемещений.



Рис. 4 Внешний вид конструкции опор надземного трубопровода

2. Инженерно-геотехнические методы включают мероприятия по улучшению свойств грунтов основания и условий взаимодействия трубопровода с окружающей средой. К ним относятся замена и уплотнение слабых грунтов, устройство песчано-гравийных подушек, применение геосинтетических материалов и защитных футляров, которые являются сравнительно новой областью в геотехнической инженерии.

Варианты улучшения грунта оцениваются по их способности увеличить несущую способность и уменьшить осадку, то есть повысить допустимое давление на основание. Допускаемое давление может быть увеличено за счёт:

1. Увеличения жёсткости грунта (что приводит к снижению осадки);
2. Повышения прочности грунта на сдвиг (что увеличивает несущую способность);
3. Снижения вариабельности свойств грунта (что уменьшает неравномерные осадки).

Уплотнение несвязных грунтов или консолидация связных грунтов позволяет повысить их прочность и жёсткость. [6].

Данные методы особенно эффективны в зонах оползневых процессов и возможного разжижения грунтов.

3. Планировочные методы реализуются на стадии проектирования и включают оптимизацию трассы трубопровода с учётом сейсмического районирования территории, обход зон активных тектонических разломов и минимизацию пересечений с опасными геологическими структурами [7]. Рациональный выбор трассы позволяет существенно снизить уровень сейсмического риска без значительных дополнительных затрат.

В условиях городской застройки Республики Армения надземная прокладка трубопроводов зачастую не позволяет реализовать в полном объёме эффективные методы сейсмозащиты. Жёсткая привязка опор к зданиям и сооружениям повышает риск передачи сейсмических воздействий между различными элементами городской инфраструктуры.

С учётом изложенного, надземная прокладка газопроводов в границах населённых пунктов Республики Армения не может рассматриваться как предпочтительное решение и должна применяться только при наличии обоснованных технико-экономических причин и при обязательном использовании специальных мероприятий по снижению сейсмического риска в соответствии с требованиями СН 34-02-2023 и СН 20-04-2020 [1,2].

В качестве более рациональной альтернативы в условиях городской застройки следует рассматривать подземную прокладку газопроводов с применением гибких соединений, что позволяет существенно снизить вероятность аварийных повреждений при сейсмических воздействиях.

Проведённый анализ показывает, что в условиях Республики Армения, характеризующихся высокой сейсмичностью и преобладанием надземной прокладки газопроводов, наибольшую эффективность обеспечивают комбинированные методы сейсмозащиты. Применение технологий, направленных на повышение деформационной способности системы «труба–опора», а также оптимизация трасс трубопроводов с учётом сейсмического районирования территории позволяет существенно снизить уровень сейсмических напряжений и вероятность аварийных повреждений.

Предложенные технические решения являются методологически обоснованными и могут быть адаптированы к национальной нормативной базе Республики Армения при условии их согласования с требованиями действующих строительных норм и правил, а также с учётом результатов инженерно-геологических изысканий.

**ANALYSIS OF SEISMIC PROTECTION METHODS FOR MAIN AND URBAN
PIPELINES CONSIDERING THE ABOVEGROUND INSTALLATION OF GAS
PIPELINES IN THE REPUBLIC OF ARMENIA**

PETROSYAN HASMIK

PhD in Technical Sciences

Associate Professor at the Chair of Rescue Works,

Rescue Service and Crisis Management Educational Unit,

Educational Complex of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Armenia

Abstract. This article presents a comprehensive analysis of seismic protection methods for main pipelines with special emphasis on above-ground gas pipelines widely used in the Republic of Armenia. The study considers the specific seismic response mechanisms of above-ground pipeline systems subjected to strong ground motions. Structural, geotechnical, and routing-based seismic protection methods are classified and analyzed. Special attention is paid to the studies of above-ground main gas pipelines, which are widely used in the Republic of Armenia under conditions of complex mountainous terrain and high seismic hazard. The main mechanisms of seismic impact on pipeline systems are examined, and structural, engineering-geotechnical, and planning methods and technologies for enhancing seismic resistance are classified, along with an assessment of their adaptability to the conditions of the Republic of Armenia. Conclusions and practical recommendations are formulated regarding the application of rational solutions in the design and reconstruction of above-ground gas pipelines.

Key words: main pipelines, above-ground gas pipelines, seismic protection, seismic resistance, support systems, expansion joints.

**ՄԱՅՐՈՒՂԱՅԻՆ ԵՎ ՔԱՂԱՔԱՅԻՆ ԽՈՂՈՎԱԿԱՇԱՐԵՐԻ
ՍԵՅՄԱՊԱՇՏՊԱՆՈՒԹՅԱՆ ՄԵԹՈԴՆԵՐԻ ՎԵՐԼՈՒԾՈՒԹՅՈՒՆԸ ՀԱՇՎԻ
ԱՌՆԵԼՈՎ՝ ՀԱՅԱՍՏԱՆԻ ՀԱՆՐԱՊԵՏՈՒԹՅՈՒՆՈՒՄ ԳԱԶՏԱՐՆԵՐԻ
ՎԵՐԳԵՏՆՅԱ ԱՆՑԿԱՑՈՒՄԸ**

ՊԵՏՐՈՍՅԱՆ ՀԱՍՄԻԿ

ՀՀ Ներքին գործերի նախարարության կրթահամալիրի

Փրկարար ծառայության և ճգնաժամային կառավարման

ուսումնական ստորաբաժանման փրկարարական ամբիոնի դոցենտ, տեխ. գ. թ.

Հոդվածում կատարվել է մայրուղային և քաղաքային խողովակաշարերի սեյսմապաշտպանության մեթոդների համալիր վերլուծություն՝ հաշվի առնելով դրանց ստորգետնյա և վերգետնյա տեղադրման առանձնահատկությունները:

Առանձնահատուկ ուշադրություն է դարձվել վերգետնյա մայրուղային գազատարներին, որոնք լայնորեն կիրառվում են Հայաստանի Հանրապետությունում՝ բարդ լեռնային ռելիեֆի և բարձր սեյսմիկ վտանգի պայմաններում:

Հետազոտվել են խողովակաշարային համակարգերի վրա սեյսմիկ ազդեցության հիմնական մեխանիզմները, իրականացվել է սեյսմակայունության բարձրացման կառուցվածքային, ինժեներա-երկրատեխնիկական, պլանավորման մեթոդների, տեխնոլոգիաների դասակարգում և դրանց հարմարեցման հնարավորություն Հայաստանի Հանրապետության պայմաններում: Ձևակերպվել են եզրակացություններ և գործնական առաջարկներ՝ վերգետնյա գազատարների նախագծման և վերակառուցման ժամանակ ռացիոնալ լուծումների կիրառման վերաբերյալ:

Բանալի բառեր. մայրուղային խողովակաշարեր, վերգետնյա գազատարներ, սեյսմապաշտպանություն, սեյսմակայունություն, հենարանային համակարգեր, դեֆորմացիոն կոմպենսատորներ:

Литература

1. **ՀՀՇՆ 34-02-2023. Մայրուղային խողովակաշար. Շինարարական նորմեր.** — Երևան: ՀՀ քաղաքաշինության նախարարություն, 2023:
2. **ՀՀՇՆ 20.04. Երկրաշարժադիմացկուն շինարարություն. Շինարարական նորմեր.** — Երևան: ՀՀ քաղաքաշինության նախարարություն, 2020:
3. Валеев А. Р., Ялалов Д. В. Анализ способов сейсмозащиты магистральных трубопроводов // Транспорт и хранение нефтепродуктов и углеводородного сырья. — Год издания. — № выпуска. — С. 38–42.
4. Сосунов О. В., Чернов В. Н. Повышение эффективности предупреждения и ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций на коммунально-энергетических сетях городских поселений // Технологии гражданской безопасности. — 2011. — Т. 8. — № 1 (27). — С. 88–93.
5. Datta T. K. Seismic Response of Buried Pipelines: State-of-the-art Review // Nuclear Engineering and Design, 1999, Vol. 192, Issues 2–3, pp 271–284. [Seismic response of buried pipelines: a state-of-the-art review - ScienceDirect](#)
6. Evans J., Ruffing D., Elton D. Fundamentals of Ground Improvement Engineering, Boca Raton: CRC Press, 2022, 622 p. [GroundImprovement-forwebsite \(1\).pdf](#)
7. Chaudhuri C., Chaudhuri D., Behaviour of Buried Pipelines Subjected to Seismic Excitations: State-of-the-art Review // Proceedings of 7th Indian Young Geotechnical Engineers Conference (7IYGEC 2019). Silchar, India, 2019. [th06_chaudhuri_61.pdf](#)
8. Mashayekhi M., Zolfaghari M., Seismic Risk Mitigation in Pipeline Routing // Scientific Reports, 2025, Vol. 15, Article No. 32916, DOI: [s41598-025-17525-w.pdf](#)

Дата представления: 24.02.2026

Дата рецензии: 19.02.2026