

УДК 621.644.07

**ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ПРОСТРАНСТВЕННОГО ПОЛОЖЕНИЯ  
МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ**

*канд. техн. наук, доц. Л.М. СПИРИДЕНОК  
(Полоцкий государственный университет);  
С.С. ВАБИЩЕВИЧ  
(БелНИПИнефть, Гомель)*

*Рассматривается возможность изменения пространственного положения магистральных трубопроводов под воздействием природных геологических, инженерно-геологических, эксплуатационных и антропогенных процессов. Определяются основные процессы взаимного влияния природных, эксплуатационных и антропогенных воздействий на трубопроводную систему Республики Беларусь. Анализируется пространственное расположение магистральных трубопроводов относительно других инженерных сетей и коммуникаций, естественных и искусственных препятствий. Представлены примеры изменения планово-высотного положения магистрального трубопровода с учетом опыта проектирования, сооружения и эксплуатации, а также существующей нормативно-правовой базы, действующей в области магистрального трубопроводного транспорта на территории Республики Беларусь. Определен наиболее опасный вариант изменения пространственного положения магистрального трубопровода. Сделан вывод о необходимости разработки и совершенствования методов ликвидации недостаточного заглубления магистрального трубопровода.*

В современных условиях трубопроводные транспортные системы, обладая рядом преимуществ (экономических, экологических и др.) по сравнению с другими способами транспортировки, являются основным способом доставки нефти и газа от мест их добычи до потребителя [1]. Это обуславливает проявление в последние десятилетия интереса ученых, исследователей и инженеров к проблематике трубопроводного транспорта [1–19].

Уровень надежности магистральных трубопроводов обеспечивается как на этапе их проектирования и строительства, так и в период эксплуатации. Однако для действующего трубопровода возможны отклонения эксплуатационных параметров от проектных, связанные с изменением его пространственного местоположения в результате взаимодействия с окружающим грунтом. Возникающие при этом напряженно-деформационные изменения способны привести к аварийным ситуациям, что влечет значительный материальный ущерб и губительно воздействует на окружающую среду.

Обеспечение эксплуатационной и экологической безопасности подземных магистральных трубопроводов, проложенных в сложных инженерно-геологических условиях, – первоочередная задача трубопроводного транспорта. Магистральные трубопроводы, являясь линейно-протяженными объектами, имеют ряд характерных особенностей, связанных с неизбежным пересечением районов с активными проявлениями грунтовых изменений, естественных и искусственных препятствий. В результате совокупного действия природных геологических и инженерно-геологических процессов нефтепровод деформируется вместе с грунтом. Особую, иногда непредсказуемую опасность для трубопровода представляет пучение грунта. Расчет сил пучения и связанных с ними деформаций земной поверхности, оценка его влияния на прочность и надежность трубопровода, на долговечность его конструктивных элементов – сложные инженерные задачи. В районах площадного пучения грунта должны быть предусмотрены специальные меры против деформаций трубопровода, если развитие опасного геологического процесса создает угрозу сооружению срока его эксплуатации [14].

**Основная часть.** Проблема надежности эксплуатационных характеристик трубопроводных систем, в частности оценка изменения их положения под влиянием природных и эксплуатационных процессов, для Республики Беларусь, являющейся транзитной страной по доставке нефтегазового сырья в Европу, – весьма актуальна [20].

По территории Республики Беларусь трассы магистральных нефте- и продуктопроводов проложены в 6 технических коридорах общей протяженностью 1233 км. Общая протяженность всех магистральных нефтепроводов в одноконтурном исчислении составляет около 4000 км.

Для магистральных нефтепроводов, проложенных в северной и северо-восточной части республики (Унеча – Полоцк, Полоцк – Скрудалиена, Полоцк – Мажейкяй и Сургут – Полоцк), характерно большое разнообразие ландшафтов, комплексность почвенного покрова и наличие значительного количества

водных объектов. Магистральные нефтепроводы Унеча – Мозырь, Мозырь – Брест и Мозырь – Броды проложены в южной части республики, которой присуще однообразие ландшафтов [21].

Республика Беларусь обладает развитой системой магистральных газопроводов. По территории страны проходит три транзитных магистральных газопровода и строится новый «Ямал – Европа».

В настоящее время поставку газа в республику и его транзит в третьи государства осуществляет ОАО «Газпром трансгаз Беларусь». Газотранспортная система Республики Беларусь включает в себя газопроводы следующей протяженности:

- 6983 км в одноконтинентальном исчислении;
- 2821 км магистральных газопроводов;
- 4162 км газопроводов-отводов и распределительных сетей низкого давления.

В качестве вспомогательных структур в системе газоснабжения Беларуси имеется:

- 6 линейных компрессорных станций и 16 компрессорных цехов общей мощностью 640,6 МВт;
- 2 подземных хранилища газа с компрессорными станциями мощностью 9,1 МВт;
- 223 газораспределительные станции;
- 6 газоизмерительных станций;
- 24 автомобильные газонаполнительные компрессорные станции [22; 23].

Ежегодно ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» осуществляет комплекс мер по диагностике, обслуживанию и реконструкции объектов газотранспортной системы, автоматизации и телемеханизации производственных процессов, что способствует их надежному и устойчивому функционированию. Надежность и безопасность эксплуатации объектов магистральных газопроводов определяется комплексным подходом, основанным на взаимосвязи таких факторов, как обеспечение качества проектных работ, обеспечение качества строительства, организация системы в эксплуатации объектов. Экологическая политика ОАО «Газпром трансгаз Беларусь» предусматривает создание системы экологического менеджмента, которая должна обеспечивать динамическое экологическое развитие предприятия при условии рационального использования природных ресурсов и сохранении благоприятной окружающей среды [22]. При этом следует отметить, что фактический срок эксплуатации большинства магистральных трубопроводов в Республике Беларусь приближается к тому периоду, когда значительно возрастает интенсивность отказов и аварий. По мере увеличения возраста трубопроводов усиливается тенденция к снижению их надежности и повышению вероятности аварий. Старение трубопроводов сопровождается как изменением пространственного положения самого трубопровода под действием эксплуатационных воздействий, так и изменением ландшафта вследствие естественных и антропогенных воздействий.

Согласно современным представлениям, как показывает практика, проблему устойчивости магистрального трубопровода необходимо решать не только на стадии строительства, но и в период эксплуатации при нарушении проектного положения участков магистрального трубопровода или при повторной их укладке на болотистых и обводненных участках трассы. Приведение таких участков в проектное положение зачастую является более сложной задачей, чем укладка магистрального трубопровода на стадии строительства, из-за ряда возникающих специфических организационно-технических вопросов. Основной из них – достоверная оценка несущей способности участков действующих магистральных трубопроводов, находящихся в эксплуатации до 30 и более лет, с целью применения безвырезной технологии ремонта.

В настоящее время инженерами-проектировщиками преимущественно используется консервативный подход при выборе методов прокладки и средств закрепления магистральных трубопроводов, ориентированный на замену труб, вырезаемых из участков, находящихся в непроектном положении. Последующее закрепление этих участков в траншее выполняется, как правило, материалоемкими и жесткими балластирующими конструкциями, чаще всего железобетонными утяжелителями, ненадежными при эксплуатации в обводненных слабонесущих грунтах с периодическим оттаиванием и промерзанием.

Известно, что одним из основных факторов, определяющих эксплуатационную надежность подземных трубопроводов, является их взаимодействие с окружающими грунтами. При этом воздействие со стороны грунта может иметь различный характер: силовой, тепловой, влажностный, химический, коррозионный, биологический и другие.

Трубопроводная система также способна оказывать влияние на окружающий грунт посредством постоянно действующей нагрузки (вес трубы, давление и т.д.) либо переменных нагрузок, обусловленных продольной силой в трубопроводе и изменением температуры и давления перекачиваемого продукта по длине трубопровода.

Следует отметить, что на стадии создания проекта подземных трубопроводов в основном учитывается только постоянное воздействие трубопровода на грунт, в то время как воздействие переменной составляющей учитывается не всегда либо в заметно меньшей степени. Однако как в сложных климати-

ческих, гидрогеологических либо геокриологических условиях не менее важным становится учет и переменных нагрузок при проектировании, строительстве и эксплуатации подземных трубопроводов.

Существенное влияние на различные виды взаимодействия трубопроводов с грунтами оказывают следующие природные процессы [15]:

- промерзание талых грунтов в холодный период времени года;
- динамика изменения толщины снежного покрова в этот же период;
- оттаивание мерзлых грунтов в теплый период времени;
- скорость и интенсивность паводковых явлений при таянии снега;
- характер и направление движения паводковых вод;
- осадки в виде дождя в теплый период времени;
- изменение уровня грунтовых вод.

Такие эксплуатационные процессы, как изменение рабочего давления, объём перекачиваемой жидкости, температурный режим, изменение свойств перекачиваемых продуктов, оказывают влияние на характер взаимодействия грунтов с подземным трубопроводом и могут приводить к изменению его пространственного положения. Возникающие при этом дополнительные продольные напряжения изгиба могут вызывать перестройку напряженно-деформированного состояния стенки трубопровода с уменьшением его эксплуатационной надежности и долговечности [15].

Помимо увеличения напряженно-деформированного состояния стенки трубопровода и усиления уровня напряжений в его стенке потенциально опасным для безаварийной эксплуатации магистрального трубопровода при изменении его планово-высотного положения является сближение фактического положения магистрального трубопровода с другими сферами хозяйственной деятельности человека.

Являясь линейно-протяженными объектами, магистральные трубопроводы пересекают разнообразные естественные и искусственные препятствия, сельскохозяйственные земли и т.д. Любое изменение их положения в пространстве относительно трубопроводной системы влечёт изменение степени взаимодействия, рисков и взаимного влияния. Для наглядности рассмотрим несколько примеров.

**Пример 1.** *Пересечение магистрального трубопровода с различными инженерными сетями и сооружениями, естественными препятствиями.*

Опираясь на опыт проектирования, сооружения и эксплуатации магистральных трубопроводов, а также резюмируя существующую нормативно-правовую базу, действующую в области магистрального трубопроводного транспорта на территории Республики Беларусь, можно с уверенностью заключить, что при пересечении с различными инженерными сетями и сооружениями магистральные трубопроводы прокладываются, как правило, ниже пересекаемых коммуникаций. При переходе естественных препятствий устраиваются ниже отметок, обеспечивающих эксплуатационную и экологическую безопасность пересекаемого открытого водотока, оврага и др. [20; 24–28].

**Пример 2.** *Расположение магистрального трубопровода на землях с интенсивной хозяйственной деятельностью человека.*

Следует отметить, что существующая нормативно-правовая база, действующая в области магистрального трубопроводного транспорта на территории Республики Беларусь, строго лимитирует минимальные значения заглубления трубопровода в зависимости от типа земельных угодий. При этом при проектировании и сооружении магистральных трубопроводов необходимо учитывать возможные изменения назначения земельных участков, их перевод из одной категории в другую. Данная необходимость возникает вследствие того, что объекты магистрального трубопроводного транспорта эксплуатируются на протяжении десятилетий.

Таким образом, прокладка трубопровода по землям лесного фонда и в целом по землям, предусматривающим хозяйственную деятельность человека, возникает необходимость обеспечить заглубление трубопровода, которое бы не допускало его повреждение техникой и механизмами в процессе многолетней эксплуатации [20; 24–28].

Из вышесказанного следует, что изменение пространственного положения трубопровода, в особенности недостаточное его заглубление, влечет за собой увеличение эксплуатационных и экологических рисков как для трубопровода, так и для окружающей среды. С другой стороны, опыт эксплуатации трубопроводов показывает, что отдельные участки, имеющие отклонения от проектного положения, могут находиться в работоспособном состоянии длительное время. В связи с этим особую значимость приобретает мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов.

**Заключение.** Следует отметить, что в настоящее время и в ближайшие десятилетия обеспечение эксплуатационной надежности линейной части подземных трубопроводов будет оставаться сложной научной и инженерной проблематикой. Решение этого круга вопросов особенно актуально для районов с экстремальными климатическими и сложными гидрогеологическими и геокриологическими условиями,

вызывающими изменения пространственного положения трубопровода с увеличением уровня механических напряжений в его стенке.

Проведенный анализ изменения пространственного положения магистрального трубопровода показал, что под воздействием эксплуатационных нагрузок и их изменений, а также природных и антропогенных процессов трубопровод способен менять своё положение как по абсолютным отметкам, так и относительно естественных и искусственных препятствий и поверхности Земли. Для магистральных трубопроводов, расположенных на территории Республики Беларусь, наибольшую опасность представляет изменение напряженно-деформированного состояния в стенке трубы в совокупности с приближением тела трубы к естественным, искусственным препятствиям и зоне хозяйственной деятельности человека.

Таким образом, результаты оценки изменения пространственного положения магистральных трубопроводов указывают на необходимость разработки и совершенствования методов ликвидации недостаточного заглубления магистрального трубопровода.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Бородавкин, П.П. Подземные магистральные трубопроводы (проектирование и строительство) / П.П. Бородавкин. – М.: Недра, 1982. – 384 с.
2. Бородавкин, П.П. Механика грунтов в трубопроводном строительстве / П.П. Бородавкин. – М.: Недра, 1976. – 280 с.
3. Бородавкин, П.П. Сооружение магистральных трубопроводов / П.П. Бородавкин, В.Л. Березин. – М.: Недра, 1977. – 407 с.
4. Быков, Л.И. Оценка напряженно-деформированного состояния сложных участков трубопроводов / Л.И. Быков, В.Ю. Шувалов // Сб. науч. тр.; ред. кол. А.М. Шаммазов [и др.]. – Уфа: УГНТУ, 2001. – С. 309–312.
5. Виноградов, С.В. Влияние основания на напряженно-деформированное состояние подземной трубы / С.В. Виноградов // Расчет сооружений, взаимодействующих с окружающей средой. – М., 1984. – С. 24–29.
6. Виноградов, С.В. Расчет подземных трубопроводов на внешние нагрузки / С.В. Виноградов – М.: Стройиздат, 1980. – 135 с.
7. Горковенко, А.И. Динамика продольных перемещений газопровода в область аркообразования / А.И. Горковенко // Изв. вузов «Нефть и газ». – Тюмень: ТюмГНГУ, – 2006. – № 4. – С. 96–100.
8. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.dissercat.com>.
9. Бердник, М.М. Исследование влияния плоского напряженного состояния на изменение магнитных характеристик трубных сталей / М.М. Бердник, Ю.В. Александров, Р.В. Агинеи // Наука в нефтяной и газовой промышленности. – 2011. – № 1. – С. 22–26.
10. Методы оценки эксплуатационной работоспособности труб технологических трубопроводов / А.Я. Яковлев [и др.]; под общ. ред. д-ра техн. наук, проф. И.Ю. Быкова. – М.: Центр ЛитНефтеГаз. – 2008. – 272 с.
11. Харионовский, В.В. Надежность и ресурс конструкций газопроводов / В.В. Харионовский. – М.: Недра, 2000. – 464 с.
12. Харионовский, В.В. Надежность магистральных газопроводов: современное состояние / В.В. Харионовский // Наука и техника в газовой промышленности. – 2007. – № 3. – С. 4–3.
13. Харионовский, О.В. Мониторинг объектов линейной части магистральных газопроводов / О.В. Харионовский // Территория Нефтегаз. – 2009. – № 4. – С. 22–30.
14. Хабибуллин, Ф.Х. Влияние температурного фактора на эксплуатационную надежность трубопроводов в условиях слабонесущих грунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / Ф.Х. Хабибуллин; ТюмГНГУ. – Тюмень, 2001. – 23 с.
15. Горковенко, А.И. Основы теории расчета пространственного положения подземного трубопровода под влиянием сезонных процессов: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.19 / А.И. Горковенко. – Тюмень, 2006. – 305 с.
16. Юрченко, А.А. Методика оценки пространственного положения трубопровода в условиях пучинистых грунтов: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19 / А.А. Юрченко. – Уфа, 2011. – 27 с.
17. Колосова, А.Л. Разработка системы мониторинга коррозионной стойкости линейной части магистральных газопроводов на основе теории нечеткой логики: дис. ... канд. техн. наук: 05.13.01 / А.Л. Колосова. – Тюмень, 2012. – 135 с.

18. Иванов, И.А. Эксплуатационная надежность магистральных трубопроводов в районах глубокого сезонного промерзания пучинистых грунтов: дис. ... д-ра техн. наук: 25.00.19 / И.А. Иванов. – Тюмень, 2012. – 267 с.
19. Нагимов, Р.М. Снижение опасностей эксплуатации подводных трубопроводов при наличии оголенных и провисающих участков: дис. ... канд. техн. наук: 25.00.19, 05.26.03 / Р.М. Нагимов. – Уфа, 2004. – 115 с.
20. О магистральном трубопроводном транспорте: Закон Респ. Беларусь от 9 янв. 2002 г. № 87-3: с изм. и доп. от 08.07.2008 № 367-3 // Национальный реестр правовых актов Респ. Беларусь. – 2008. – № 170, 2/1464.
21. Защита водных объектов при аварийных разливах нефти / Д.П. Комаровский [и др.]; под ред. В.К. Липского. – Новополоцк: ПГУ, 2008. – 220 с.
22. [Электронный ресурс.] – Режим доступа: <http://belarus-tr.gazprom.ru/about>.
23. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.nestor.minsk.by/sn/2003/46/sn34610.html>.
24. Строительные нормы и правила. Магистральные трубопроводы: СНиП 2.05.06-85.
25. Строительство магистральных нефтепроводов. Технология и организация: ТКП 414-2012. – Дата введения: 17.12.2012. – 56 с.
26. Строительство магистральных нефтепроводов. Подводные переходы: ТКП 418-2012. – Дата введения: 26.12.2012. – 64 с.
27. Строительство магистральных нефтепроводов. Конструкция и балластировка: ТКП 419-2012. – Дата введения: 26.12.2012. – 36 с.
28. Нефтепроводы магистральные. Нормы технологического проектирования: ТКП 422-2012. – Дата введения: 26.11.2012. – 56 с.

Поступила 08.10.2015

## ASSESSMENT OF CHANGES IN THE SPATIAL POSITION OF THE MAIN PIPELINES

*L. SPIRIDENOK, S. VABISHCHEVICH*

*Here is an analysis of the possibility of changing the spatial position of pipelines under the influence of natural-geological, engineering-geological, operational and anthropogenic processes. The basic processes of mutual influence of natural, operational and human impacts on the pipeline system of the Republic of Belarus are identified. The analysis of the spatial arrangement of pipelines relative to other engineering systems and communications, natural and artificial obstacles was made. Here you can find some examples of changes in height position of the main pipeline with consideration of experience in the design, construction and operation of pipelines, as well as the existing legal framework, operating in the field of main pipeline transport in the territory of the Republic of Belarus. The most dangerous option of change in the spatial position of the main pipeline was identified. The necessity of developing and improving methods for liquidation of insufficient penetration of the main pipeline was showed.*