

ПРОБЛЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЗАЩИЩЕННОСТИ ТРУБОПРОВОДНОГО ТРАНСПОРТА

А.П. Скворцов

adambalda@mail.ru
SPIN-код: 7786-2086

И.А. Озёрин

ignat@ozerin.tk
SPIN-код: 7097-3456

МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация

Аннотация

Статья посвящена изучению методов дистанционной диагностики для оперативного получения информации о состоянии магистральных нефтепроводов и территории вдоль них. Рассмотрен ряд проблем, возникающих в ходе эксплуатации разветвленных магистральных трубопроводных систем. Дано краткое описание способов мониторинга трубопроводов. Для решения проблем предложено применение аэросъемки в различных диапазонах длин волн, внедрение беспилотных летательных аппаратов и интеллектуальных вставок. Представлены примеры задач, решаемых благодаря применению нескольких видов съемки. Сделан вывод о том, что использование комплекса современных средств мониторинга магистральных нефтепроводов существенно экономит денежные средства и открывает новые возможности для безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта.

Ключевые слова

Магистральный нефтепровод, трубопроводный транспорт, аварии, анализ рисков, методы зондирования, методы диагностики, аэросъемка, дефектоскопия, нефтегазовый комплекс, инновационные технологии

Поступила в редакцию 24.09.2018

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2018

Введение. Нефть, нефтепродукты и природный газ — основные грузы, перемещаемые с помощью магистрального трубопроводного транспорта России. Трубопроводный транспорт — новый и относительно финансово выгодный вид транспорта, ему присущи такие качества, как универсальность, отсутствие потерь грузов в процессе транспортировки при полной механизации и автоматизации трудоемких погрузочно-разгрузочных работ, возврата емкостей и многое другое. Применение трубопроводного транспорта способствует снижению себестоимости транспортировки (например, для жидких грузов она в 3 раза ниже по сравнению с себестоимостью их перевозки по железным дорогам) [1].

Особенности эксплуатации магистрального трубопроводного транспорта. Магистральный трубопроводный транспорт — важнейшее стратегическое звено, обеспечивающее экспорт российских энергоносителей. На нем всегда сосредоточено пристальное внимание и в России, и за рубежом, поэтому возникновение опасности чревато крупными репутационными и материальными потерями для современной России.

Основные опасности. Помимо своих незаменимых положительных качеств трубопроводный транспорт несет и угрозы, являясь опасным производственным объектом. Опасность при эксплуатации предприятий газовой и нефтяной отраслей обусловлена возможностью химического поражения людей и заражения значительных площадей, взрывоопасностью и опасностью возникновения пожаров. Аварии на магистральных трубопроводах часто наносят существенный ущерб окружающей среде, нередко бывают причиной гибели людей и приводят к значительному экологическому и экономическому ущербу.

Магистральные нефтегазопроводы помимо высокой производительности и значительной протяженности отличаются также высокой уязвимостью к агрессивным воздействиям со стороны внешней среды. Кроме того, вследствие большой протяженности по длине трассы изменяются конструктивно-технологические параметры и эксплуатационные условия, что ведет к изменению вдоль трассы как интенсивности аварий, так и сценариев их развития и размера ущерба.

Статистика аварий. Можно однозначно сказать, что вопрос повышения надежности и безопасности данного вида транспорта очень актуален [2]. Основными причинами аварий являются:

- брак при проведении строительно-монтажных работ (22...32 %);
- механические повреждения труб машинами и механизмами при земляных работах (17...19 %);
- нарушение структуры материалов и конструкций, вызванные их длительной эксплуатацией (15 %);
- коррозия, в том числе локальная, вызванная блуждающими токами (12...30 %);
- нарушение требований эксплуатации и ошибки персонала (5 %);
- металлургические дефекты труб (9...12 %);
- природные и стихийные явления (7...10 %).

Таким образом, до 45 % аварий возникают в результате длительной эксплуатации и, как следствие, коррозии. Поэтому необходимо своевременно диагностировать и устранять возможные причины аварий.

Виды рисков. Анализ риска аварий является составной частью управления промышленной безопасностью и заключается в систематическом использовании всей доступной информации для идентификации опасностей и оценки риска возможных нежелательных событий. В процессе анализа риска осуществляется выявление факторов риска и оценки их значимости, анализ вероятности возникновения нежелательных событий, отрицательно влияющих на достижение целей организации, а также оценка риска и разработка методов по снижению последствий аварий и техногенных чрезвычайных ситуаций, в том числе на магистральных нефтегазопроводах [3].

Говоря подробнее об опасностях эксплуатации магистральных трубопроводов, следует подразделить риски на природные и техногенные:

- *природные*: наводнения, затопления объектов нефте- и газопроводов, подводные переходы, лесные пожары, изменения ландшафта, землетрясения,

термоэрозия, термокарстовые явления, ветровые нагрузки; обледенение, оползневые участки, заболачивание трассы;

– *техногенные*: ошибки в проектировании; коррозия металла; ошибки персонала; отказ оборудования; перемещение трубопровода при взаимодействии с мерзлыми грунтами; нерегулярное электроснабжение; изменение ландшафта после прокладки трубопроводов; образование трещин-свищей; образование газоконденсатных и гидратных пробок; изменение пластичности и предела текучести металла; утонение толщины стенок; длительность эксплуатации, старение изоляции [4].

Важным фактором, влияющим на возникновение других опасных факторов и их реализацию, и, как следствие, на безопасность трубопровода, является толщина стенки. При большей толщине вклад фактора внешнего воздействия снижается до 20...25 %, а с увеличением толщины стенки до 10 мм и более частота утечек по причине внешнего воздействия снижается в 15–30 раз [5].

Например, вероятность коррозии снижается при увеличении толщины. Несмотря на то что коррозия трубопроводов происходит независимо от толщины стенки, на более толстых стенках фактор коррозии проявляет себя более длительное время, давая возможность заблаговременного обнаружения посредством внутритрубной диагностики. Поэтому частота утечек в результате внешней коррозии на трубопроводах с толщиной стенки более 5 мм в 6–7 раз ниже, чем на трубопроводах с меньшей толщиной стенки.

Для толщины имеются определенные зависимости и характеристики [5]:

– при отношении фактической толщины к расчетной $h_{\text{факт}}/h_{\text{расч}} > 1,8$ вероятность аварии по причине недостаточной толщины стенки сводится к минимуму;

– при глубине заложения $h \geq 1,8$ м вероятность случайного повреждения строгительной техникой и иными механическими средствами сводится к минимуму;

– при использовании технологии «труба в трубе» (прокладка в кожухах) практически исключается повреждение трубопровода по причине внешних воздействий.

Обеспечение безопасности трубопровода. Как опасные промышленные (технические) объекты трубопроводы подлежат постоянному контролю состояния безопасности, которая должна быть максимально гарантированной, чтобы свести к минимуму любые опасные ситуации, связанные с ними. Для заблаговременного выявления потенциально опасных участков прохождения трубопроводов разработаны различные системы и методы мониторинга. Благодаря грамотному использованию методов дистанционного зондирования, аэросъемки, дефектоскопии и определения напряженно-деформированного состояния с помощью интеллектуальной вставки удастся идентифицировать все возможные причины потери устойчивости трубопроводов и в результате, проведя анализ возможных рисков, принять соответствующие меры по устранению опасных факторов [6].

Методы дистанционного зондирования земли для мониторинга магистральных нефтегазотрубопроводов. Процессы взаимодействия нефте- и газопроводов с окружающей средой происходят на обширных территориях. Оператив-

но оценить их масштабы и состояние можно лишь на основе применения дистанционных (в первую очередь, аэрокосмических) методов, позволяющих получать принципиально новую по качеству и полноте информацию не только в контрольных точках, но и, что особенно важно, по всей трассе в целом [7, 8]. Технология мониторинга опасных производственных объектов дает достаточно полную картину состояния объекта, включая занимаемую площадь; температуру поверхности объекта; координаты объекта; сведения о наличии разлива опасных веществ (нефть и нефтепродукты); химический состав атмосферы на территории объекта (т. е. наличие и концентрацию опасных веществ, использующихся на объекте); радиационный фон территории, прилегающей к объекту. Благодаря полученным данным можно проанализировать состояние потенциально опасного объекта в целом, района его расположения, а также динамику параметров непосредственно находящегося в зоне наблюдения оборудования и окружающей среды [9].

Аэро- и космосъемка. Такая съемка местности применяется как для непрерывного одновременного контроля загрязнений природной среды (земной поверхности, водных акваторий и приземной атмосферы), так и для контроля технического состояния объектов на всем протяжении многокилометровых водных и наземных нефтепроводов и газопроводов. Данные дистанционного мониторинга дают возможность оперативно выявлять и точно определять координаты неожиданно случающихся крупных аварий на нефте- и газопроводах, зон опасного проявления стихийных природных процессов, которые могут привести к таким авариям, а также отслеживать и прогнозировать чреватые разрывами трубопроводов медленные однонаправленные геодинамические деформации земной поверхности [10].

Основные задачи, решаемые с помощью аэро- и космосъемки:

- выявление нарушений технического состояния объекта: трещин, разрывов, повреждений гидро- и теплоизоляции, коррозионных зон и др.;
- контроль экологического состояния природной среды вдоль трассы магистрального трубопровода, выявление мест и объемов подземных и наземных утечек углеводородов, областей загрязнений и др.;
- анализ участков перехода магистральных трубопроводов через водные преграды, авто- и железнодорожные переходы;
- изучение активных разломов, трещиноватости и современных движений земной коры, их влияния на трубопровод, а также напряженно-деформационного состояния околотрубной среды;
- составление карт грунтов, обводненных участков, зон подтоплений, коррозионно опасных сред, промерзающих и оттаивающих грунтов, областей засолений и др.;
- анализ процессов образования селей, оползней, обвалов и др.;
- распределение участков по степени опасности, выделение участков для первостепенного диагностического анализа.

Для повышения надежности решения задач диагностики объектов рационально проводить их единовременное наблюдение с помощью нескольких видов съемки, использующих характерные свойства излучений различными дли-

нами волн и применяемых для отслеживания состояния магистральных трубопроводов.

Видеосъемка в видимом диапазоне спектра. Съемка данного вида осуществляется с помощью телевизионных камер, установленных на пилотируемые и беспилотные летательные аппараты, и применяется для особо оперативного зрительного анализа местности вдоль трубопровода.

Многоканальная съемка цифровой фотокамерой. Важным естественным фактором, вызывающим преждевременную коррозию и деструкцию трубопроводов, является чрезмерная увлажненность (подтопление) грунта. Участки поражения объекта ржавчиной могут быть обнаружены специальной спектральной обработкой снимка по наличию спектральных компонентов оксидов железа. Излишняя увлажненность хорошо фиксируется в коротковолновом участке видимого диапазона (0,4...0,5 мкм). Кроме того, фотографии имеют неоспоримое преимущество по сравнению с результатами обычной видеосъемки ввиду более высокого разрешения — видеостандарт PAL поддерживает разрешение 720×576 точек, в то время как разрешение фотоснимка 5184×3456 точек.

Инфракрасная съемка. Причинами возникновения температурных контрастов на земной поверхности, связанных с наличием трубопроводов и динамикой их состояния, являются различие в интенсивности поглощения солнечной радиации материалом самого зондируемого объекта и покрывающего его грунта, отличие свойств грунта на трассе трубопровода или в районе расположения подземного хранилища от свойств прилегающих участков почвы, передача теплоты от подповерхностного объекта внешнему слою почвы и различие характера растительности в районе расположения объекта техносферы.

Специфической особенностью спектрального излучения нефтепродуктов является повышенная излучательная способность в дальнем инфракрасном диапазоне, обусловленная нагревом углеводородов под воздействием солнечной радиации.

При наличии утечек перепады температуры вблизи прохождения трасс нефте- и газопроводов составляют 2,0...2,5 К. Такие объекты, расположенные на глубине до 1 м, уверенно обнаруживаются на снимках теплового диапазона волн (10...12 мкм), обладающих чувствительностью около 0,2 К.

Радарная съемка. Для радарной съемки используется сантиметровый диапазон волн (X-диапазон, 3,1 см), ее важным преимуществом является всепогодность. Радарный сенсор регистрирует собственное отраженное земной поверхностью излучение, и для его работы не требуется солнечный свет. Кроме того, радиоволны этого диапазона свободно проходят через сплошную облачность и способны проникать на некоторую глубину в почву.

Радарные снимки позволяют фиксировать:

- наличие нефтяной пленки толщиной до 50 мкм;
- деформации земной поверхности (радарная интерферометрия);
- подповерхностные явления, обусловленные утечкой углеводородов.

Каждый из способов позволяет выявить различные свойства обследуемых объектов, комплексная обработка всей полученной первичной информации позволяет провести наиболее полную диагностику объекта и окружающей обстановки.

Диагностирование и мониторинг состояния нефтегазотрубопроводов с помощью внутритрубной диагностики (дефектоскопии). В процессе эксплуатации магистральных трубопроводов, несмотря на современные методы проектирования трубопроводов и реализации этих проектов с целью обеспечения заданного ресурса, полностью исключить возникающие дефекты не удастся. Распространенными дефектами могут быть деградация материала, коррозионные повреждения, возникают и развиваются трещины усталости на поверхностях труб, нарушения герметичности, нарушения качества и состояния сварных соединений. Для их преждевременного выявления и предупреждения аварийных ситуаций успешно используются методы неразрушающего контроля. Неразрушающий контроль — контроль надежности основных рабочих свойств и параметров объекта, не требующий выведения объекта из эксплуатации, либо его демонтажах [11].

Трубопроводы отличаются проблематичностью контроля различных труднодоступных и сложных участков, а также крайней нежелательностью при этом останавливать транспортировку продуктов. Выходом из этой ситуации как раз и являются методы неразрушающего контроля.

Приборами, реализующими методы неразрушающего контроля, служат дефектоскопы [12]. Наиболее распространенными методами являются: многоканальные, магнитные, ультразвуковые, комбинированные, вихретоковые, капиллярные.

Принципы работы дефектоскопов различны, но при этом существует ряд параметров, по которым можно объективно дать оценку оборудованию для проведения диагностики методом неразрушающего контроля [13].

При выборе дефектоскопа следует учитывать:

- разрешение дефектоскопа;
- точность определения размеров (расположения) дефекта;
- скорость диагностики. Как правило, чем быстрее осуществляется диагностика, тем ниже точность определения дефекта;
- способ крепления прибора;
- уровень защиты прибора от внешних воздействий. К внешним воздействиям можно отнести влагу, давление, осадки и др.;
- температурный режим. Выполняя сканирование при критических значениях температуры, прибор может показывать неточные измерения или выйти из строя.

В основе метода вихретоковой дефектоскопии лежит измерение вихревых токов возле подповерхностных дефектов в магнитном поле. При возникновении таких токов на исследуемом участке фиксируются показания электромагнитного поля вихревых токов, образующихся при нахождении дефекта. В ре-

зультате обработки параметров, имеющих отклонения, можно получить информацию о внутренних дефектах [11].

Диагностирование и мониторинг состояния нефтегазотрубопроводов с помощью интеллектуальных вставок. Интеллектуальные вставки — это комплекс технических средств и программного обеспечения, состоящий из измерительного патрубку, линии связи и контейнера с электронной аппаратурой, и предназначенный для непрерывного или периодического контроля напряженно-деформированного состояния трубопровода в месте установки патрубку с целью мониторинга технического состояния производственных участков трубопровода, в том числе потенциально-опасных участков линейной части нефтегазопроводов [14].

Измерительный патрубку представляет собой катушку трубопровода с установленными на ней датчиками для измерения деформации и температуры, вторичными преобразователями, предварительно отградуированную путем нагружения внутренним давлением (см. рисунок).

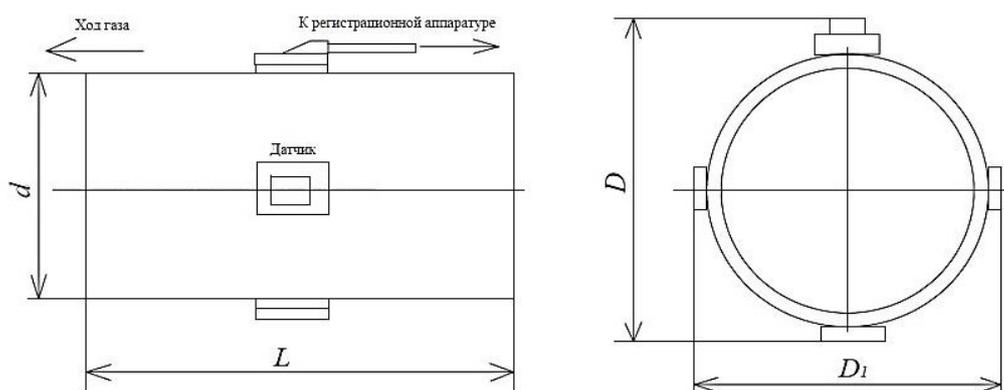


Схема интеллектуальной вставки

Назначение вставки:

- постоянный и/или периодический контроль механических деформаций для последующего расчета напряжений, возникающих в стенках трубопровода при воздействии геотехнических факторов (оползни, сели, карст, подрабатываемые территории, сейсмически активные зоны);
- оценка запаса прочности трубопровода по разработанным методикам;
- оптимизация технического обслуживания потенциально опасных участков;
- контроль сопутствующих параметров, таких как напряжение и ток электрохимической защиты, температура грунта и т. д.

Системой мониторинга напряженно-деформированного состояния на основе изделий «интеллектуальная вставка» (система) предназначена для непрерывного контроля, оценки технического состояния и прогнозирования работоспособности потенциально опасных участков газопровода путем сбора, обработки информации от контрольных пунктов интеллектуальных вставок и передачи ее в систему телемеханики.

Заключение. Для повышения надежности решения задач диагностики объектов рационально проводить их единовременное наблюдение с помощью нескольких видов съемки, основанных на характерных свойствах излучений различных длин волн и применяемых для отслеживания состояния магистральных трубопроводов. Также для преждевременного выявления и предупреждения аварийных ситуаций успешно применяются методы неразрушающего контроля, которые были рассмотрены на примере интеллектуальных вставок. Использование комплекса современных средств мониторинга существенно увеличивает эффективность, безопасность и экологическую безвредность использования магистральных нефтепроводов.

Литература

- [1] Суринов Е.А., ред. *Россия в цифрах 2017*. Москва, Росстат, 2017, 686 с.
- [2] *Годовой отчет о деятельности федеральной службы по экологическому, технологическому и атомному надзору в 2016 году. Объекты магистрального трубопроводного транспорта и подземного хранения газа*. Москва, Федеральная служба по экологическому, технологическому и атомному надзору, 2017, 396 с.
- [3] Таранов Р.А., Лебская Т.А. Прогнозирование чрезвычайных ситуаций на потенциально опасных производственных объектах. *Современные тенденции развития науки и образования*. Москва, ИД Миракль, 2015, 141–149 с.
- [4] Капитонова Т.А., Стручкова Г.П., Тарская Л.Е., Ефремов П.В. Анализ факторов риска трубопроводов, проложенных в условиях криолитозоны с использованием ГИС-технологий. *Фундаментальные исследования*, 2014, № 5-5, с. 954–958.
- [5] РД-13.020.00-КТН-148-11. Методическое руководство по оценке степени риска аварий на магистральных нефтепроводах и нефтепродуктопроводах. Сер. 27. Вып. 1. Москва, НТЦ «Промышленная безопасность», 2009, 121 с.
- [6] Parfomak P.W. Keeping America's pipelines safe and secure: key issues for congress. Congressional Research Service, 2011, 38 p.
- [7] Кутуков С.Е. Технологический и экологический мониторинг систем магистрального транспорта и промышленного сбора нефти. Практика и перспективы совершенствования (на примере АК «Транснефть»). *Безопасность жизнедеятельности*, 2004, № 8, с. 16.
- [8] Супрунчик В.В. Безопасность трубопроводного транспорта углеводородов. *Минеральные ресурсы России. Экономика и управление*, 2007, № 6, с. 51–57.
- [9] Таранов Р.А. Использование систем дистанционного зондирования Земли для оценки состояния потенциально опасных объектов. *Машиностроение и компьютерные технологии*, 2011, № 10. URL: <http://engineering-science.ru/doc/223653.html>.
- [10] Ríos-Mercado R.Z., Borraz-Sánchez C. Optimization problems in natural gas transportation systems: a state-of-the-art review. *Applied Energy*, vol. 147, no. C, pp. 536–555.
- [11] Афанасьев В.Б., Чернова Н.В. Современные методы неразрушающего контроля. *Успехи современного естествознания*, 2011, № 7, с. 73–74.
- [12] Потапов И.А. *Акустические методы и средства неразрушающего контроля и дистанционной диагностики трубопроводов*. Дисс. ... канд. тех. наук. Санкт-Петербург, 2007, 229 с.

- [13] Чистяков В.В., Молотков С.Л. Сравнительный анализ технических возможностей ультразвуковых дефектоскопов общего назначения. *В мире неразрушающего контроля*, 2002, № 2, с. 40–44.
- [14] Интеллектуальная вставка ИВ. Патрубок измерительный (ПИ).
URL: <https://goo.gl/iFgsq8> (дата обращения 25.05.2018).

Скворцов Андрей Павлович — студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Озёрин Игнат Андреевич — студент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

Научный руководитель — Таранов Роман Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Экология и промышленная безопасность», МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Российская Федерация.

PROBLEMS OF PIPELINE TRANSPORT PROTECTION UPDATING

A.P. Skvortsov

adambalda@mail.ru

SPIN-code: 7786-2086

I.A. Ozerin

ignat@ozerin.tk

SPIN-code: 7097-3456

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation

Abstract

The article is devoted to study of remote diagnostics methods to immediately obtain information about the state of main oil pipelines and territory along them. A number of problems arising during the operation of branched trunk pipeline systems is considered. A brief description of pipeline monitoring methods is given. To solve the problems proposed application of aerial surveys in different wavelength ranges, implementation of unmanned aerial vehicles and intelligent inserts. Examples of problems solved through the use of several types of shooting are presented. It was concluded that application of a complex of modern methods of trunk pipelines monitoring significantly saves finance resources and opens up new opportunities for the safe operation of pipeline transportation.

Keywords

Main oil pipeline, pipeline transport, collapse, risk analysis, sounding method, diagnostic method, aerial geological survey, defectoscopy, oil and gas complex, innovative technology

Received 24.09.2018

© Bauman Moscow State Technical University, 2018

References

- [1] Surinov E.A., ed. Rossiya v tsifrakh 2017 [Russia in numbers 2017]. Moscow, Rosstat publ., 2017, 686 p.
- [2] Godovoy otchet o deyatelnosti federal'noy sluzhby po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru v 2016 godu. Ob"ekty magistral'nogo truboprovodnogo transporta i podzemnogo khraneniya gaza [Annual report of Federal Environmental, Industrial and Nuclear Supervision Service in 2016. Objects of major pipeline transport and underground gas storage]. Moscow, Federal'naya sluzhba po ekologicheskomu, tekhnologicheskomu i atomnomu nadzoru publ., 2017, 396 p.
- [3] Taranov R.A., Lebskaya T.A. Prognozirovaniye chrezvychaynykh situatsiy na potentsial'no opasnykh proizvodstvennykh ob"ektakh [Forecasting of emergency on potentially hazardous production facilities]. *Sovremennye tendentsii razvitiya nauki i obrazovaniya* [Modern tendencies of science and education development]. Moscow, ID Mirakl', 2015, 141–149 p.
- [4] Kapitonova T.A., Struchkova G.P., Tarskaya L.E., Efremov P.V. Analysis of risk factors for pipelines laid in the permafrost using GIS-technologies. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research], 2014, no. 5-5, pp. 954–958.
- [5] RD-13.020.00-KTN-148-11. Metodicheskoe rukovodstvo po otsenke stepeni riska avariyn na magistral'nykh nefteprovodakh i nefteproduktoprovodakh. Ser. 27. Vyp. 1 [Methodological guideline on assessment of accident risk at major oil and oil-products pipeline]. Moscow, NTTs "Promyshlennaya bezopasnost'" publ., 2009, 121 p.

- [6] Parfomak P.W. Keeping America's pipelines safe and secure: key issues for congress. Congressional Research Service, 2011, 38 p.
- [7] Kutukov S.E. Technological and environmental monitoring of major pipeline transport and field gathering systems. Refinement practice and prospects (at the example of AK "Transneft"). *Bezopasnost' zhiznedeyatel'nosti*, 2004, no. 8, pp. 16.
- [8] Suprunchik V.V. Hydrocarbon pipeline transportation safety. *Mineral'nye resursy Rossii. Ekonomika i upravlenie* [Mineral resources of Russia. Economics and management], 2007, no. 6, pp. 51–57.
- [9] Taranov R.A. Use of earth remote monitoring systems for assessment of condition of potentially dangerous objects. *Mashinostroenie i komp'yuternye tekhnologii* [Mechanical Engineering and Computer Science], 2011, no. 10. URL: <http://engineering-science.ru/doc/223653.html>.
- [10] Ríos-Mercado R.Z., Borraz-Sánchez C. Optimization problems in natural gas transportation systems: a state-of-the-art review. *Applied Energy*, vol. 147, no. C, pp. 536–555.
- [11] Afanas'yev V.B., Chernova N.V. Modern methods of non-destructive control. *Uspekhi sovremennogo estestvoznaniya* [Advances in current natural sciences], 2011, no. 7, pp. 73–74.
- [12] Potapov I.A. Akusticheskie metody i sredstva nerazrushayushchego kontrolya i distantsionnoy diagnostiki truboprovodov. Diss. kand. tekhn. nauk [Acoustic methods and tool of non-destructive control and remote diagnostics of pipelines. Kand. tech. sci. diss.]. Sankt-Petersburg, 2007, 229 p.
- [13] Chistyakov V.V., Molotkov S.L. Comparative analysis of technical possibilities of ultrasound general purpose non-destructive test instruments. *V mire nerazrushayushchego kontrolya* [NDT World], 2002, no. 2, pp. 40–44.
- [14] Intellektual'naya vstavka IV. Patrubok izmeritel'nyy (PI) [Intellectual insertion IV. Test nipple (PI)]. Available at: <https://goo.gl/iFgsq8> (accessed 25.05.2018).

Skvortsov A.P. — student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Ozerin I.A. — student, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.

Scientific advisor — R.A. Taranov, Candidate Sc. (Tech.), Assoc. Professor, Department of Ecology and Industrial Safety, Bauman Moscow State Technical University, Moscow, Russian Federation.