

УДК 528.48:621.24

DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-4-96-103

КРИТЕРИИ КОНТРОЛЯ ЗАЩИТНЫХ СООРУЖЕНИЙ МАГИСТРАЛЬНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Александр Владимирович Комиссаров

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, доктор технических наук, доцент, зав. кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Мария Михайловна Шляхова

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: m.m.shlyakhova@sgugit.ru

Максим Александрович Алтынецв

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)361-08-66, e-mail: m.a.altincev@sgugit.ru

Екатерина Николаевна Кулик

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плеханова, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры фотограмметрии и дистанционного зондирования, тел. (383)361-08-66, e-mail: e.n.kulik@sgugit.ru

Целью данной статьи является выбор и обоснование критериев контроля защитных сооружений магистральных трубопроводов. Магистральные трубопроводы постоянно подвергаются воздействиям со стороны внешних и внутренних факторов. Для обеспечения непрерывной работы трубопроводов возводятся специальные защитные сооружения. Главная задача создания защитных сооружений – минимизация экономических потерь и сохранение экологических характеристик объекта. Все существующие защитные сооружения можно разделить на две большие группы: земляные и инженерные. Каждая из этих групп включает различные виды сооружений. Все они призваны обеспечить сохранность магистральных трубопроводов от определенного природного явления. Вне зависимости от вида защитного сооружения также необходимо обеспечивать постоянный мониторинг их геометрического состояния. Для мониторинга могут применяться различные данные, среди которых особую роль играют данные дистанционного зондирования Земли. Один из основных вопросов при мониторинге сооружений – обоснование возникающих погрешностей измерений. Это требует знаний положений теории комплексных точностных расчетов. Также следует принимать во внимание, что при любых расчетах обязательно необходим визуальный осмотр дефектов сооружения. В результате анализа в статье дана классификация защитных сооружений, приводятся положения теории точностных расчетов, необходимых для обоснования погрешностей контроля защитных сооружений. На основании данных положений выделены основные нормы точности. Результатами выполненного анализа являются численные значения критериев точности различных видов защитных сооружений.

Ключевые слова: магистральный трубопровод, дистанционное зондирование Земли, нормы точности, контроль, точность, активные методы зондирования, земляные защитные сооружения, инженерные защитные сооружения

Введение

Главной задачей защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов является за-

щита нефтепровода от природных условий и явлений и влияния человеческого фактора.

Природные явления представляют собой геологические, гидрогеологические и гид-

рологические процессы, которые представляют собой основную причину разрушения нефтепровода, а ключевой вред человеческого фактора заключается в хищении нефтепродуктов и порче имущества нефтепровода, что впоследствии приводит к значительным экологическим и экономическим потерям [1–3].

В целях поддержания работоспособности защитных сооружений необходим их периодический мониторинг.

Для любого мониторинга следует установить предельные допустимые смещения (перемещения) объекта в целом или его отдельных частей. При выделении критериев контроля защитных сооружений был проведен анализ нормативных документов и литературных источников, но в результате он не позволил выявить необходимые параметры для мониторинга магистральных трубопроводов. Вследствие этого было принято решение о необходимости обоснования предельных смещений на основе результатов моделирования и экспериментальных исследований.

Материалы и методы

Существуют стандарты и требования к проектированию и эксплуатации линейной части трубопровода, мониторинг которой на основе данных дистанционного зондирования [4–9] позволяет решать следующие задачи:

- обнаружение утечек;
- выявление участков трубопроводов, потерявших устойчивое положение;
- поиск и обнаружение повреждений обваловки, засыпки на трубопроводах;
- обеспечение оперативной локализации аварий на трубопроводах, эвакуация пострадавших с места аварии [10];
- визуальное определение отклонений от требований и выявление нарушений, возникших на сооружениях сторонних организаций и реально угрожающих целостности трубопровода [11];
- несанкционированные проникновения и действия на поднадзорной территории.

Классификация защитных сооружений представлена в таблице.

Классификация защитных сооружений в зависимости от воздействия природных и техногенных явлений

Природные и техногенные явления	Защитные сооружения
Эрозия	– обратная отсыпка поверхности грунтов (укладка биомата); – грунтовые валы; – укрепление откосов; – водоотводные лотки (используется каменный материал); – укрепление берегов щебнем; – укрепление склона железобетонными плитами; – протекторная защита; – дренажные установки; – песчаный слой и обвалование (болотистая местность); – скрепление грунта растительностью
Затопление	– дамба из камня (система водопонижения, состоящая из канав)
Оползни	– ряды свай; – бетонные барьеры; – геоматы; – отсыпка склона щебнем; – геоматы
Разливы нефти	– обвалование; – шламовый амбар из грунта
Опасные геологические процессы (вечномерзлые грунты, просадочные грунты и т. д.)	– отсыпка из песчаного грунта и обвалование; – устройство трубопровода на свайном фундаменте

Все представленные в таблице защитные сооружения можно подразделить на два основных вида [12–17]:

- земляные;
- инженерные.

К земляным сооружениям следует отнести все сооружения, возводимые из грунта или иных инертных материалов. Назначение этих сооружений следующее [18–20]:

- предотвращение растекания углеводородов при аварии;
- термоизоляционная функция для поддержания постоянной температуры в грунте;
- защита от воздействия человека и животных на трубопровод.

Инженерные объекты предназначены для предотвращения деформаций трубопроводов. При этом в зависимости от их функционального назначения и характера нагрузок регламентируются точность и параметры контроля [20].

Для контроля физического состояния и геометрических параметров защитных сооружений требуется выполнять мониторинг. При этом произведенный анализ нормативных документов и литературных источников не позволил выявить критерии требуемой точности мониторинга.

Методология

Для обоснования погрешностей контроля защитных сооружений воспользуемся принципиальными положениями теории точностных расчетов [21]:

1) точностные расчеты должны быть комплексными, причем это требование необходимо правильно реализовать в трех основных направлениях:

- при обязательном полном учете в расчетах влияний всей совокупности основных факторов, характеризующих свойства объекта контроля;

- при обязательном параллельном расчете точности не только одного вида геометрического параметра, но и других характерных для данного объекта геометрических параметров;

- выполнение расчетов точности всей «технологической цепочки», начиная от точности

контроля геометрического параметра сооружения и оборудования до точности измерения элементов в геодезических построениях;

2) точностные расчеты должны быть проектными, т. е. необходимо обеспечить возможность проводить их заблаговременно. Иными словами, они должны быть направлены в будущее, а не в прошлое;

3) точностные расчеты должны быть нормативными, т. е. их следует принимать исходя из принятых на данном производстве нормативов на техническое состояние конструкций зданий, сооружений и оборудования или на монтажные и выверочные работы;

4) точностные расчеты должны быть конкретными, т. е. относиться к определенному объекту контроля и условиям его эксплуатации; в более полном виде они должны выполняться для типовых и конструктивно новых объектов, но при обязательном соблюдении требований полной конкретности задаваемых исходных условий; менее полными – для повторяющихся и близким к типовым объектам контроля, но также при обязательном условии конкретного учета всех существенных отклонений реального объекта от типового.

В результате выполненного анализа выделим основные виды контроля, требующие определения норм точности [21–24]:

- контроль постоянных параметров;
- контроль переменных параметров.

Нормы точности контроля постоянных параметров (пассивный контроль) предназначаются для решения точностных задач, связанных с оценкой отклонений геометрических параметров от проектных значений для конструкций сооружений и технологического оборудования после их изготовления, в процессе строительства, монтажа, ремонта, а также при проверке их состояния согласно эксплуатационным требованиям. Точность контроля постоянных параметров (пассивный контроль), как правило, устанавливается расчетным путем введения понижающего коэффициента (коэффициента точности), принципом равного или пренебрегаемого влияния погрешностей измерений.

Нормы точности контроля переменных параметров применяются для изучения технического состояния конструкций сооружений и оборудования производственных объектов,

меняющих свое положение во времени (активный контроль). Точность контроля переменных параметров рассчитывается путем деления норм точности измерения постоянных на число контролируемых интервалов слежения.

Для контроля защитных сооружений целесообразно применять нормы контроля постоянных параметров. Если известны технологические или эксплуатационные допуски на геометрические параметры, характеризую-

щие техническое состояние защищаемых объектов, точность устанавливается введением понижающего коэффициента на технологические и эксплуатационные допуски. При этом понижающий коэффициент следует принимать равным 0,4–0,7 в зависимости от класса опасности возникновения аварийной ситуации или разлива углеводородов. В этом случае точность контроля выражается следующими формулами [21]:

$$\left. \begin{aligned} \Delta_{(п)} &= c_n \Delta_{\text{э}}; \quad \Delta_{(п)} = c_n \Delta_{\text{тех}}; \quad \sigma = \frac{m_{(п)} \Delta_{\text{э}}}{6} = \frac{c_n \Delta_{\text{тех}}}{6} \\ \delta_{(п)} &= c_n \delta_{\text{э}}; \quad \delta_{(п)} = c_n \delta_{\text{тех}}; \quad \sigma = \frac{m_{(п)} \delta_{\text{э}}}{3} = \frac{c_n \delta_{\text{тех}}}{3} \\ \Delta &= 2\delta = 6\sigma = 6m \end{aligned} \right\}, \quad (1)$$

где $\Delta_{(п)}$ – допуск на измерения при пассивном контроле;

$\Delta_{\text{э}}$ и $\Delta_{\text{тех}}$ – эксплуатационные и технологические допуски соответственно;

$\delta_{(п)}$ – допустимое отклонение измерений при пассивном контроле;

$\delta_{\text{э}}$ и $\delta_{\text{тех}}$ – эксплуатационные и технологические предельные отклонения соответственно;

σ – среднее квадратическое отклонение результатов измерений при пассивном контроле;

$m_{(п)}$ – средняя квадратическая погрешность измерения при пассивном контроле.

Результат и обсуждение

Для расчета значений предельных деформаций был выполнен анализ производственных материалов мониторинга защитных сооружений (рис. 1). В результате установлено следующее:

- при выявлении смещений бетонных защитных сооружениях (подпорная стенка, фундамент и т. д.) более 15 мм появляются трещины. Данные выводы также подтверждаются материалами моделирования в программном комплексе PLAXIS;

- при выявлении смещений для защитных сооружений, установленных на свайных фундаментах, предельные допустимые смещения следует устанавливать не более 2 мм, так как при моделировании процессов уставлено, что максимальная относительная разность осадок ($\Delta h/L$) не должна превышать 0,0007–0,001;

- для земляных защитных сооружений контроль можно выполнить путем топографической съемки, для которой погрешность

определения высот относительно ближайших пунктов съемочной сети составляет 12–15 см.



Рис. 1. Разрушение фундамента защитного сооружения при его смещении на 18 мм

Ввиду того, что защитные сооружения располагаются на большом протяжении, целесообразно выполнять мониторинг по данным активного дистанционного зондирования, а именно: по данным радиолокационной, лазерной и интерферометрической съемок (рис. 2).

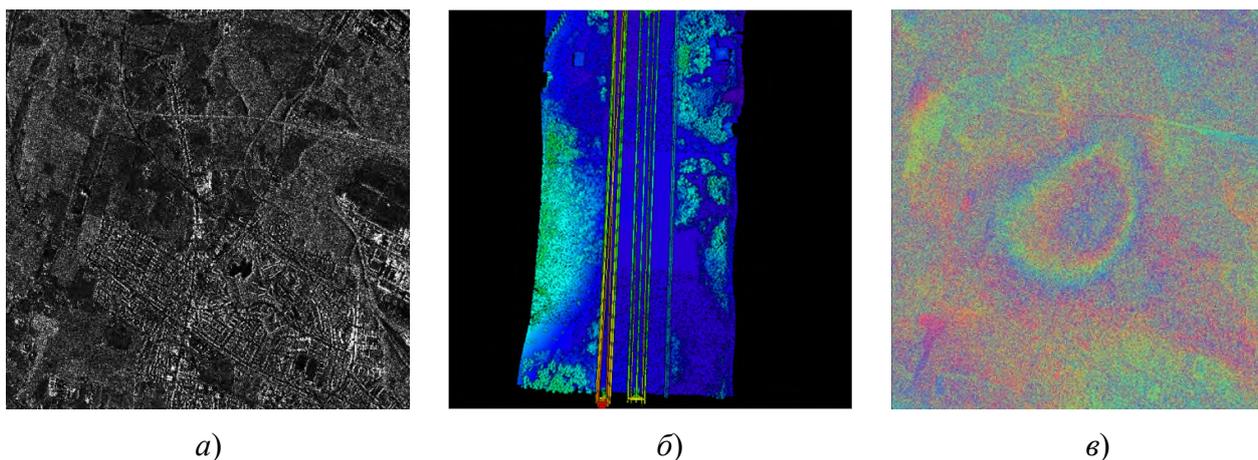


Рис. 2. Пример данных активного дистанционного зондирования:

а) данные радиолокационной съемки; б) данные лазерной съемки; в) данные интерферометрической съемки

Заключение

В результате выполненного анализа можно выделить следующие критерии контроля защитных сооружений:

- земляные сооружения – точность высотного и планового положения составляет 15 см;
- бетонные сооружения – точность высотного положения 15 мм, плановое 10 мм;
- свайные фундаменты – точность высотного положения 2 мм, плановое 10 мм.

Контроль земляных сооружений следует выполнять на основе съемки поперечников относительно ближайших реперов, положение которых устойчиво во времени.

Контроль бетонных и свайных сооружений необходимо выполнять по установленным маркам или маркированным точкам, чтобы обеспечить единство временного контроля.

Помимо инструментального контроля для всех представленных сооружений необходимо выполнять визуальный осмотр на предмет поиска различного рода дефектов сооружения.

Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Хренов Н. Н. Аэрокосмические методы в комплексе исследований по оценке технического состояния северных трубопроводов // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2009. – № 3. – С. 55–59.
2. Стандарт организации положение о воздушном патрулировании трасс магистральных трубопроводов ОАО «Газпром» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://zinref.ru/000_uchebniki/01500_gaz/301_00_STO_gazprom_raznie/154.htm. – Загл. с экрана.
3. Аэрокосмическая и аэровизуальная диагностика газопроводов [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gazdiagnoz.narod.ru/gaz09.html>. – Загл. с экрана.
4. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://gostrf.com/normadata/1/4293793/4293793668.pdf>.
5. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs.cntd.ru/document/1200100941>.
6. СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/17066/>.
7. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/1906/>.

8. СП 425.1325800.2018. Инженерная защита территорий от эрозионных процессов. Правила проектирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://docs-api.cntd.ru/document/554403584>.
9. Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ : учеб. пособие для вузов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); сост. В. Г. Крец [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск : Изд-во ТПУ, 2019. – 356 с.
10. Галиахметова А. В., Ядзинская М. Р., Канева И. В. Оценка природных и техногенных факторов для целей инженерной защиты трубопроводов в криолитозоне // Инженерные изыскания. – 2013. – № 1. – С. 52–55.
11. Бабин Л. А., Григоренко П. Н., Ярыгин Е. Н. Типовые расчеты при сооружении трубопроводов : учеб. пособ. для вузов. – М : Недра, 1995. – 246 с.
12. Дятлов В. А. Обслуживание и эксплуатация линейной части магистральных газопроводов. – М. : Недра, 1984. – 240 с.
13. Воробьев Ю. Л., Акимов В. А., Соколов Ю. И. Предупреждение и ликвидация аварийных разливов нефти и нефтепродуктов. – М. : Ин-октаво, 2005. – 368 с.
14. Хренов Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок : монография. – М. : Газоил пресс, 2002. – 352 с.
15. Аскарлов Р. М., Китаев С. В., Исламов И. М. О технологии выявления участков трубопроводов с изгибными напряжениями при пересечении ими геодинамических зон // Изв. Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2019. – № 5. – С. 18–25.
16. Хасенова Д. Ф. Возможности применения методов аэрокосмического мониторинга для обнаружения утечек из нефтегазопроводов // Технические науки: теория и практика : материалы I Междунар. науч. конф. (г. Чита, апрель 2012 г.). – Чита : Молодой ученый, 2012. – С. 135–139.
17. Шилин Б. В. Тепловая аэросъемка при изучении природных ресурсов. – Л. : Гидрометеоздат, 1980. – 247 с.
18. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса [Электронный ресурс] / Под ред. академика В. Г. Бондура. – М. : Научный мир, 2012. – Режим доступа: <http://www.aerocosmos.info/pdf/2012/2012.pdf>.
19. Комаров В. А., Семенова З. В., Бронников Д. А., Нигрей А. А. О структуре системы физической защиты магистральных трубопроводов от преднамеренных угроз // Вестник ПНИПУ. Геология. Нефтегазовое и горное дело. – 2019. – Т. 19, № 1. – С. 87–100.
20. Минкин Д. Ю., Терехин С. Н., Корольков А. П., Османов Ш. А. Космический тепловизионный мониторинг нефтегазопроводного транспорта // Пожаровзрывобезопасность. – 2017. – Т. 26, № 12. – С. 45–51.
21. Жуков Б. Н. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2003. – 356 с.
22. Жарников В. Б., Дьяков Б. Н., Жуков Б. Н. и др. Геодезическое обеспечение эксплуатации промышленных объектов. – М. : Недра, 1992. – 160 с.
23. Жуков Б. Н. Нормирование точности – основа повышения качества инженерно-геодезических работ // Тр. 7 съезда ВАГО «Астрономические и геодезические исследования». – М., 1982. – С. 76–79.
24. Жуков Б. Н. Нормирование точности геодезических измерений при возведении сооружений, монтаже оборудования и контроле за их состоянием // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 1983. – № 4. – С. 28–35.

Получено 29.09.2020

© А. В. Комиссаров, М. М. Шляхова, М. А. Алтынцев, Е. Н. Кулик, 2020

CRITERIA FOR PROTECTIVE CONSTRUCTION MONITORING OF MAIN PIPELINES

Alexander V. Komissarov

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, D. Sc., Associate Professor, Head of the Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-01-59, e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Maria M. Shlyahova

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-01-59, e-mail: m.m.shlyakhova@sgugit.ru

Maxim A. Altyntsev

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)343-29-55, e-mail: m.a.altincev@sgugit.ru

Ekaterina N. Kulik

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Photogrammetry and Remote Sensing, phone: (383)361-01-59, e-mail: e.n.kulik@sgugit.ru

The purpose of this article is to select and substantiate the criteria for protective construction monitoring of main pipelines. Main pipelines are constantly exposed to influences of external and internal factors. Special protective constructions are being raised to ensure the continuous operation of the pipelines. The main goal of creating protective constructions is to minimize economic losses and preserve the environmental characteristics of the facility. All existing protective constructions can be divided into two large groups: earth work and engineering constructions. Each of these groups includes different types of the constructions. All of them are designed to ensure safety of main pipelines from a certain natural phenomenon. It is also necessary to ensure constant monitoring of their geometric state regardless the protective construction type. Various data can be used for monitoring, among which the Earth remote sensing data perform a special role. One of the main issues in the construction monitoring is the explanation of the arising measurement errors. This requires knowledge of complex precision calculations theory. It is also necessary to take into account that a visual inspection of the construction defects is imperative in any calculations. A classification of protective constructions is given. The base of the accuracy calculation theory that is necessary to substantiate the errors in the protective construction monitoring is discussed. The main accuracy standards based on this theory are highlighted. The results of the performed analysis are the numerical values of the accuracy criteria for various protective construction types.

Keywords: main pipeline, remote sensing, accuracy standards, control, accuracy, active remote sensing, earth protective constructions, engineering protective constructions

REFERENCES

1. Xrenov, N. N. (2009). Aerospace methods in a complex of studies to assess the technical condition of northern pipelines. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos'emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 3, 55–59 [in Russian].
2. Organization standard regulations on air patrolling of the main pipelines of OAO Gazprom. (n. d.). Retrieved from https://zinref.ru/000_uchebniki/01500_gaz/301_00_STO_gazprom_raznie/154.htm [in Russian].
3. Aerospace and aerovisual diagnostics of gas pipelines. (n. d.). Retrieved from <http://gazdiagnoz.narod.ru/gaz09.html> [in Russian].
4. Code of Practice. (2012). SP 58.13330.2012. Hydraulic structures. Basic Provisions. Retrieved from <http://gostrf.com/normadata/1/4293793/4293793668.pdf> [in Russian].
5. Standarts Russian Federation. (2004). GOST 31937-2011. Buildings and constructions. Rules for inspection and monitoring of technical condition. Retrieved from <http://docs.cntd.ru/document/1200100941> [in Russian].
6. Code of Practice. (2016). SP 115.13330.2016. Geophysics dangerous natural influences. Retrieved from <https://minstroyrf.gov.ru/docs/17066/> [in Russian].
7. Code of Practice. (2012). SP 116.13330.2012. Engineering protection of territories, buildings and structures from hazardous geological processes. Basic Provisions. Retrieved from <https://minstroyrf.gov.ru/docs/1906/> [in Russian].

8. Code of Practice. (2018). SP 425.1325800.2018 Engineering protection of territories from erosion processes. Design rules. Retrieved from <http://docs-api.cntd.ru/document/554403584> [in Russian].
9. Krez, V. G. (2019). *Sooruzhenie i ekspluatatsiya gazonefteprovodov i gazoneftekhranilishch [Construction and operation of gas and oil pipelines and gas and oil storage facilities: manual for graduate student]*. (2nd ed.). Tomsk: TPU Publ., 356 p. [in Russian].
10. Gali Ahmetova, A. V., Jadzinskaja, M. P., & Kaneva I. V. (2013). Assessment of natural and man-made factors for the purposes of engineering protection of pipelines in the permafrost zone. *Inzhenernye izyskaniya [Engineering Survey]*, 1, 52–55 [in Russian].
11. Babin, L. A., Grigorenko, P. N., & Jarygin, E. N. (1995). *Tipovye Raschety pri sooruzhenii truboprovodov [Typical calculations for the construction of pipelines]*. Moscow: Nedra Publ., 246 p. [in Russian].
12. Djatlov, V. A. (1984). *Obsluzhivanie i ekspluatatsiya lineynoy chasti magistral'nykh gazoprovodov [Maintenance and operation of the linear part of the main gas pipelines]*. Moscow: Nedra Publ., 246 p. [in Russian].
13. Vorobjov, Ju. L., Akimov, V. A., & Sokolov, Ju. I. (2005). *Preduprezhdenie i likvidatsiya avariynykh razlivov nefti i nefteproduktov [Prevention and response to accidental oil and oil product spills]*. Moscow: In-oktavo Publ., 368 p. [in Russian].
14. Xrenov, N. N. (2002). *Osnovy kompleksnoy diagnostiki severnykh truboprovodov. Aerokosmicheskie metody i obrabotka materialov s'emok [Fundamentals of comprehensive diagnostics of northern pipelines. Aerospace methods and processing of filming materials]*. Moscow: Gazoil Press, 352 p. [in Russian].
15. Askarov, R. M., Kitaev, S. V., & Islamov, I. M. (2019). On the technology of identifying pipeline sections with bending stresses when they intersect geodynamic zones. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring geosursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University]*, 5, 18–25 [in Russian].
16. Hasenova, D. F. (2012). Possibilities of using aerospace monitoring methods for detecting leaks from oil and gas pipelines. In *Sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii "Tekhnicheskie nauki: teoriya i praktika" [Proceedings of I International Scientific Conference "Technological Sciences: Science and Practice"]* (pp. 135–139). Chita: Molodoy uchenyy Publ. [in Russian].
17. Shilon, B. V. (1980). *Teplovaya aeros"emka pri izuchenii prirodnykh resursov [Thermal aerial photography in the study of natural resources]*. Leningrad: Gidrometeoizdat Publ., 247 p. [in Russian].
18. Bondur, V. G. (2012). *Aerokosmicheskiy monitoring ob"ektov neftegazovogo kompleksa [Aerospace monitoring of oil and gas facilities]*. Moscow: Nauchnyy mir Publ. Retrieved from http://www.aerocosmos.info/pdf/2012/2012_.pdf [in Russian].
19. Komarov, V. A., Semenova, Z. V., Bronnikov, D. A., & Nigrej, A. A. (2019). On the structure of the system of physical protection of trunk pipelines from deliberate threats. *Vestnik PNIPU. Geologiya. Neftegazovoe i gornoe delo [Perm Journal of Petroleum and Mining Engineering]*, 19(1), 87–100 [in Russian].
20. Minkin, D. Ju., Terehin, S. N., Korolkov, A. P., & Osmanov, Sh. A. (2017). Space thermal imaging monitoring of oil and gas pipeline transport. *Pozharovzryvobezopasnost' [Fire and Explosion Safety]*, 26(12), 45–51 [in Russian].
21. Zhukov, B. N. (2002). *Geodezicheskiy kontrol' sooruzheniy i oborudovaniya promyshlennykh predpriyatiy [Geodetic control of structures and equipment of industrial enterprises]*. Novosibirsk: SGGGA Publ., 356 p. [in Russian].
22. Zharnikov, V. B., Djakov, B. N., Zhukov, B. N., & and etc. (1992). *Geodezicheskoe obespechenie ekspluatatsii promyshlennykh ob"ektov [Geodetic support for the operation of industrial facilities]*. Moscow: Nedra Publ., 160 p. [in Russian].
23. Zhukov, B. N. (1982). Accuracy standardization is the basis for improving the quality of engineering and geodetic works. *Trudy 7 s"ezda VAGO "Astronomicheskie i geodezicheskie issledovaniya" [Proceedings of the 7th Congress of VAGO "Astronomical and Geodetic Research"]* (pp. 76–79). Moscow [in Russian].
24. Zhukov, B. N. (1983). Standardization of the accuracy of geodetic measurements during the construction of structures, installation of equipment and monitoring their condition. *Izvestiya vuzov. Geodeziya i aerofotos"emka [Izvestiya Vuzov. Geodesy and Aerophotography]*, 4, 28–35 [in Russian].

Received 29.09.2020

© A. V. Komissarov, M. M. Shlyahova, M. A. Altyntsev, E. N. Kulik, 2020