

ДИСТАНЦИОННОЕ ЗОНДИРОВАНИЕ ЗЕМЛИ, ФОТОГРАММЕТРИЯ

УДК 528.48+[621.64:528.8]
DOI 10.33764/2411-1759-2024-29-1-65-72

Технология мониторинга защитных сооружений магистральных нефтепроводов методами геодезии и дистанционного зондирования

*А. В. Комиссаров¹**

¹ Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,
Российская Федерация

* e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Аннотация. В статье предложена технология выполнения мониторинга защитных сооружений нефтепровода с помощью различных методов: воздушного, мобильного и наземного лазерного сканирования, аэро съемки и геодезических методов. Рассмотрены различные режимы выполнения мониторинга, а именно: по объемному признаку (сплошной или выборочный); по управляющему воздействию на ход производственного процесса (пассивный и активный), по режиму контроля (усиленный, нормальный и облегченный). Даны рекомендации по выбору того или иного режима выполнения мониторинга защитных сооружений магистральных нефтепроводов. Предложенная технология выполнения работ реализует принцип оптимизации затрат как производственных, так и финансовых. Кроме этого, в статье дается обоснование необходимости выполнения мониторинга защитных сооружений в единой системе координат для объединения данных, получаемых, в том числе, от других систем диагностики магистральных нефтепроводных комплексов. Также сделаны предложения по ведению комплексной геоинформационной системы, позволяющей выполнять анализ данных и строить прогнозные модели, на основе которых принимались решения по дальнейшему мониторингу объектов и, соответственно, вырабатывались рекомендации по эксплуатации этих объектов. Также данная система должна выполнять расчет напряженно-деформационного состояния непосредственно нефтепроводов и объектов перекачивающих станций.

Ключевые слова: технология, мониторинг, защитные сооружения, аэро съемка, лазерное сканирование, геодезические методы

Введение

В настоящее время существует большое множество защитных, вспомогательных и иных сооружений, способствующих уменьшению риска разлива нефти и нефтепродуктов из магистральных трубопроводов. В работах [1–3] приведены различные типы сооружений и требования к точности определения их геометрических параметров и/или пространственного положения. Таким образом для различных типов сооружений магистральных трубопроводов следует использовать всевозможные технические средства. Кроме этого, следует учитывать расстояния между смежными одноименными сооруже-

ниями вдоль магистральных трубопроводов. Поэтому для повышения надежности и эффективности следует использовать множество разнообразных технологий, среди которых [4–11]:

- наземное лазерное сканирование;
- воздушное лазерное сканирование;
- стереотопографическая съемка с пилотируемых или беспилотных летательных аппаратов;
- геодезические методы.

На основе этого необходимо выработать единые рекомендации по выбору конкретного метода для решения определенной задачи и предложить комплекс технологических операций для этих целей [10, 12].

Основная часть

При разработке системы контроля в системе управления качеством продукции широко используется принцип оптимизации, который рассматривается как предпочтительная соотносительность, пропорциональность социально-экономических систем и входящей в них подсистемы технического контроля.

Системный подход к проблеме управления качеством проектирования технического контроля является обязательным условием оптимального решения. Как правило, для оптимизации разрабатывается категорийный аппарат в виде множества качественных признаков, приведенных к количественным единицам (категориям, группам, классам и т. д.), используются ряды численных значений, целевые функции и т. д.

Метод установления единиц категорийного аппарата у объекта получил название

квантификация. Сущность метода заключается в сведении множества качественных признаков объекта к элементарному счетному множеству категорий, обозначаемых порядковыми номерами натуральных чисел.

Основой решения оптимизационных задач технического (пространственного) контроля является обоснованный выбор объектов и параметров, вида и метода контроля [13, 14]. От правильности выбора этих процессов контроля зависит точность, периодичность, объем выполнения контрольных операций, а следовательно, их трудоемкость, численность и квалификация исполнителей при использовании интерактивных методов измерения и/или обработки, оснащенность средствами контроля, достоверность результатов измерений и обработки и т. д.

В работе [1] предлагается следующая структурно-технологическая схема геодезического контроля, рис. 1.

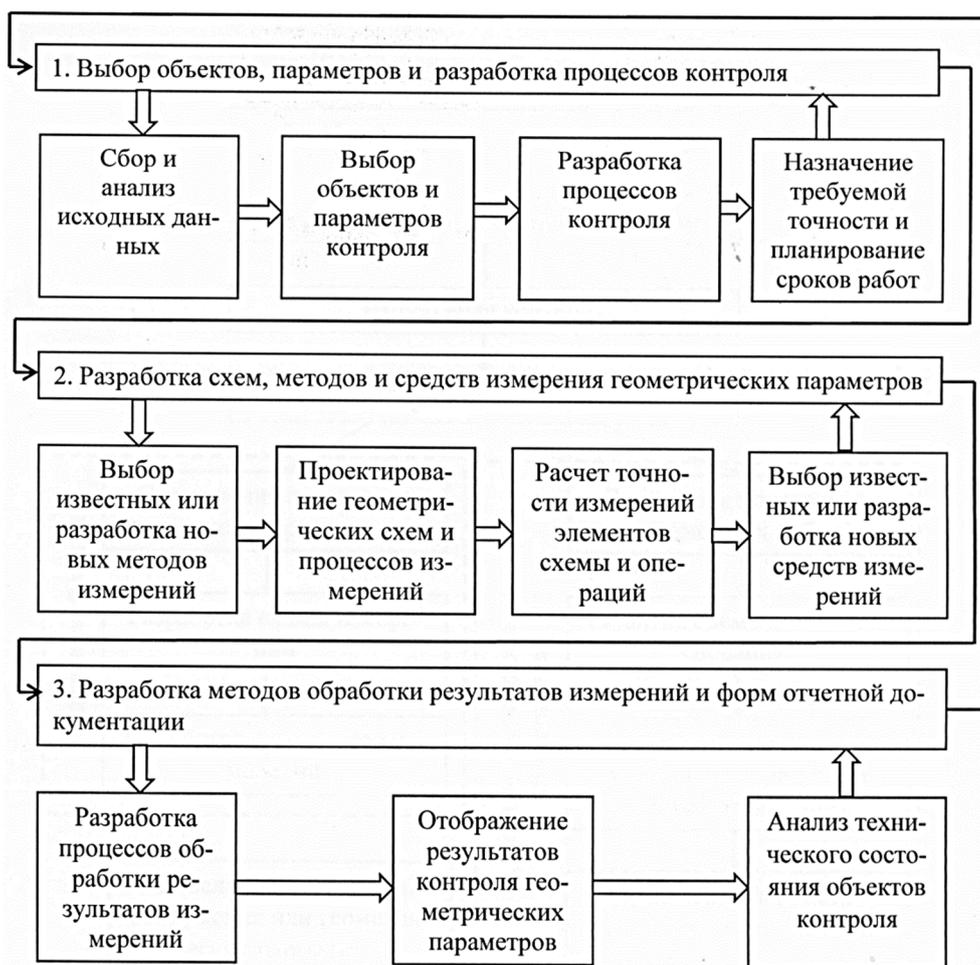


Рис. 1. Технологическая схема технического контроля геометрических параметров объекта [1]

При разработке технологии планирования ключевое внимание должно уделяться планированию выполнения измерения, так как от этого будет зависеть точность проводимого мониторинга, а, следовательно, и выявляемые деформации. Кроме этого, предлагаемая технология должна быть адаптивной под различные условия измерений и состояние сооружения.

На основании этого предлагается следующая технология мониторинга защитных сооружений, представленная на рис. 2.



Рис. 2. Технология мониторинга защитных сооружений нефтепроводов

На этапе выбора параметров определяются контролируемые характеристики сооружения, которые обычно определяются про-

ектной документацией. В случае отсутствия этих сведений в проектной документации они либо определяются по объектам-аналогам,

для которых эти величины прописаны в проектной документации, либо привлекаются научные институты для их определения. Аналогичным образом определяют точность, с которой необходимо производить измерения. При этом параметры и точность могут варьироваться в зависимости от условия расположения защитных сооружений, а именно: многолетнемерзлые грунты, склоновые процессы, ветряные нагрузки и вызванные этим эоловые процессы поверхностного грунта, карст, бугры пучения и т. д.

Под выбором вида контроля понимается разделение на следующие виды:

- по объемному признаку (сплошной или выборочный);
- по управляющему воздействию на ход производственного процесса (пассивный и активный);
- по режиму контроля (усиленный, нормальный и облегченный).

При выборе вида контроля по объемному признаку следует учитывать следующие факторы.

1. Применительно к защитным сооружениям нефтепроводов сплошной контроль назначается при следующих условиях:

- резкое изменение характеристик технологических процессов на исследуемом объекте, режимов грунтовых вод, физико-механических свойств грунтов, внешних условий среды (наводнения, ураганы, наледи выше расчетных значений при проектировании и т. д.) или проявления свойств специфических грунтов и опасных геологических процессов;
- при возникновении видимых деформаций сооружений;
- при вводе в эксплуатацию новых сооружений или после реконструкции до момента стабилизации осадок, но не менее первых трех лет службы;
- при небольших объемах контролируемых объектов;
- при повышенных требованиях к обеспечению заданной точности, связанных с этим необходимостью выполнения большого объема контролируемых параметров.

2. Выборочный контроль проводится при следующих условиях:

– при стабильных нормальных режимах эксплуатации объектов и отсутствии резких изменений внешних условий;

– при стабилизации осадок, горизонтальных перемещений, деформаций и других геометрических параметров сооружений.

Для защитных сооружений нефтепроводов пассивный контроль следует назначать при следующих условиях:

- при оценке состояния конструкций сооружений, для которых характер изменения параметров во времени не имеет выраженных закономерностей из-за множества воздействующих факторов, вследствие чего в элементах конструкций предусмотрены специальные компенсационные устройства;
- при оценке состояния сооружений с нарушенным активным контролем, восстановить результаты которого невозможно (например, проводились недостоверные циклы наблюдений);

– при оценке на текущий момент состояний конструкций зданий, сооружений и оборудования, за которыми контроль ранее не производился или не предусматривался;

– при проведении контроля после ремонта оборудования сооружения;

– при проведении оценки состояния сооружения после взрывов, пожаров, наводнений или землетрясений.

Активный контроль при оценке состояния сооружения следует назначать в случае проявления деформаций, имеющих выраженную закономерность во времени, которые прогнозируются до начала контроля, выявленных при эксплуатации других аналогичных объектов.

Выбор режима контроля обуславливается следующими факторами.

а) усиленный:

– при слабо изученных процессах работы сооружений и оборудования внутри защитного сооружения;

– при видимых визуально и установленными косвенно при контроле по другим параметрам деформаций и разрушений (например, возникновение складок трубопровода при внутритрубной диагностике);

– при нарушении условий эксплуатации, влияющих на техническое состояние сооружения или оборудования;

б) нормальный:

– при достаточно изученных процессах работы оборудования внутри защитного сооружения;

– при хорошем техническом состоянии контролируемого объекта;

– при нормальных условиях эксплуатации.

в) облегченный:

– для объектов, подлежащих реконструкции или списанию;

– при внеплановых инспекционных проверках.

При составлении программы контроля особое внимание следует уделить обоснованию объема проводимых работ, а также требованиям проложения нивелирных ходов, линейно-угловых измерений (расстояния, количество приемов, длина плеч или сторон хода и т. д.) для обеспечения заданной точности выполнения контроля. В случае отклонения от требований инструкций в программе необходимо выполнить обоснование невозможности использования стандартных геометрических схем и процессов измерений, а также сделать расчет априорной оценки точности.

При составлении программы на съемочные работы основное внимание уделяется расчету параметров съемки, которые позволят обеспечить требуемую точность измерения. Так, например, для наземного лазерного сканирования это будут разрешение сканирования, выбор прибора с требуемой точностью измерения расстояний и углов или измерения трехмерных координат, максимальное отстояние от объекта; для аэрофотосъемки – фокусное расстояние камеры, разрешающая способность съемочной системы, точность работы навигационного оборудования и определения опорных и контрольных точек; для воздушного и мобильного лазерного сканирования – инструментальная точность, скорость движения носителя, максимальная высота или удаление снимаемых объектов, точность работы навигационного оборудования [7, 15].

На заключительном этапе технологии выполняется разработка мероприятий по дальнейшему мониторингу. Данный этап выполняется на основе прогнозных моделей, которые показывают либо стабилиза-

цию деформаций, либо закономерность их развития. В качестве основных рекомендаций по дальнейшему мониторингу даются следующие [16–20]:

– при стабилизации деформаций и превышения суммарных изменений допуска в течение трех лет увеличивают временной интервал между циклами;

– при проявлении закономерностей у деформаций выполняется прогноз на весь период эксплуатации сооружения и делается расчет времени до капитального ремонта. В случае, если при расчетах прогнозных деформаций их величины могут превысить допустимые значения, приступают к разработке компенсационных мероприятий;

– если проявляются деформации, для которых не выявляется закономерность, то в этом случае сокращают время между циклами наблюдений.

Выводы и заключения

Представленная технология выполнения мониторинга защитных сооружений позволяет наиболее оптимально проводить контроль и минимизирует производственные и финансовые затраты на производство работ, что достигается благодаря адаптивности выбора периода и средств мониторинга. При этом важным фактором ведения предложенной системы наблюдения за защитными сооружениями является возможность объединения получаемых данных и прогнозных моделей с информацией, поступающей от других диагностических систем и при мониторинге за другими типами объектов. Подобное объединение возможно только при обеспечении следующих условий:

– единства система отсчет (единая система координат и высот) на всю трубопроводную систему;

– ведение единой базы данных за изменением положения как отдельных элементов трубопроводной системы, так и целиком за ней;

– возможность расчета прогнозных моделей на различные элементы трубопроводной системы и расчета напряженно-деформационных состояний участков трубопровода.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Геодезический контроль сооружений и оборудования промышленных предприятий : монография. – Новосибирск : СГГА, 2003. – 356 с.
2. Комиссаров А. В., Дедкова В. В. Анализ методов и средств контроля защитных сооружений магистральных трубопроводов // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 77–84.
3. Комиссаров А. В. и др. Критерии контроля защитных сооружений магистральных трубопроводов // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 96–103.
4. Вербная В. П., Хорошилов В. С., Комиссаров А. В. Оптимальный метод выбора лазерного сканера для различных видов инженерно-технических работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 204–208.
5. Брынь М. Я., Никитчин А. А., Толстов Е. Г. Геодезический мониторинг объектов инфраструктуры железнодорожного транспорта спутниковыми методами // Транспорт Российской Федерации. – 2010. – № 4 (29). – С. 58–60.
6. Михайлов А. П., Чибуничев А. Г. Фотограмметрия : учебник для вузов / Под общ. ред. А. Г. Чибуничева. – М. : МИИГАиК, 2016. – 294 с.
7. Беленко В. В. Мониторинг объектов природно-экологического каркаса застраиваемых территорий по материалам космических съемок // Теоретическая и прикладная экология. – 2019. – № 3. – С. 21–27. – DOI 10.25750/1995-4301-2019-3-021-027.
8. Корниенко С. Г., Хренов Н. Н., Василенко П. А. Развитие научных основ аэрокосмического мониторинга и обеспечения безопасности геотехнических объектов при освоении нефтегазовых месторождений Арктики и Субарктики // Георесурсы, геознергетика, геополитика. – 2013. – № 1 (7). – С. 15.
9. Мелкий В. А. Теоретические основы и принципы построения единой системы мониторинга природной среды и техносферы // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2002. – № 2. – С. 89–97.
10. Хлебникова Т. А., Ямбаев Х. К., Опритова О. А. Разработка технологической схемы сбора и обработки данных аэрофотосъемки с использованием беспилотных авиационных систем для моделирования геопространства // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 1. – С. 106–118.
11. Хренов Н. Н. Диагностика состояния газопроводных геотехнических систем на основе сочетания дистанционного зондирования и наземных методов // Геодезия и картография. – 2009. – № 5. – С. 36–40.
12. Хренов Н. Н. Основы комплексной диагностики северных трубопроводов. Аэрокосмические методы и обработка материалов съемок. – М. : Газойл-пресс, 2003. – 352 с.
13. Иванов В. А., Фещенко А. А. Особенности подходов к техническому обслуживанию и ремонту оборудования в непрерывном производстве // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. – 2018. – Т. 20, № 3. – С. 82–89. – DOI 10.15593/2224-9877/2018.3.10.
14. Аэрокосмический мониторинг объектов нефтегазового комплекса [Электронный ресурс] / под ред. акад. В. Г. Бондура – М. : Научный мир, 2012. – Режим доступа: http://www.aerocosmos.info/pdf/2012/2012_.pdf.
15. Трофимов В. Т., Зилинг Д. Г., Королев В. А. и др. Теория и методология экологической геологии : монография / под ред. В. Т. Трофимова. – М. : МГУ, 1997. – 368 с.
16. Гуляев Ю. П. Прогнозирование деформации сооружений на основе результатов геодезических наблюдений. – Новосибирск : СГГА, 2008. – 256 с.
17. Хорошилова Ж. А., Хорошилов В. С. Деформационный мониторинг инженерных объектов как составная часть геодезического мониторинга // Интерэкспо Гео-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 10–20 апреля 2012 г.). – Новосибирск : СГГА, 2012. Т. 1. – С. 77–80.
18. Малков А. Г., Кобелева Н. Н. Системное исследование деформаций сооружений // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2015. XI Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 13–25 апреля 2015 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2015. Т. 1. – С. 221–227.
19. Timofeev V. Yu., Masalsky O. K., Ardyukov D. G., Timofeev A. V. Local deformation and rheological parameters by measurements in Italaya station gallery (Baikal region) // Geodynamics & tectonophysics. – 2015. – Vol. 6. – С. 245–253.

20. Hausamman D., Ziring W., Schreier G., Strobl P. Monitoring of Gas pipelines – a civil UAV application // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. – 2005. – Vol. 77, № 5. – P. 352–360. – DOI 10.1108/00022660510617077.

Об авторах

Александр Владимирович Комиссаров – доктор технических наук, заведующий кафедрой фотограмметрии и дистанционного зондирования.

Получено 28.11.2023

© А. В. Комиссаров, 2024

Technology for monitoring protective structures of main oil pipelines by geodesy and remote sensing methods

A. V. Komissarov^{1*}

¹ Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

* e-mail: a.v.komissarov@sgugit.ru

Abstract. The paper proposes a technology for monitoring oil pipeline protective structures using various methods: aerial, mobile and terrestrial laser scanning, aerial photography and geodetic methods. Various modes of monitoring are considered: volumetric sign (continuous or selective) according to the control influence on the course of the production process (passive and active) by control mode (enhanced, normal and light). Recommendations for choosing one or another mode for monitoring protective structures of main oil pipelines are given. The proposed work execution technology implements the principle of cost optimization, both production and financial. In addition, the article provides a rationale for the need to monitor protective structures in a single coordinate system to combine data received, among other things, from other diagnostic systems of main oil pipeline complexes. Proposals were also made for maintaining an integrated geographic information system that allows data analysis and construction of predictive models, on the basis of which decisions were made on further monitoring of objects and, accordingly, recommendations for the operation of these objects were developed. Also, this system must calculate the stress-strain state of oil pipelines and pumping station facilities.

Keywords: technology, monitoring, protective structures, aerial photography, laser scanning, geodetic methods

REFERENCES

1. *Geodezicheskiy kontrol' sooruzheniy i oborudovaniya promyshlennykh predpriyatiy [Geodetic control of structures and equipment of industrial enterprises]*. (2003). Novosibirsk: SSGA Publ., 356 p. [in Russian].
2. Komissarov, A. V., & Dedkova, V. V. (2020). Analysis of methods and means of monitoring protective structures of main pipelines. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 77–84 [in Russian].
3. Komisarov, A. V., & et al. (2020). Criteria for monitoring protective structures of main pipelines. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(4), 96–103 [in Russian].
4. Verbnaya, V. P., Khoroshilov, V. S., & Komissarov, A. V. (2015). Optimal method for selecting a laser scanner for various types of engineering work. In *Sbornik materialov Interexpo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii. T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 204–208). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
5. Bryn, M. Ya., Nikitchin, A. A., & Tolstov, E. G. (2010). Geodetic monitoring of railway transport infrastructure objects using satellite methods. *Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation]*, 4(29), 58–60 [in Russian].
6. Mikhailov, A. P., & Chibunichev, A. G. (2016). *Fotogrammetriya [Photogrammetry]*. A. G. Chibunichev (Ed.). Moscow: MIIGAiK Publ., 294 p. [in Russian].

7. Belenko, V. V. (2019). Monitoring of objects of the natural-ecological framework of built-up territories based on materials from space surveys. *Teoreticheskaya i prikladnaya ekologiya [Theoretical and Applied Ecology]*, 3, 21–27. DOI 10.25750/1995-4301-2019-3-021-027 [in Russian].
8. Kornienko, S. G., Khrenov, N. N., & Vasilenko, P. A. (2013). Development of scientific foundations of aerospace monitoring and ensuring the safety of geotechnical objects during the development of oil and gas fields in the Arctic and Subarctic. *Georesursy, geoenergetika, geopolitika [Georesources, Geoenergy, Geopolitics]*, 1(7), P. 15 [in Russian].
9. Melky, V. A. (2002). Theoretical foundations and principles of constructing a unified system for monitoring the natural environment and technosphere. *Izvestiya vuzov "Geodeziya i aerofotos"emka" [Izvestia Vuzov "Geodesy and Aerophotosurveying"]*, 2, 89–97 [in Russian].
10. Khlebnikova, T. A., Yambaev, Kh. K., & Opritova, O. A. (2020). Development of a technological scheme for collecting and processing aerial photography data using unmanned aerial systems for geospatial modeling. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(1), 106–118. [in Russian].
11. Khrenov, N. N. (2009). Diagnostics of the state of gas pipeline geotechnical systems based on a combination of remote sensing and ground-based methods. *Geodeziya i kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 5, 36–40 [in Russian].
12. Khrenov, N. N. (2003). *Osnovy kompleksnoy diagnostiki severnykh truboprovodov. Aerokosmicheskie metody i obrabotka materialov s'emok [Fundamentals of complex diagnostics of northern pipelines. Aerospace methods and processing of filming materials]*. Moscow: Gazoil-press Publ., 352 p. [in Russian].
13. Ivanov, V. A., & Feshchenko, A. A. (2018). Features of approaches to technical maintenance and repair of equipment in continuous production. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie [Bulletin of the Perm National Research Polytechnic University. Mechanical Engineering, Materials Science]*, 20(3), 82–89. DOI 10.15593/2224-9877/2018.3.10. [in Russian].
14. Bondur, V. G. (Ed.). (2012). *Aerokosmicheskiy monitoring ob'ektov neftegazovogo kompleksa [Aerospace monitoring of oil and gas complex objects]*. Moscow: Nauchnyy Mir Publ. Retrieved from http://www.aerocosmos.info/pdf/2012/2012_.pdf [in Russian].
15. Trofimov, V. T., Ziling, D. G., Korolev, V. A., & et al. (1997). *Teoriya i metodologiya ekologicheskoy geologii [Theory and methodology of environmental geology]*. V. T. Trofimov (Ed.). Moscow: MSU Publ., 368 p. [in Russian].
16. Gulyaev, Yu. P. (2008). *Prognozirovanie deformatsii sooruzheniy na osnove rezul'tatov geodezicheskikh nablyudeniy [Forecasting the deformation of structures based on the results of geodetic observations]*. Novosibirsk: SSGA Publ., 256 p. [in Russian].
17. Khoroshilova, Zh. A., & Khoroshilov, V. S. (2012). Deformation monitoring of engineering objects as an integral part of geodetic monitoring. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2012: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2012: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 77–80). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
18. Malkov, A. G., & Kobeleva, N. N. (2015). Systematic study of deformations of structures. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2015: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2015: International Scientific Conference: Vol. 1. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 221–227). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
19. Timofeev, V. Yu., Masalsky, O. K., Ardyukov, D. G., & Timofeev, A. V. (2015). Local deformation and rheological parameters by measurements in Italaya station gallery (Baikal region). *Geodynamics & Tectonophysics*, 6, 245–253.
20. Hausamman, D., Ziring, W., Schreier, G., & Strobl, P. (2005). Monitoring of Gas pipelines – a civil UAV application. *Aircraft Engineering and Aerospace Technology*, 77(5), 352–360. DOI 10.1108/00022660510617077.

Author details

Alexander V. Komissarov – D. Sc., Head of the Department of Photogrammetry and Remote Sensing.

Received 28.11.2023

© A. V. Komissarov, 2024