

ГЕОДЕЗИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ДЕФОРМАЦИЙ НАДЗЕМНЫХ ТРУБОПРОВОДОВ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ В ТРУДНОДОСТУПНЫХ АРКТИЧЕСКИХ РАЙОНАХ

Р. Е. Левитин, С. Е. Аксенов, Н. С. Ульянкин, А. П. Терешонок
ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия

Аннотация: Рассмотрена возможность применения беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) для геодезического мониторинга деформаций трубопроводов в труднодоступных арктических районах. Трубопроводы являются одними из наиболее важных элементов нефтегазовой инфраструктуры, и их техническое состояние напрямую влияет на безопасность и эффективность углеводородного транспорта. Рассмотрена возможность применения метода геодезического мониторинга деформаций надземных трубопроводов, использующего систему лазерного сканирования и беспилотные летательные аппараты в условиях Крайнего Севера. Проведено сравнение метода мониторинга надземных трубопроводов геометрическим нивелированием и метода лазерного сканирования с применением БПЛА.

Ключевые слова: мониторинг, деформация, трубопровод, лазерное сканирование, беспилотные летательные аппараты

Для цитирования: Левитин Р. Е., Аксенов С. Е., Ульянкин Н. С., Терешонок А. П. Геодезический мониторинг деформаций надземных трубопроводов при использовании беспилотных летательных аппаратов в труднодоступных арктических районах. *Маркшейдерия и недропользование*. 2024. №5. С. 114–119. https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_114_119.

GEODETIC MONITORING OF DEFORMATIONS OF ABOVE GROUND PIPELINES USING UNMANNED AERIAL VEHICLES IN DIFFICULTLY ACCESSIBLE ARCTIC AREAS

R. E. Levitin, S. E. Aksenov, N. S. Ulyankin, A. P. Tereshonok
Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation

Abstract: The article considers the possibility of using unmanned aerial vehicles (UAVs) for geodetic monitoring of pipeline deformations in remote Arctic areas. Pipelines are one of the most important elements of the oil and gas infrastructure and their technical condition directly affects the safety and efficiency of hydrocarbon transport. A comparison of the method of monitoring overhead pipelines by geometric leveling and the method of laser scanning using is carried out. The possibility of using the method of geodetic monitoring of deformations of underground pipelines using laser scanning systems and unmanned aerial vehicles in the conditions of the far north is considered.

Keywords: monitoring, deformation, pipeline, laser scanning, unmanned aerial vehicles

For citation: Levitin R. E., Aksenov S. E., Ulyankin N. S., Tereshonok A. P. Geodetic monitoring of deformations of above ground pipelines using unmanned aerial vehicles in difficultly accessible arctic areas. *Mine Surveying and Subsurface Use*. 2024;(5):114–119. (In Russ.). https://doi.org/10.56195/20793332_2024_5_114_119.

Введение

В настоящее время в условиях арктического климата существует сложность проведения геодезического мониторинга деформаций трубопроводов классическими методами (геометрическое нивелирование), попадающих под нормативы точности по ГОСТу 24846-2012 [1–5].

В данной статье рассматривается возможность применения метода геодезического мониторинга деформаций надземных трубопроводов, использующего системы лазерного сканирования (ЛИДАР) и беспилотные летательные аппараты (БПЛА) в условиях Крайнего Севера.

Этот вопрос актуален, так как в последние годы наблюдается тенденция ввода в эксплуатацию нефтяных и газо-

вых месторождений в северных частях Ямало-Ненецкого автономного округа и Красноярского края.

В 1980-е годы были обнаружены Мессояхские месторождения (Восточно-Мессояхское и Западно-Мессояхское), однако из-за отсутствия технологий и транспортно-промышленной автономии местности разработка залежей нефти притормозилась. Благодаря программе комплексного освоения месторождений Ямало-Ненецкого автономного округа и севера Красноярского края, проводимой Минэнерго России, проекту «Мессояхи» дан новый импульс. Недавно разработана концепция развития Восточно-Мессояхского месторождения, а также спроектированы ключевые объекты инфраструктуры. В связи с необходимостью введения новых объемов добычи нефти и газа значимость разработки подобных месторождений существенно возрастает.

Программа инновационного развития ПАО «Транснефть» на период 2022–2026 годов предполагает:

- проведение высокоточного лазерного сканирования;
- разработку алгоритмов расчета морозного пучения грунтов;
- проведение геологических обследований и сейсмического микрорайонирования площадок магистральных задвижек;
- разработку импортозамещающего оборудования и ПО.

Так как в России идет освоение арктических зон, которое сопровождается строительством новых капитальных объектов, вдобавок к этому мониторинг производится на уже эксплуатируемых сооружениях, можно объективно говорить об актуальности проведения геодезического мониторинга на объектах нефтегазовой промышленности, в частности трубопроводов [10–12].

Цель работы: отразить повышение эффективности проведения работ по геодезическому мониторингу трубопроводов в арктических районах.

Материал и методы исследований

На основании требуемой точности по ГОСТ 24846-2012 наиболее подходящий метод определения деформации — это геометрическое нивелирование. Но есть объективная специфика выполнения работ на линейных объектах Крайнего Севера. Использование цифровых и оптических приборов при сильном ветре, высокой влажности, плохой видимости, метелях и высокой солнечной активности запрещено. Так как данные работы выполняются сравнительно долго, то такие условия могут привести к длительным простоям.

Например, для установки штатива на заболоченных моховых участках арктической тундры металлические костыли забиваются в мерзлоту на глубину от 10 до 30 см, а после проведения измерений их необходимо извлечь для дальнейшего использования.

Также при геометрическом нивелировании линейных трубопроводов существует весомое значение накапливаемой ошибки (прямо пропорционально длине измеряемого линейного объекта). Расстояние между исходными узловыми точками, имеющими известные значения планово-высотного положения в заданной системе координат, в условиях арктического климата в нивелирном ходе сравнительно больше, нежели в южных широтах, следовательно, и накапливаемая ошибка кратно возрастает [14, 15].

На рисунке 1 изображена схема мониторинга деформации трубопровода методом геометрического нивелирования из середины. Красными окружностями обозначены пункты

с известной высотой, зелеными — узловые точки нивелирного хода, на которые ставится нивелирная рейка.



Рис. 1. Мониторинг трубопровода методом геометрического нивелирования
Fig. 1. Pipeline monitoring using geometric leveling method

На рейку наводятся сеткой нити нивелира и берется отсчет на заднюю и переднюю рейки, результат высчитывают по формуле

$$h = a - b, (1)$$

где h — превышение;

a — отсчет по задней рейке;

b — отсчет по передней рейке.

А затем, зная высоту задней точки в нужной системе координат, можем вычислить высоту передней точки (в конечном счете — высоту деформационной марки) по формуле

$$H_B = H_A + h, (2)$$

где H_B — высота передней точки;

H_A — высота задней точки.

В настоящее время в геодезии и картографии применяются беспилотные летательные аппараты с системой лазерного сканирования.

ЛИДАР представляет собой сенсор, который использует лазерный луч для обнаружения и измерения расстояния до объектов в пространстве. Этот инструмент используется для создания детальных и точных трехмерных моделей поверхностей, что находит применение в таких областях, как геодезия, метеорология, а также в разработке систем управления для беспилотных транспортных средств [17–20].

Основная идея лазерного сканирования заключается в измерении времени, необходимого для того, чтобы лазерный луч прошел путь до цели и вернулся обратно к приемнику. Расстояние вычисляется путем умножения скорости света на время. ЛИДАР может генерировать до миллиона импульсов в секунду, используя разнообразные типы лазеров. Полученные данные преобразуются в трехмерную визуализацию, называемую облаком точек, которое представляет собой детальное изображение объектов в окружающей среде.

При изучении максимально допустимых значений и точности определения высотного положения деформационных марок фундаментных конструкций на болотистой тундре возникает вопрос о целесообразности достижения точности измерений в 2 миллиметра (согласно ГОСТ 24846-2012) для обнаружения деформаций, превышающих 100 миллиметров. Неравномерность сезонного пучения вызывает формирование плоских и плоско-выпуклых бугров высотой в среднем 0,3–1,0 м и диаметром 0,5–3,0 м, сложенных льдистыми суглинками, супесями, торфом [6, 13].

ГОСТ 24846-2012 требует доработки с учетом условий значительных деформаций и прогресса в научно-технической сфере геодезии и маркшейдерии, развития систем ГНСС, значительного скачка в области беспилотных летательных аппаратов и их совмещения.

Результаты исследований

Допуская увеличение погрешности в 10 раз, использование метода лазерного сканирования с применением БПЛА не только сокращает расходы по сравнению с традиционными геодезическими методами, но и способствует повышению эффективности. Имея дополнительную информацию о самом трубопроводе в виде облака точек (рис. 2), фото и видео материалов, можно провести глубокий анализ состояния трубопровода и принять в соответствии с этой информацией правильные решения. Тогда как при традиционных способах есть вариант повторного выезда бригады в поле в случае возникновения ошибок или нестыковок, что повлечет за собой дополнительные временные и финансовые издержки.

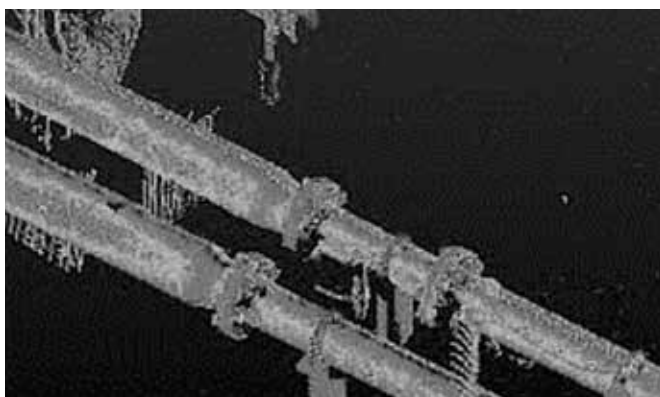


Рис. 2. Облако точек нефтепровода
Fig. 2. Oil pipeline point cloud

Предлагаемый принцип работы с БПЛА:

1. Работы будут проводиться в относительном режиме измерений — РРК, который предполагает использование помимо приемника, который находится на борту БПЛА, называемого ровером, еще одного приемника, стоящего и записывающего спутниковые измерения на точке с известными координатами (репере или ГГС) с одинаковой частотой (не длительнее одной секунды), называемого базой.

2. В план полета БПЛА задаются параметры полета (высота, траектория) в зависимости от требуемой плотности облака точек.

3. Производится запуск БПЛА с точки начала полета. Аппарат летит с заданными ему параметрами вдоль обследуемой трассы и записывает траекторию своего движения и метки, в которых он делает лазерное сканирование сенсором LIDAR.

4. В зависимости от запросов БПЛА может пролетать в двух направлениях: вдоль трубопровода для создания трехмерной модели или лететь в одном направлении (рис. 3), где оператор будет ожидать его в конце заданного маршрута полета. Параллельно сканированию БПЛА способен делать аэрофотосъемку, на основании которой можно получить информацию о разливах нефти, состоянии трубопровода на разных участках, попытках кражи нефти, различных подкопах, рвах и т. д.

5. После посадки оператор скачивает полученную информацию из памяти БПЛА: измерения LIDAR, файлы спутни-

ковых измерений, фотографии и др. Также необходимо скачать файлы статических измерений с базового приемника, который ставили на точке с известными координатами. Впоследствии оператор может синхронизировать траекторию полета, на которой обозначены метки, записанные в момент сканирования, фотографирования и данные спутниковых измерений с беспилотника и базы. Во время обработки становятся доступными координаты всех меток в виде достаточно плотного облака точек в заданной системе координат. На основании данных материалов получаем огромное количество избыточной информации как в разрезе геодезического мониторинга, так и в разрезе мониторинга трубопровода.

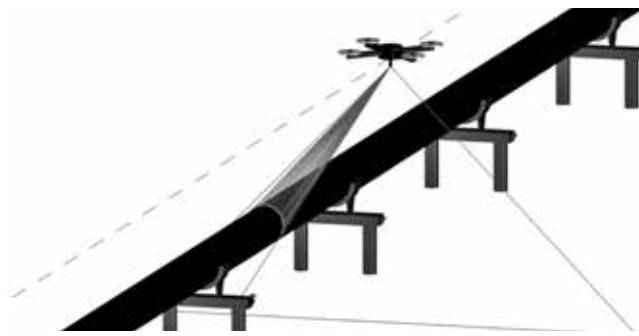


Рис. 3. Мониторинг трубопровода с применением беспилотного летательного аппарата
Fig. 3. Pipeline monitoring using UAVs

6. Если необходимо упростить задачу геодезического мониторинга до получения информации для сравнительной статистики по временным промежуткам, существует возможность с помощью полученного облака точек снять нужные отметки и раз в заданный промежуток времени сравнивать их отклонение от прошлого значения, например углы опор трубопровода (рис. 3). Существует также вариант сравнения отклонений целых моделей трубопроводов.

7. Если где-то была обнаружена деформация, которая не удовлетворяет требованиям, необходимо локально провести измерения координат деформационных марок традиционными методами, что будет в разы менее затратным, чем проводить измерения всей длины трубопровода. Также на каждой узловой точке необходимо устройство основания для устойчивого положения штатива, большое количество дополнительных данных для мониторинга самого трубопровода и рядом лежащих к нему объектов или почвы.

Схема деформированного трубопровода приведена на рисунке 4.

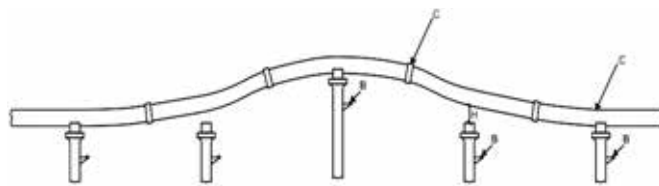


Рис. 4. Схема деформированного трубопровода: В – деформационные марки; С – характерные точки изгиба трубопровода; Н – высота
Fig. 4. Diagram of a deformed pipeline: В – deformation marks; С – characteristic bending points of the pipeline; Н – height

Недостаток получения данных способом геометрического нивелирования заключается в том, что отметку можно получить только в точке В. Но бывают ситуации, когда грунт выпучивается и поднимает одну опору, соседние же опоры

остаются на месте, в результате чего трубопровод висит над ростверками (высота Н). В этом случае нагрузка не распределяется на соседние опоры и возникает опасная ситуация несмотря на то, что они находятся в допусках.

Использование системы с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) при такой опасной ситуации позволяет получить облако точек трубопровода, исходя из которого появляется возможность увидеть характерные точки изгиба (точки С) и в соответствии с этими данными принять правильное решение.

Преимущества методов с использованием беспилотных летательных аппаратов по сравнению с традиционными методами:

- возможность более частого проведения мониторинга;
- меньшие финансовые затраты;
- более быстрое получение выходных данных;
- предотвращение различных диверсий;
- экологичность (транспортировка оборудования и бригады, работающей традиционными методами, будет наносить ущерб почвенно-растительному слою и загрязнять атмосферу).

Используя аппроксимационно-математическую обработку координат точек, возможно получить объемную модель, погрешность которой будет меньше, чем погрешность отдельно взятой измеренной точки в целом. Теория, по которой строится модель, основывается на знании о том, что трубопровод является цельной и единой конструкцией, соответственно, можно отсеять скачки координат, выходящие за пределы двух сигм нормального распределения [7–9].

На рисунке 5 представлен продольный разрез трубопровода, серым цветом обозначена погрешность облака точек, черным пунктиром — линия положения трубопровода с доверительной вероятностью 95 %, основанная на средней квадратической погрешности отклонения координат точек облака. Черная линия соответствует реальному положению нижней части трубопровода.

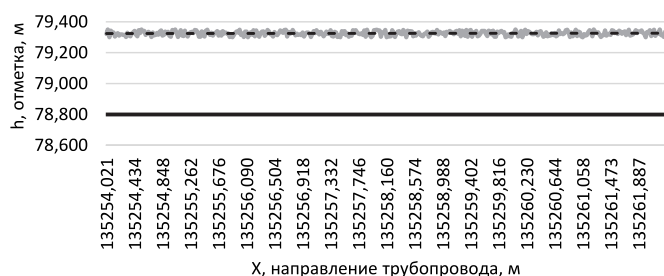


Рис. 5. График зависимости направления трубопровода от высотной отметки

Fig. 5. Graph of the dependence of the pipeline direction on the elevation

На рисунке 6 схематично изображен поперечный разрез трубопровода. Черным цветом представлены проекции измеренных точек на плоскость поперечного разреза за определенный интервал, длина которого зависит от искривления трубопровода на данном участке. Красным цветом изображен разрез вычисленной аппроксимированной математической модели. Стоит подметить, что разброс облака точек намеренно искажен для наглядности.

Усредненные значения технических характеристик БПЛА:

- продолжительность полета — до 60 минут;
- точность определения координат точек — от 3 до 5 сантиметров;

- рабочая температура — до минус 30 градусов Цельсия;
- максимально допустимая скорость ветра — до 18 метров в секунду;
- крейсерская скорость — до 55 километров в час.



Рис. 6. Поперечный разрез трубопровода, представленный облаком точек
Fig. 6. Cross-section of a pipeline represented by a point cloud

Но помимо преимуществ, существует ряд рисков, которые могут помешать процессу измерений деформаций трубопроводов:

- использование БПЛА может создавать помехи для работы радиооборудования, что приведет к погрешностям в полученной информации;
- риск столкновения с препятствиями или авария, что может нанести ущерб окружающей среде или людям;
- возникновение технических проблем, связанных с аккумулятором или программным обеспечением, может повлиять на качество мониторинга;
- некорректное произведение измерения, например, при сильном ветре или снежной погоде.

Для снижения вероятности проявления данных рисков предлагается проведение следующих мероприятий:

- обучение персонала по работе с БПЛА и правилам безопасности;
- использование системы автоматического управления полетом, чтобы снизить вероятность аварий;
- регулярное проведение технического обслуживания БПЛА и обновление программного обеспечения;
- минимизация использования БПЛА в районах с высокой плотностью препятствий или в условиях сильного ветра.

Заключение

По результатам анализа существующих решений геодезического мониторинга надземных трубопроводов в тундровой зоне выявлены недостатки классических методов:

- для установки штатива в неподвижное положение в мерзлый грунт необходимо вбивать металлические колышки;
- выполнение работы цифровыми и оптическими приборами в сложных погодных условиях (в том числе ночью) запрещено, так как данные работы выполняются сравнительно долго, то такие условия могут привести к длительным простоям.

Также рассмотрена возможность применения беспилотных летательных аппаратов с системами лазерного сканирования (ЛИДАР) в условиях Арктики и выявлен ряд преимуществ:

- минимальное количество людей в одной бригаде (2–3 человека);
- высокая скорость выполнения полевых работ;

— низкое значение человеческого фактора при выполнении работ за счет автономного режима работы беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Результаты исследований могут быть полезными при проведении мероприятий по геотехническому мониторингу надземных трубопроводов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ / REFERENCES

1. Елизаров АС, Курчатова АН. Мониторинг надземных трубопроводов с помощью глобальных навигационных спутниковых систем. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. 2020;25(1):28–42. [Elizarov AS, Kurchatov AN. Monitoring of aboveground pipelines using global navigation satellite systems. *Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*. 2020;25(1):28–42 (In Russ.)]. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-1-28-42.
2. Биндер ИО, Мурзинцев ПП. Об учете погрешностей геодезического обеспечения при строительстве, мониторинге и предрасчетах деформаций трубопроводов. *Геодезия и картография*. 2015;(6):13–16. [Binder IO, Murzintsev PP. On accounting for errors in geodetic support during construction, monitoring and pre-calculations of pipeline deformations. *Geodesy and cartography*. 2015;(6):13–6 (In Russ.)].
3. Ахмедов БН. Точность определения координат при геодезическом мониторинге. *Маркшейдерия и недропользование*. 2021;4(114):40–44. [Akhmedov BN. Accuracy of determining coordinates during geodetic monitoring. *Surveying and subsoil use*. 2021;4(114):40–4 (In Russ.)].
4. Ермилов АЛ, Гречанов АВ, Щекочихин СА. Мониторинг деформации трубопровода и подвижек грунта на объекте магистральный газопровод «Сахалин – Хабаровск – Владивосток». *Фотон-экспресс*. 2015;5(125):14–17. [Ermirov AL, Grechanov AV, Shchekochikhin SA. Monitoring of pipeline deformation and soil movements at the Sakhalin-Khabarovsk-Vladivostok main gas pipeline facility. *Photon-express*. 2015;5(125):14–7 (In Russ.)].
5. ГОСТ 24846-2012. Грунты. Методы измерения деформаций оснований зданий и сооружений. М.: Стандартинформ, 2013. 20 с. [GOST 24846-2012. Soils. Methods of measuring deformations of foundations of buildings and structures. Moscow, 2013 (In Russ.)].
6. Патент № 2712796 C1 Российская Федерация, МПК G01C 5/00, G01V 3/12, G01K 13/00. Способ определения величины и направления деформации, наружной составляющей бугров пучения вечной мерзлоты: № 2019113686; заявл. 30.04.2019; опубл. 31.01.2020. П. П. Мурзинцев, И. О. Биндер, А. С. Репин; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Сибирский государственный университет геосистем и технологий». [Patent No. 2712796 C1 Russian Federation, IPC G01C 5/00, G01V 3/12, G01K 13/00. Method for determining the magnitude and direction of deformation, the outer component of the permafrost heaving mounds: No. 2019113686: application 30.04.2019: publ. 31.01.2020 / P. P. Murzintsev, I. O. Binder, A. S. Repin; applicant Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Siberian State University of Geosystems and Technologies" (In Russ.)].
7. Мурзинцев ПП, Гринь ГА. Геодезический мониторинг подводных переходов магистральных газопроводов. *Гео-Сибирь*. 2006;1(1):133–136. [Murzintsev PP, Grin GA. Geodesic monitoring of underwater crossings of main gas pipelines. *Geo-Siberia*. 2006;1(1):133–6 (In Russ.)].
8. Исламов РР. Совершенствование системы мониторинга технического состояния протяженных участков магистральных нефтегазопроводов применением волоконно-оптических сенсоров деформации: дис. ... канд. техн. наук. Ухта, 2018. 168 с. [Islamov RR. Improvement of the system for monitoring the technical condition of extended sections of main oil and gas pipelines using fiber-optic strain sensors: specialty 25.00.19 "Construction and operation of oil and gas pipelines, bases and storages": dissertation for the degree of candidate of Technical Sciences. Ukhta, 2018 (In Russ.)].
9. Мурзаханов ГХ, Шугорев ВН. Методы оценки конструкционной прочности трубопроводов: учебное пособие по курсам «Конструкционная прочность», «Динамика и прочность машин» для студентов, обучающихся по направлениям «прикладная механика» и «энергомашиностроение»; под ред. В. П. Чиркова; М-во образования и науки Российской Федерации, Федеральное агентство по образованию, Московский энергетический ин-т (технический ун-т) (МЭИ). М.: Изд. дом МЭИ, 2009. 70 с. [Murzakhanov GN, Shchugorev VN. Methods for assessing the structural strength of pipelines: a textbook on the courses «Structural strength», «Dynamics and strength of machines» for students studying in the fields of «Applied Mechanics» and «Power engineering». Edited by V. P. Chirkov; Ministry of Education and Science of the Russian Federation, Federal Agency for Education, Moscow Power Engineering Institute (Technical University) (MEI). Moscow: Publishing House of MEI, 2009 (In Russ.)].
10. Уваров АИ, Пронина ЛА. Исследование технологий геодезического мониторинга деформаций дна в зоне расположения подводных переходов магистральных трубопроводов. *Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий)*. 2020;25(3):107–116. [Uvarov AI, Pronina LA. Investigation of technologies for geodetic monitoring of bottom deformations in the area of underwater crossings of main pipelines. *Bulletin of SGUGiT (Siberian State University of Geosystems and Technologies)*. 2020;25(3):107–16. (In Russ.)]. DOI: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-107-116.
11. Рылько НМ. Анализ современных методов мониторинга магистральных трубопроводов. *Молодой ученый*. 2022; 51(446):59–60. [Rylko NM. Analysis of modern methods of monitoring main pipelines. *Young scientist*. 2022;51(446):59–60 (In Russ.)].
12. Шац ММ, Нерадовский ЛГ. Проблемы контроля состояния и надежности нефтепровода «Восточная Сибирь – Тихий океан» на стадии эксплуатации. *Маркшейдерия и недропользование*. 2020;4(108):3–11. [Schatz MM, Neradovsky LG. Problems of monitoring the condition and reliability of the Eastern Siberia - Pacific Ocean oil pipeline at the stage of operation. *Surveying and subsoil use*. 2020;4(108):3–11 (In Russ.)].
13. СП 25.13330.2012. Основания и фундаменты на вечномерзлых грунтах. Актуализированная редакция СНиП 2.02.04-88. М.: Стандартинформ, 2013. 132 с. [SP 25.13330.2012. Foundations and foundations on permafrost soils. Updated version of the SNiP 2.02.04-88. Moscow, 2013 (In Russ.)].

14. Streletskiy DA, Shiklomanov NI, Hatleberg E. Infrastructure and a Changing Climate in the Russian Arctic: A Geographic Impact Assessment. *Proceedings of the 10th International Conference on Permafrost*. 2012;(1):407-12.
15. Шац ММ, Соловьев ВС. Дистанционный мониторинг геоэкологической обстановки Севера. Учебное пособие. Якутск: Изд-во Ин-та мерзлотоведения СО РАН, 2002. 63 с. [Shats MM, Solovyov VS. Remote monitoring of the geoecological situation in the North. Study guide. Yakutsk: Publishing House of the Institute of Permafrost Studies SB RAS, 2002].
16. ГОСТ 25358-2012. Грунты. Методы полевого определения температуры. М.: Стандартинформ, 2013. 12 с. [GOST 25358-2012. Soils. Methods of field temperature determination. Moscow, 2013 (In Russ.)].
17. Антонович КМ. Использование спутниковых радионавигационных систем в геодезии: Т. 1. М.: Картеоцентр, 2005. 334 с. [Antonovich KM. The use of satellite radio navigation systems in geodesy. Moscow, 2005 (In Russ.)].
18. Кравчук ИМ. Особенности вычисления нормальных высот по результатам спутниковых измерений. *Геодезия и аэрофотосъемка*. 2010;(4):35-40. [Kravchuk IM. Features of calculating normal heights based on the results of satellite measurements. *Geodesy and aerial photography*. 2010;(4):35-40 (In Russ.)].
19. Генике АА, Побединский ГГ. Глобальные спутниковые системы определения местоположения и их применение в геодезии. М.: Картеоцентр, 2004. 355 с. [Genike AA, Pobedinsky GG. Global satellite positioning systems and their application in geodesy. Moscow, 2004 (In Russ.)].
20. ГКИНП-01-271-03. Руководство по созданию и реконструкции городских геодезических сетей с использованием спутниковых систем ГЛОНАСС, GPS [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200037141> (дата обращения: 27.09.2024). [GKINP-01-271-03. Guidelines for the creation and reconstruction of urban geodetic networks using GLONASS and GPS satellite systems. Available from: <https://docs.cntd.ru/document/1200037141> (In Russ.)].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Роман Евгеньевич Левитин —

канд. техн. наук, доцент, Центр проектного обучения, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия, <http://orcid.org/0000-0002-6883-4613>, Scopus Author ID: 57189071614, e-mail: 746636@mail.ru

Станислав Евгеньевич Аксенов —

студент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия, e-mail: aksenovse03@gmail.com

Никита Станиславович Ульянкин —

студент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия, e-mail: nulyankin22@gmail.com

Антон Павлович Терешонок —

студент, ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет», г. Тюмень, Россия, e-mail: antontereshonok1975@mail.ru

Критерии авторства / Contribution:

Авторы заявляют о равном вкладе каждого в работу над статьей / The authors declare the equal contribution of everyone to the work on the article.

Конфликт интересов / Conflict of interest:

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interest.

ABOUT THE AUTHORS

Roman E. Levitin —

Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Project Training Center, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation, <http://orcid.org/0000-0002-6883-4613>, Scopus Author ID: 57189071614, e-mail: 746636@mail.ru

Stanislav E. Aksenov —

student, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation, e-mail: aksenovse03@gmail.com

Nikita S. Ulyankin —

student, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation, e-mail: nulyankin22@gmail.com

Anton P. Tereshonok —

student, Tyumen Industrial University, Tyumen, Russian Federation, e-mail: antontereshonok1975@mail.ru