

УДК 528.71+[528.236:621.643/.644]  
DOI 10.33764/2411-1759-2023-28-1-70-79

## Использование космических изображений для калибровки системы линейных координат при геопространственном моделировании трубопроводов

К. Г. Баринова<sup>1</sup>, Д. В. Долгополов<sup>2</sup>, В. А. Мелкий<sup>3\*</sup>, А. А. Верхотуров<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Университет Иннополис, г. Иннополис, Республика Татарстан, Российская Федерация

<sup>2</sup> ЗАО «Ай Кобы», г. Москва, Российская Федерация

<sup>3</sup> Институт морской геологии и геофизики Дальневосточного отделения Российской академии наук, г. Южно-Сахалинск, Российская Федерация

\* e-mail: vamelkiy@mail.ru

**Аннотация.** В статье рассматривается методика геопространственного моделирования трубопроводных систем на основе совместного использования системы линейных координат (СЛК) и данных космической съемки, которые целесообразно применять для калибровки СЛК. Рассмотрены особенности применения космических изображений для определения планового положения объектов трубопровода, которые могут выступать в качестве калибровочных точек. Методика геопространственного моделирования трубопроводных систем с применением СЛК ориентирована на использование данных, получаемых в процессе внутритрубной диагностики (ВТД), при формировании и актуализации геопространственных моделей трубопроводных систем. Предлагаемая методика позволяет своевременно обнаружить дефекты трубопровода средствами ВТД и выполнить их локализацию в геоинформационном пространстве с использованием СЛК. Космические изображения используют для увеличения количества калибровочных точек и уточнения их положения в пространстве, что позволяет существенно увеличить точность положения дефектов в пространстве. Новизна работы заключается в уточнении геопозиционирования объектов инфраструктуры трубопроводов и дефектов, обнаруженных при внутритрубной диагностике, путем использования систем линейных координат в совокупности с космическими изображениями, что не предлагалось в работах по данной тематике, опубликованных ранее.

**Ключевые слова:** космические изображения, система линейных координат, геопространственное моделирование, геоинформационные технологии, внутритрубная диагностика, трубопровод, дефекты трубопровода

### Введение

Значительное увеличение объемов и типов пространственных данных, используемых при моделировании линейных объектов большой протяженности и природно-техногенных комплексов, расположенных на больших территориях, зачастую в районах развития опасных природных явлений и процессов, подверженных риску возникновения аварийных ситуаций, предопределяет потребность создания комплексных геоинформационных систем (ГИС), чем обусловлена особая актуальность их постоянного развития и совершенствования [1–7].

Система трубопроводного транспорта нефтегазового комплекса Российской Федерации остро нуждается в формировании геоинформационных моделей [8], опирающихся на совокупность цифровой картографической инфор-

мации, эксплуатационной документации и данных иных источников [7]. Анализ ситуации при помощи моделирования способствует повышению обоснованности и снижению временных затрат при принятии управленческих решений. Безопасная эксплуатация природно-техногенного комплекса подразумевает непрерывный мониторинг технического состояния и своевременную актуализацию данных его составных частей [3, 9].

Для поддержания актуального состояния геоинформационных систем и повышения качества пространственных данных необходимо определение точного положения линейной части трубопровода и объектов его инфраструктуры [7, 10, 11]. Информация о позиционировании объектов может быть получена из различных источников, обеспечивающих не одинаковую точность: снимки, полученные с космических спутников и при

выполнении аэрофотосъемок, результаты топографической съемки. Следует учитывать, что получение данных из названных источников сопровождается определенными сложностями: использование цифровой аэрофотосъемки (ЦАФС) сопряжено со значительными финансовыми затратами, использование топосъемки затруднено большой протяженностью трубопровода, а нередко и труднодоступностью объектов его инфраструктуры.

В целях снижения экономических затрат целесообразно применить методику увеличения точности пространственного положения объектов инфраструктуры трубопроводов, основанной на использовании данных космической съемки свободного доступа, результатов внутритрубной диагностики и инструментария современных геоинформационных систем.

Новизна работы заключается в методе, основанном на построении геопространственной модели средствами геоинформационных систем, в том числе при помощи инструментов работы с СЛК, и уточнении геопространственной модели путем калибровки и развития системы линейных координат трубопровода с использованием космических изображений, что не предлагалось в работах по данной тематике, опубликованных ранее.

Использование корпоративных геоинформационных систем в нефтегазовой отрасли является стандартом при осуществлении эксплуатации предприятия. В то же время качество принимаемых решений напрямую зависит от точности картографических данных. В этой связи особенно актуальными становятся методики, позволяющие оперативно и с минимальными финансовыми затратами построить или обновить пространственные данные в ГИС. Одной из таких методик является использование космической съемки для развития системы линейных координат.

### ***Применение космических снимков***

Применение данных дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) для формирования ком-

плексного геоинформационного пространства инфраструктуры трубопровода подразумевает высокую информативность материалов аэрокосмических съемок [12]. Однако визуальное дешифрирование космических изображений может быть осложнено недостаточным качеством материала и низким пространственным разрешением. Распознавание определенных типов оборудования и его характеристик затрудняется большой протяженностью трубопроводного транспорта и, следовательно, большим объемом обрабатываемой информации.

Применение возможностей современных геоинформационных систем, в частности инструментов построения систем линейных координат (СЛК) [13–16], позволяет уменьшить объем обработки данных путем автоматизации создания векторных объектов вдоль трассы трубопровода.

В качестве источников для выбора космических снимков могут быть использованы интернет-ресурсы United States Geological Survey (USGS), Copernicus (European Space Agency, ESA), Центра коллективного пользования ИКИ РАН «ИКИ-Мониторинг» и другие [17–19]. Как правило, территории расположения трубопроводов хорошо обеспечены данными съемок, выполненных со спутника Landsat-8 с разрешением от 15 до 100 м на пиксель.

### ***Применение систем линейных координат***

Задача создания пространственных данных, имеющих линейную координату, может решаться с помощью инструмента ArcGIS Pipeline Referencing (ESRI) [20, 21].

Объекты, расположенные на известном расстоянии по трассе трубопровода, могут быть построены в определенной позиции в системе линейных координат. Информация о позиционировании объекта вдоль трубы может быть получена из отчетов внутритрубной диагностики и эксплуатационной документации. Однако построенные объекты-события, построенные и использованием СЛК, могут иметь значительные отклонения от местоположения аналогичного объекта, полученного при дешифрировании на аэрокосмическом изображении.

Повышение точности измерений в системе линейных координат геоинформационной модели возможно путем увеличения количества калибровочных точек с последующим уточнением их положения по материалам ДЗЗ. Предлагаемая методика основана на постепенном наращивании количества калибровочных точек, причем каждая последующая итерация повышает точность пространственного положения объектов трубопровода и событий на трассе.

В качестве калибровочных точек предполагается использование объектов, визуальное

дешифрирование которых является тривиальной задачей: камер пуска и приема средств очистки и диагностики (КПП СОД), запорной арматуры (ЗА), пересечений трубопровода с автомобильными и железными дорогами [10] (рис. 1). Стоит отметить, что использование пересечений с водотоками и неасфальтированных переездов через магистральный трубопровод нецелесообразно на данном этапе, поскольку такие объекты не являются строго зафиксированными на местности и могут менять свое пространственное положение в силу антропогенных и естественных причин.



Рис. 1. Дешифрирование калибровочных точек на космических снимках

### ***Внутритрубная диагностика***

Внутритрубная диагностика является основным инструментом диагностики состояния трубопровода [22]. Объекты, исследуемые методом ВТД: запорная арматура, вантузы, сварные швы, отводы, тройники, вставки, гофры, муфты, подводные переходы, переходы через автомобильные и железные трубопроводы, дефекты (вмятины, трещины, потеря металла).

Внутритрубная диагностика трубопроводов проводится путем ввода снаряда в трубопровод через камеру пуска приема средств

очистки и диагностики. Работа диагностической аппаратуры снаряда основана на регистрации параметров внутритрубного пространства путем электрометрических, магнитометрических и ультразвуковых измерений. После извлечения прибора информация о результатах ВТД передается на внешние источники в виде отчета [5, 22].

Погрешность современных приборов ВТД составляет доли сантиметра [23], что является несомненным преимуществом выбора в пользу построения СЛК согласно отчетной документации ВТД.

**Разработка методики  
геопространственного моделирования  
трубопроводных систем с использованием  
данных, получаемых в линейных  
координатах**

Развитие системы линейных координат путем использования космических снимков может быть реализовано при наличии векторного представления оси трубопровода, созданного на основе материалов, источником которого могут являться данные проектной документации или ДЗЗ, а также релевантные данные из отчета внутритрубной диагностики по исследуемому участку. Значение линейных координат калибровочных точек определяет дистанция по трассе участка ВТД.

При разработке методики нами использовалось программное обеспечение ArcGIS Pro с дополнительным модулем ArcGIS Pipeline Referencing, который обеспечивает функциональность, необходимую для работы с систе-

мой линейных координат и ориентированного на работу с объектами трубопроводного транспорта. Для организации хранения геопространственных данных при моделировании трубопроводных систем, событий на трассе и объектов инфраструктуры используют отраслевые модели данных

Методика геопространственного моделирования трубопроводов с использованием СЛК приведена на рис. 2.

Методика позволяет построить геопространственную модель трубопровода и определить по ней положение в пространстве событий и объектов инфраструктуры, данные о положении которых имеются только в линейной системе координат (M). С помощью нее могут быть также вынесены на карту участки с дефектами, определенные в процессе ВТД. При этом производятся преобразования вида:

$$M; H_{BCB} \rightarrow X; Y; Z_{WGS-84} \rightarrow X; Y; Z_{СК-2011} \quad (1)$$



Рис. 2. Методика геопространственного моделирования трубопроводов в ArcGIS Pro с использованием модуля ArcGIS Pipeline Referencing

Переход от одной прямоугольной систем координат к другой выполняют по формуле Гельмерта [24]

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_B = (1+m) \begin{bmatrix} 1 & -\omega_z & \omega_y \\ \omega_z & 1 & -\omega_x \\ -\omega_y & \omega_x & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_A + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Параметры преобразования используются согласно ГОСТ 32453–2013. Межгосударственный стандарт. Глобальная навигационная спутниковая система системы координат. Методы преобразований координат определяемых точек.

Методика предполагает три сценария, причем количество калибровочных точек увеличивается от первого к последнему.

В первом сценарии линейная система координат участков задана камерами пуска и приема средств очистки и диагностики, то есть калибровочными точками являются начало и конец участка внутритрубной диагностики.

Во втором сценарии в качестве калибровочных точек добавлены узлы запорной арматуры трубопровода, положение которых уточнено по космическим снимкам.

Линейная система координат в третьем сценарии включает в себя также пересечения трубопровода с автомобильными и железными дорогами.

В результате обеспечения исследуемых участков линейными системами координат по каждому сценарию должны быть построены события – контрольные точки, линейные координаты которых заданы так же из отчетов ВТД.

В качестве контрольных точек рекомендуется использование узлов запорной арматуры.

Расчет погрешности измерений возможен путем определения отклонений (расстояний) контрольных точек от их истинного положения согласно космическому снимку (контрольное расстояние) (рис. 3).

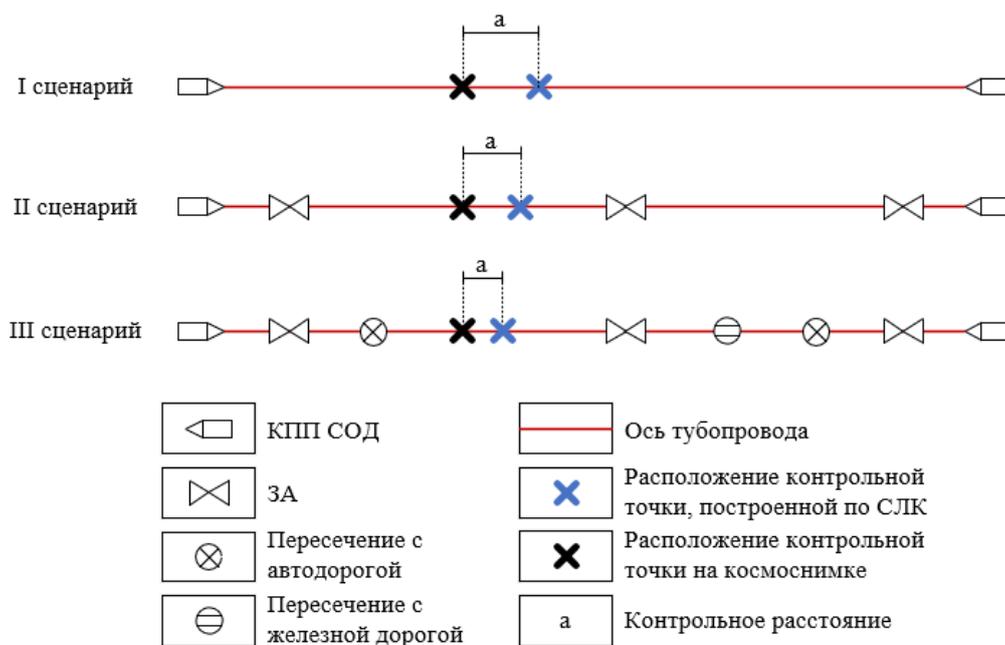


Рис. 3. Схема применения методики для трех сценариев с увеличением количества калибровочных точек

### Обсуждение результатов

В результате минимизации погрешности системы линейных координат становится возможным построение объектов инфраструктуры трубопровода, габариты, расположение или конфигурация которых препятствует их визуальному дешифрированию. К подобным составляющим трубопроводного транспорта относятся вантузы, интеллектуальные вставки,

маркерные пункты, узлы отбора давления, приварные элементы, мелкие водотоки. Точность позиционирования и визуального отображения данных объектов в геоинформационной системе при увеличении количества калибровочных точек повысится.

Пространственное положение указанных объектов позволяет решать разнообразные задачи, целью которых является безопасная эксплуатация трубопроводов нефтегазового

комплекса и иных протяженных сооружений и объектов [25].

Указанная методика также предполагает локализацию вдоль трассы трубопровода дефектов, выявленных в результате внутритрубной диагностики [26]. Точное их позиционирование на данных ДЗЗ позволяет анализировать соответствие дефектов внешним условиям залегания, что может быть использовано для дальнейших предупредительных мероприятий обеспечения надежности функционирования магистральных трубопроводов. К внешним факторам влияния относятся разломы земной коры, заболоченность, оползневые процессы [26, 27]. Космические снимки высокого разрешения в некоторых случаях позволяют определить морфометрические параметры геологических (эрозия, обвал, оврагообразование, заболачивание) и антропогенных (размывы, несанкционированные врезки) процессов [28]. Кроме того, плановое расположение трубопровода и локализация дефектов на космических снимках могут быть использованы для решения задач по оценке объема излившейся нефти, маршрута стекания и площади нефтяного пятна в случае аварийного разлива нефти [29].

Стоит отметить, что общая погрешность измерений будет складываться из погрешно-

сти используемого космического снимка и погрешности измерения приборами ВТД и вычислительной погрешности.

### Заключение

Описанная методика предполагает использование в качестве материалов только результаты внутритрубной диагностики, космических снимков свободного доступа и инструментария ГИС в целях снижения экономических затрат. Основным преимуществом является возможность сокращения объемов и сроков полевых работ, включающих тахеометрическую съемку, аэрофотосъемку, создание на местности геодезической сети, использование которых определяет классический подход к проведению геодезических изысканий [30].

Данная методика решает проблему отсутствия цифровой визуализации результатов мониторинга трубопроводов [12], в том числе позволяет локализовать дефекты трубопровода и осуществить прокладку маршрутов к ним [4]. Применение указанной методики способствует цифровизации предприятий нефтегазовой отрасли путем использования функционала современных ГИС и данных ДЗЗ при анализе результатов внутритрубной диагностики и принятии управленческих решений [4].

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Аврунев Е. И., Гатина Н. В., Козина М. В. Разработка принципов для 3D-моделирования линейных сооружений и инженерной инфраструктуры территориального образования // Вестник СГУГиТ. – 2022. – Т. 27, № 1. – С. 107–115. – DOI 10.33764/2411-1759-2022-27-107-115.
2. Грязнев Д. Ю. Создание и научное обоснование технологии автоматизированного мониторинга магистральных нефтепроводов на оползнеопасных участках : дисс. ... канд. техн. наук. – Уфа : Уфимский государственный нефтяной технический университет, 2016. – 130 с.
3. Долгополов Д. В., Мелкий В. А., Верхотуров А. А. Геоинформационное обеспечение безопасной эксплуатации трубопроводного транспорта [Электронный ресурс] // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2021. – Т. 332, № 12. – С. 52–63. – Режим доступа: <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/12/3028>.
4. Карпик А. П., Мусихин И. А., Ветошкин Д. Н. Интеллектуальные информационные модели территорий как эффективный инструмент пространственного и экономического развития // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 2. – С. 155–163. – DOI: 10.33764/2411-1759-2021-26-155-163.
5. Комиссаров А. В., Радченко Л. К. Геоинформационная модель мониторинга технического состояния трубопроводов нефтегазового комплекса // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 44–48.
6. Марков Н. Г. Геоинформационные системы предприятий нефтегазовой отрасли: функциональность, архитектура и перспективы развития // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2017. – Т. 328, № 9. – С. 16–32.
7. Мухаметшин А. М., Распутин А. Н., Попов А. В., Николаенко А. Ю. К вопросу разработки геоинформационных систем (ГИС) для анализа данных о состоянии магистральных газопроводов //

Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2006. – № 8. – С. 116–119.

8. Долгополов Д. В., Аврунев Е. И., Мелкий В. А., Веретельник Д. А., Жидиляева Е. В. Анализ точности исходных данных, используемых при моделировании рельефа и профиля трассы магистральных трубопроводов // Известия Томского политехнического университета. – 2022. – Т. 333, № 4. – С. 168–180. – DOI 10.18799/24131830/2022/4/3454.

9. Жарников В. Б. Рациональное использование земель как задача геоинформационного пространственного анализа // Вестник СГГА. – 2013. – Вып. 3 (23). – С. 77–81.

10. Долгополов Д. В., Никонов Д. В., Полуянова А. В., Мелкий В. А. Возможности визуального дешифрирования магистральных трубопроводов и объектов инфраструктуры по спутниковым изображениям высокого и сверхвысокого пространственного разрешения // Вестник СГУГиТ. – 2019. – Т. 24, № 3. – С. 65–81. – DOI 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81.

11. Терещенко В. Е., Радченко А. В., Мелкий В. А. Глобальная система отсчета и ее локальная реализация – Государственная система координат 2011 года // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 3. – С. 89–106. – DOI 10.33764/2411-1759-2020-25-3-89-106.

12. Бродская И. А. Методика комплексного использования данных аэрокосмического зондирования и ГИС-технологий для мониторинга линейных природно-технических систем : дисс. ... канд. техн. наук. – М. : Московский государственный университет геодезии и картографии, 2009. – 208 с.

13. Что такое системы линейных координат? ArcMap. Сайт ESRI [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/linear-referencing/what-is-linear-referencing.htm> (дата обращения: 01.11.2022).

14. Blazek R. Introducing the linear reference system in GRASS // International Journal of Geoinformatics. – 2005. – Vol. 1, No. 3. – P. 95–100.

15. Curtin K., Arifin R., Nicoara G. A Comprehensive Process for Linear Referencing International Journal of Geoinformatics // URISA Journal. – 2007. – Vol. 19, No 2. – P. 41–50.

16. Scarponcini P. Generalized model for linear referencing in transportation. Geoinformatica. – 2002. – Vol. 6, No. 1. – P. 35–55. – DOI 10.1023/A:1013716130838.

17. Архивы данных [Электронный ресурс] // Сайт Центра Коллективного Пользования (ЦКП) «ИКИ-Мониторинг» отдела Технологий спутникового мониторинга Института космических исследований Российской академии наук. – Режим доступа: <http://smislab.ru/default.aspx?page=483> (дата обращения 08.11.2022).

18. Landsat Missions [Electronic resource] // United States Geological Survey (USGS). – Mode of access: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions> (accessed 08.11.2022).

19. Observing the Earth [Electronic resource] // Copernicus. The European Space Agency (ESA). – Mode of access: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth) (accessed 08.11.2022).

20. Кукало И. А., Гривцов С. Н. Управление рисками физической безопасности линейной части магистрального нефтепровода // Известия Томского политехнического университета. Инжиниринг георесурсов. – 2015. – Т. 326, № 6. – С. 23–33.

21. GIS, Spatial Analysis and Modeling / Eds. D. J. Maguire, M. Batty, M. F Goodchild. – Redlands, California : ESRI Press, 2005. – 480 p.

22. Василевич А. В. Повышение эффективности диагностики технического состояния линейной части магистральных газопроводов : дисс. ... канд. техн. наук. – М. : Науч.-исслед. институт природных газов и газовых технологий, 2008. – 130 с.

23. Методика поверки МП 060.Д4-19. Дефектоскопы магнитные комбинированные: Государственная система обеспечения единства измерений. – М. : Всероссийский НИИ оптико-физических измерений, 2019. – 20 с.

24. Helmert F. R. Mathematical and Physical Theories of Higher Geodesy. Part. 1. – Teubner, Leipzig, 1880. – DOI 10.5281/zenodo.32050.

25. Каргашин П. Е., Новаковский Б. А., Прасолова А. И., Карпачевский А. М. Изучение пространственной конфигурации электросетей по космическим снимкам // Геодезия и картография. – 2016. – № 3. – С. 50–55. – DOI 10.22389/0016-7126-2016-909-3-50-55.

26. Алескерова З. Ш., Пульников С. А., Сысоев Ю. С. Задачи совершенствования технологии гео-технического мониторинга линейной части магистральных газопроводов в условиях Севера // Нефть и газ Западной Сибири : Материалы Международной научно-технической конференции, посвященной 90-летию со дня рождения Косухина А. Н. Том. III. Проектирование, сооружение и эксплуатация си-

стем транспорта и хранения нефти и газа. Автомобильно-дорожные проблемы нефтегазового комплекса. – Тюмень : Тюменский государственный нефтегазовый университет, 2015. – С. 11–15.

27. Плотников П. К., Рамзаев А. П., Коршунов Д. В., Синев А. И., Морозов А. К., Никишин В. Б. Применение внутритрубных диагностических снарядов и навигационно-топографических комплексов для повышения безопасности магистральных трубопроводов // Безопасность труда в промышленности. – 2003. – № 4. – С. 28–32.

28. Чихарев В. А. Использование геоинформационных технологий при проведении геотехнического мониторинга трубопроводного транспорта // Трубопроводный транспорт: теория и практика. – 2012. – № 4. – С. 4–6.

29. Павлов С. В., Сайфутдинова Г. М., Бахтизин Р. Н. Геоинформационные методы описания магистральных трубопроводов и аварийных разливов нефти // Геоинформационные технологии в проектировании и создании корпоративных информационных систем. – Уфа : Уфимский государственный авиационный технический университет, 2007. – С. 97–104.

30. Антропова Н. А. Геодезическое позиционирование магистральных нефтегазопроводов – основа создания современных геоинформационных систем // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). – 2013. – №. 4 (1). – С. 281–284.

### Об авторах

*Карина Гарриевна Барина* – специалист геоинформационных систем.

*Даниил Валентинович Долгополов* – кандидат технических наук, начальник отдела управления проектами.

*Вячеслав Анатольевич Мелкий* – доктор технических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории вулканологии и вулканопасности.

*Алексей Александрович Верхотуров* – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Центра коллективного пользования.

Получено 12.11.2022

© К. Г. Барина, Д. В. Долгополов, В. А. Мелкий, А. А. Верхотуров, 2023

### Using space images for calibration linear referencing system for geospatial pipeline simulation

*K. G. Barinova<sup>1</sup>, D. V. Dolgopolov<sup>2</sup>, V. A. Melkiy<sup>3\*</sup>, A. A. Verkhoturov<sup>3</sup>*

<sup>1</sup> Innopolis University, Innopolis, Republic Tatarstan, Russian Federation

<sup>2</sup> CJSC "Ay Co", Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Institute of Marine Geology and Geophysics, Far Eastern Branch Russian Academy of Sciences, Yuzhno-Sakhalinsk, Russian Federation

\* e-mail: [vamelkiy@mail.ru](mailto:vamelkiy@mail.ru)

**Abstract.** The technique of geospatial modeling of pipeline systems, which is discussed in the article, is designed to use satellite survey data for calibration of a linear referencing system (LRS). It is proposed to use satellite images to determine the planned position of pipeline objects, which can act as calibration points. The article considers the features of using space images to determine the planned position of pipeline objects that can act as calibration points are considered. The technique of geospatial modeling of pipeline systems based on the use of LRS is based on the data of in-line inspections (ILI) in the formation and updating of geospatial models of pipeline systems. The use of such a technique makes it possible to independently detect pipeline defects by means of ILI and perform their localization in the geoinformation space with the help of LRS. The use of space-based images to increase the calibration points of the LRS makes it possible to significantly increase the accuracy of the position of defects in space. The novelty of the work lies in the refinement of the geopositioning of pipeline infrastructure objects by using linear coordinate systems in conjunction with space images, which was not proposed in previously published papers on this topic.

**Keywords:** space images, linear referencing system, geospatial modeling, geoinformation technologies, in-line diagnostics, pipeline, pipeline defects

## REFERENCES

1. Avrunev, E. I., Gatina, N. V., & Kozina, M. V. (2022). Development of principles for 3D modeling of linear structures and engineering infrastructure of a territorial entity. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 27(1), 107–115. doi: 10.33764/2411-1759-2022-27-107-115 [in Russian].
2. Gryaznev, D. Yu. (2016). Creation and scientific substantiation of the technology of automated monitoring of oil trunk pipelines in landslide-prone areas. *Candidate's thesis*. Ufa: Ufa State Petroleum Technical University, 130 p. [in Russian].
3. Dolgoplov, D. V., Melkiy, V. A., & Verkhotur, A. A. (2021). Geoinformation support for safe operation of pipeline transport. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 332(12), 52–63. Retrieved from <https://doi.org/10.18799/24131830/2021/12/3028> [in Russian].
4. Karpik, A. P., Musikhin, I. A., & Vetoshkin, D. N. (2021). Smart information models as an effective tool of regional spatial and economic development. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(2), 155–163. doi: 10.33764/2411-1759-2021-26-155-163 [in Russian].
5. Komissarov, A. V., & Radchenko, L. K. (2014). Geoinformation model of oil and gas pipe-line technical state monitoring. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2014: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 2. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2014: International Scientific Conference: Vol. 2. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 44–48). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
6. Markov, N. G. (2017). Geoinformation systems for oil and gas enterprises: functionality, architecture and development prospects. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 328(9), 16–32 [in Russian].
7. Mukhametshin, A. M., Rasputin, A. N., Popov, A. V., & Nikolaenko, A. Yu. (2006). On the development of geoinformation systems (GIS) for analyzing data on the state of main gas pipelines. *Gornyy informatsionno-analiticheskij byulleten' (nauchno-tekhnicheskij zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]*, 8, 116–119 [in Russian].
8. Dolgoplov, D. V., Avrunev, E. I., Melkiy, V. A., Veretelnik, D. A., & Zhidilyaeva, E. V. (2022). Analysis of accuracy of initial data used in modeling relief and profile of the main pipelines route. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 333(4), 168–180. Retrieved from <https://doi.org/10.18799/24131830/2022/4/3454> [in Russian].
9. Zharnikov, V. B. (2013). Rational use of land as a task of geoinformation spatial analysis. *Vestnik SSGA [Vestnik SSUGT]*, 3(23), 77–81 [in Russian].
10. Dolgoplov, D. V., Nikonov, D. V., Poluyanov, A. V., & Melkiy, V. A. (2019). Possibilities of visual interpretation of trunk pipelines and infrastructure facilities using satellite images of high and ultra-high spatial resolution. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 24(3), 65–81. doi: 10.33764/2411-1759-2019-24-3-65-81 [in Russian].
11. Tereshchenko, V. E., Radchenko, A. V., & Melkiy, V. A. (2020). Global reference system and its local implementation - State coordinate system of 2011. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 25(3), 89–106. doi: 10.33764/2411-1759-2020-25-3-89-106 [in Russian].
12. Brodskaya, I. A. (2009). Methodology of integrated use of aerospace sensing data and GIS technologies for monitoring linear natural and technical systems. *Candidate's thesis*. Moscow: Moscow State University of Geodesy and Cartography Publ., 208 p. [in Russian].
13. What is linear referencing? ArcMap. ESRI. (n. d.). Retrieved from: <https://desktop.arcgis.com/ru/arcmap/latest/manage-data/linear-referencing/what-is-linear-referencing.htm> (accessed 07 November, 2022).
14. Blazek, R. (2005). Introducing the linear reference system in GRASS. *International Journal of Geoinformatics*, 1(3), 95–100.
15. Curtin, K., Nicoara, G., Arifin, R. (2007). A Comprehensive Process for Linear Referencing. *URISA Journal*, 19(2), 41–50.
16. Scarponcini, P. (2002). Generalized model for linear referencing in transportation. *Geoinformatica*, 6(1), 35–55. Retrieved from <https://doi.org/10.1023/A:1013716130838>.
17. Data archives. (n. d.). Website of the Center for Collective Use (CCU) "SRI-Monitoring" of the Department of Satellite Monitoring Technologies of the Space Research Institute of the Russian Academy of Sciences. Retrieved from: <http://smislab.ru/default.aspx?page=483> (accessed 08 November, 2022).

18. Landsat Missions. (n. d.). United United States Geological Survey (USGS). Retrived from: <https://www.usgs.gov/land-resources/nli/landsat/landsat-satellite-missions> (accessed 08 November, 2022).
19. Observing the Earth. (n. d.). Copernicus. European Space Agency (ESA). Retrived from: [https://www.esa.int/Applications/Observing\\_the\\_Earth](https://www.esa.int/Applications/Observing_the_Earth) (accessed 08, November 2022).
20. Kukalo, I., & Grivtsov, S. (2015). Risk management of physical safety of the main oil pipeline linear part. *Izvestiya Tomskogo politekhnicheskogo universiteta. Inzhiniring georesursov [Bulletin of the Tomsk Polytechnic University. Geo Assets Engineering]*, 326(6), 23–33 [in Russian].
21. Maguire, D. J., Batty, M., & Goodchild, M. F. (Eds.). (2005). *GIS, Spatial Analysis and Modeling*. Redlands, California: ESRI Press, 480 p.
22. Vasilevich, A. V. (2008). Improving the efficiency of diagnosing the technical condition of the linear part of the main gas pipelines. *Candidate's thesis*. Moscow: Research Institute of Natural Gases and Gas Technologies Publ., 130 p. [in Russian].
23. The method of verification of MP 060.D4-19. Combined magnetic flaw detectors: The State system for ensuring the Uniformity of Measurements. (2019). Moscow: All-Russian Research Institute of Optical and Physical Measurements Publ., 20 p. [in Russian].
24. Helmert, F. R. (1880). *Mathematical and Physical Theories of Higher Geodesy: Part I*. Teubner, Leipzig. doi:10.5281/zenodo.32050.
25. Kargashin, P. E., Novakovskiy, B. A., Prasolova, A. I., & Karpachevskiy, A. M. (2016). Study of the electrical grid spatial configuration with satellite images. *Geodezia i Kartografiya [Geodesy and Cartography]*, 3, 50–55. doi: 10.22389/0016-7126-2016-909-3-50-55 [in Russian].
26. Aleskerova, Z. Sh., Pul'nikov, S. A., & Sysoev, Yu. S. (2015). Problems of improving the technology of geotechnical monitoring of the linear part of the main gas pipelines in the conditions of the North. In *Sbornik materialov Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu so dnya rozhdeniya Kosukhina A. N.: Neft' i gaz Zapadnoy Sibiri. T. 3. Proektirovanie, sooruzhenie i ekspluatatsiya sistem transporta i khraneniya nefi i gaza. Avtomobil'no-dorozhnye problemy neftegazovogo kompleksa [Proceedings of the International Scientific and Technical Conference Dedicated to 90 Anniversary of the Birth of Kosukhin A. N.: Oil and Gas of Western Siberia: Vol. 3. Design, Construction and Operation of Oil and Gas Transportation and Storage Systems. Automobile and Road Problems of the Oil and Gas Complex]* (pp. 11–15). Tyumen: Tyumen State Oil and Gas University Publ. [in Russian].
27. Plotnikov, P. K., Ramzaev, A. P., Korshunov, D. V., Sinev, A. I., Morozov, A. K., & Nikishin, V. B. (2003). Application of intra-pipe diagnostic units and navigation-topographic complexes for improvement in safety of cross-country pipe-lines. *Bezopasnost' truda v promyshlennosti [Occupational Safety in Industry]*, 4, 28–32 [in Russian].
28. Chikharev, V. A. (2012). Pipeline transport geotechnical monitoring GIS technologies using. *Truboprovodnyy transport: teoriya i praktika [Pipeline Transport: Theory and Practice]*, 4, 4–6 [in Russian].
29. Pavlov, S. V., Sayfutdinova, G. M., & Bakhtizin, R. N. (2007). Geoinformation methods for describing main pipelines and oil spills. *Geoinformatsionnye tekhnologii v proektirovanii i sozdanii korporativnykh informatsionnykh sistem [Geoinformation Technologies in Designing and Creating Corporate Information Systems]* (pp. 97–104). Ufa: Ufa State Aviation Technical University Publ. [in Russian].
30. Antropova, N. A. (2013). Geodetic positioning of main oil and gas pipelines - the basis for the creation of modern geoinformation systems. *Gornyy informatsionno-analiticheskiy byulleten' (nauchno-tekhnicheskii zhurnal) [Mining Information and Analytical Bulletin (Scientific and Technical Journal)]*, 4(1), 281–284 [in Russian].

### Author details

Karina G. Barinova – Specialist of Geoinformation systems.

Daniil V. Dolgopolov – Ph. D., Head of the Project Management Department.

Vyacheslav A. Melkiy – D. Sc., Leading Researcher, Laboratory of Volcanology and Volcanic Hazard.

Aleksey A. Verkhoturov – Ph. D., Senior Researcher, Center for Collective Use.

Received 12.11.2022

© K. G. Barinova, D. V. Dolgopolov, V. A. Melkiy, A. A. Verkhoturov, 2023