

# Способ выявления напряженно-деформированного состояния на газопроводах с применением цифровых данных с беспилотного летательного аппарата

Р. Р. Гайнетдинов<sup>1</sup>, В. Ф. Баширов<sup>2</sup>,  
Д. В. Гильмутдинов<sup>3</sup>  
ООО «Газпром трансгаз Уфа»  
Уфа, Россия  
<sup>1</sup>tor-92@mail.ru, <sup>2</sup>vildar777@gmail.com,  
<sup>3</sup>gilmutdinov.denis1995@yandex.ru

Т. А. Бакиев  
Уфимский государственный нефтяной технический  
университет  
Уфа, Россия  
itc-tbakiev@ufa-tr.gazprom.ru

**Аннотация.** Одной из актуальных проблем при эксплуатации магистральных газопроводов ПАО «Газпром» являются упругопластические изгибы (УПИ) и, как следствие, напряженно-деформированное состояние (НДС). Для измерения НДС в настоящее время применяется расчетно-экспериментальный метод. Он заключается в натурном инструментальном измерении пространственного положения оси МГ. В рамках проработки вариантов использования беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) на объектах магистральных газопроводов (МГ) разработан способ, позволяющий на вскрытом газопроводе выявлять участки с ненормативным уровнем НДС, соответствие проектному положению, фактические координаты участка, протяженность участка и его профиль. В основе способа заложено использование высокоточных 3D-моделей, построенных с применением цифровых данных, полученных с БПЛА.

**Ключевые слова:** напряженно-деформированное состояние, цифровые данные, беспилотный летательный аппарат, упругопластический изгиб, геодезическая привязка, всемирная спутниковая система навигации

## I. ОПИСАНИЕ СПОСОБА

Одним из актуальных вопросов безопасной эксплуатации магистральных газопроводов ПАО «Газпром» является контроль уровня напряженно-деформированного состояния (НДС) на участках упругопластических изгибов (УПИ) (рис. 1).



Рис. 1. Упругопластический изгиб газопровода

При проектировании трубопроводов выбор трасс, как правило, ограничен и существует вероятность прокладки трубопроводов на пересеченной местности со сложными инженерно-геологическими условиями. К таким, наиболее опасным условиям, относятся участки с оползнями, тектоническими разломами и сейсмическими процессами.

В ходе влияния геодинамических процессов может быть изменено пространственное положение трубопровода. В результате фактические нагрузки, действующие на трубопроводы, могут значительно превысить нагрузки, заложенные в нормативный расчет при проектировании. Для обеспечения эксплуатационной надежности трубопроводов, расположенных в зоне действия опасных геодинамических процессов необходимо проводить оценку их работоспособности. Выявление дополнительных напряжений (вызванных изменением пространственного положения трубопровода), которые могут привести к потере несущей способности и отказу трубопровода, является определяющим фактором в обеспечении эксплуатационной надежности.

Определение и оценка НДС потенциально-опасного участка осуществляется на основе инструментальных измерений пространственного положения оси трубопровода. Пространственное положение оси трубопровода является суммарным, общим результатом его взаимодействия с геологической средой в процессе эксплуатации и представляет собой первичную информацию о НДС участка трубопровода.

Напряженно-деформированное состояние трубопровода оценивается в зависимости от величины параметра напряжения равного отношению продольных фибровых напряжений к допустимым.

Наличие точной информации о НДС МГ позволяет:

- производить оценку эффективности мероприятий, направленных на поддержание нагрузок в пределах допустимых нагрузок;
- производить оценку работоспособности и запаса прочности МГ;
- оценивать обнаруженные дефекты и выбирать способ устранения данных дефектов, если это необходимо.

В соответствии с требованиями СП 86.13330.2012 минимально допустимые радиусы упругого изгиба газопровода при укладке в траншею должны быть не менее  $1000D$  [1].

Также, в соответствии с СТО Газпром 2-2.3-344-2016 результатами воздушного патрулирования являются ортофотопланы с высокоточной геодезической привязкой (рис. 2) [2].

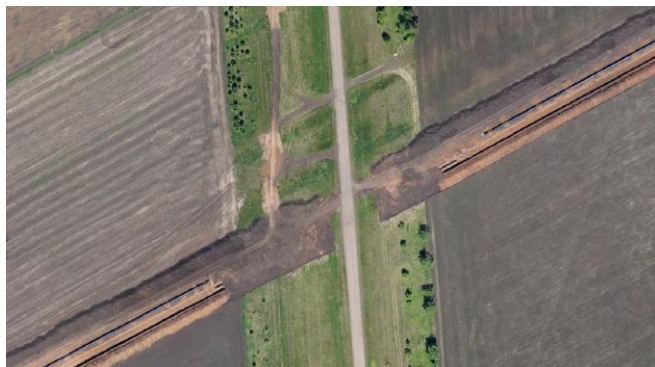


Рис. 2. Ортофотоплан с высокоточной геодезической привязкой

В рамках проработки вариантов использования БПЛА на объектах МГ разработан способ, позволяющий на вскрытом газопроводе выявлять участки с ненормативным уровнем НДС, проверять соответствие уложенного участка газопровода проектному положению, фактические координаты участка газопровода, протяженность участка и его продольный профиль.

В основе способа заложено использование высокоточных 3D-моделей (рис. 3), построенных на базе данных, полученных с БПЛА. Для построения 3D-моделей было использовано программное обеспечение Agisoft Metashape 1.6.0.

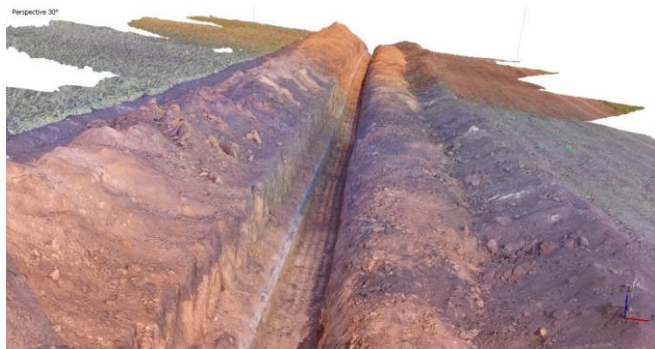


Рис. 3. 3D-модель участка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700

Для проведения аэрофотосъемки участка газопровода-отвода был использован БПЛА вертолетного типа (октокоптер) Supercam X6M2, оснащенный подвесной камерой Sony Alpha A6000 и GNSS-модулем, с целью обеспечения высокоточной геодезической привязки использовался GNSS-приемник JAVAD Triumph-1 (рис. 4).



Рис. 4. БПЛА Supercam X6M2 и GNSS-приемник JAVAD Triumph-1

Апробация способа проходила на 15 км ГО к ГРС Карманово DN700 (рис. 5). Протяженность обследуемого участка составила 200 м с перепадами высот до 12 м. Шаг измерения составил 1 м.



Рис. 5. Участок газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700

Для проверки достоверности способа была использована методика для измерения радиуса упругого изгиба участка МГ, которая основана на данных, полученных в результате физических замеров пространственного положения оси газопровода. Проверочные данные были получены в ходе геодезической съемки с использованием нивелира, с привлечением штатного геодезиста службы проектно-конструкторских работ Инженерно-технического центра ООО «Газпром трансгаз Уфа» (рис. 6).



Рис. 6. Геодезическая съемка участка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700

Также, для построения проверочной 3D-модели была проведена съемка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700 с использованием квадрокоптера DJI Phantom 3 Standard, без использования GNSS-оборудования (рис. 7).



Рис. 7. Съемка газопровода-отвода к ГРС Карманово с квадрокоптера DJI Phantom 3 Standard

На основании результатов геодезической съемки с использованием нивелира был построен продольный профиль участка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700 (рис. 8).

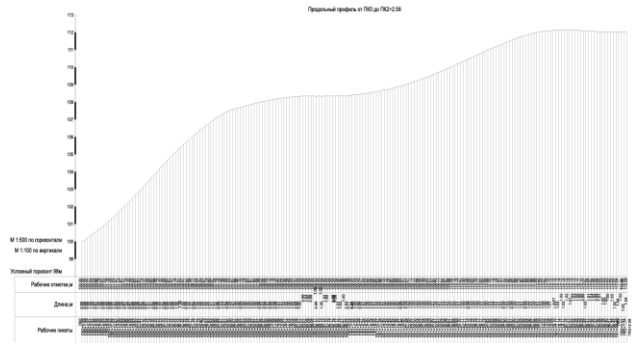


Рис. 8. Продольный профиль участка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700

Основываясь на результатах съемки с использованием БПЛА Supercam X6M2 с GNSS-приемником JAVAD Triumph-1, была построена 3D-модель, цифровая модель рельефа и продольный профиль участка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700 (рис. 9). Цифровая модель рельефа представляет собой средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов в виде трехмерных данных как совокупности высот или иных значений [3].

Точность съемки составила 5 см на 1 м<sup>2</sup>, благодаря использованию технологии RTK (real-time kinematic).

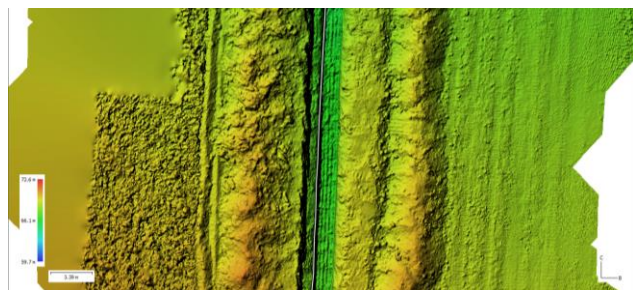


Рис. 9. Цифровая модель рельефа участка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700

Те же работы были проведены с использованием данных, полученных с квадрокоптера DJI Phantom 3 Standard.

На основе результатов построения продольных профилей участка газопровода-отвода к ГРС Карманово DN700 был проведен анализ полученных данных и сравнение продольных профилей (рис. 10).

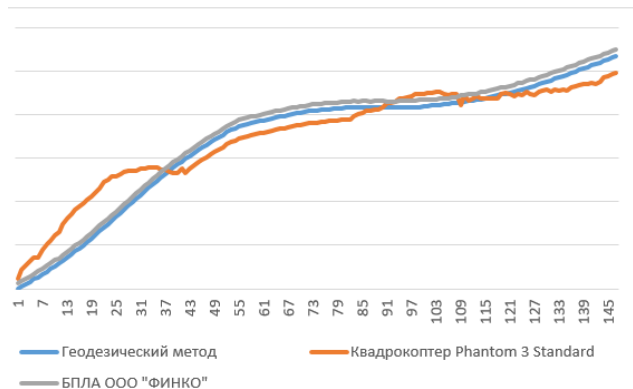


Рис. 10. Сравнение продольных профилей

Высотные отметки, полученные с использованием квадрокоптера Phantom 3 Standard, показали сходимость с данными полученными с помощью нивелира на уровне 72 %. Высотные отметки, полученные с использованием БПЛА Supercam X6M2 с GNSS-приемником JAVAD Triumph-1 показали сходимость с данными полученными с помощью нивелира на уровне 98%.

## II. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Напряженно-деформированное состояние газопровода является распространенной проблемой, приводящей к формированию дефектов тела трубы, что прямым образом влияет на надежность и безопасность эксплуатации магистральных газопроводов.

Решением данной проблемы может выступить предложенный способ позволяет выявлять напряженно-деформированное состояние на газопроводах путем получения высотных отметок газопровода из высокоточной 3D-модели. Кроме того, предложено использование высотных отметок в расчетах методики для измерения радиуса упругого изгиба участка МГ. Данный способ может выступать как инструмент дублирующего контроля за проведением геодезических работ.

Использование высокоточных 3D-моделей также позволяет осуществлять расчеты объемов земляных масс, складированных материалов, проведения геометрических измерений. Использование этих данных предоставляет дополнительный инструмент при планировании работ, а также для контроля за проведением различных типов работ на магистральных газопроводах.

В перспективе развития данного способа планируется разработка методических рекомендаций для определения напряженно-деформированного состояния на газопроводах с применением цифровых данных с беспилотного летательного аппарата, апробация данного способа на технологических газопроводах площадных объектов, таких как компрессорные и газораспределительные станции.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] СП 86.13330.2012. Актуализированная редакция СНиП III-42-80\* Магистральные трубопроводы. М.: Минстрой России, 2014. 182 с.
- [2] СТО Газпром 2-2.3-344-2016 «Положение о воздушном патрулировании трасс магистральных трубопроводов ПАО «Газпром». Введ. 2016-07-20. С-Пб.: ООО «Газпром экспо», 2017. 83 с.
- [3] Булавицкий В.Ф., Жукова Н.В. Фотограмметрия и дистанционное зондирование территории. Хабаровск, Изд-во Тихоокеан. гос.ун-та, 2016. 113 с.