

## Мониторинг объектов транспорта углеводородов методом воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки

А.В. Войтенко, «Кадастрсъемка», Иркутск, Россия

Мониторинг объектов транспорта углеводородов — это одна из важных задач, влияющая на безопасную эксплуатацию магистральных нефтепродуктов — и газопроводов.

Для этих целей Компания АО «Кадастрсъемка» отработала технологию мониторинга с применением воздушного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки (ВЛС и ЦАФС) на опытном участке магистрального нефтепровода.

Основными задачи работ являлись:

1. установить точность определения координат точек объектов и ошибки определения геометрических характеристик элементов сооружения по результатам ВЛС;

2. определить возможность выявления форм рельефа, образованных под действием экзогенных процессов (ЭГП). Установить минимальные размеры однозначно идентифицируемых по точкам лазерных отражений форм на заданных высотах съемки;

3. определить возможность отслеживания изменений форм рельефа по результатам мониторинговых наблюдений;

4. определить возможность контроля высотного положения подземной части нефтепровода посредством измерения высотных отметок устройств определения высоты на подземных

участках нефтепровода (УОВ) и плоскости защитного валика;

5. определить возможность контроля отклонений опор линий электропередач (ЛЭП) и мачт связи от вертикали.

До начала проведения работ были определены требования к точностям измерения координат и определения размеров форм рельефа.

1. Максимальное расхождение по высоте не более – 0,05 м;

2. Ошибка взаимного положения точек не более – 0,05 м;

3. Средняя плотность точек - 16 точек/м<sup>2</sup>;

Первым этапом производились наземные геодезические работы по созданию и уравнивание двух базовых станций, расстояние между которыми составило 30 км; размечена площадка прямоугольной формы, состоящая из 25 точек, расположенных на расстоянии 1 м друг от друга; выполнены измерения углов отклонений опор ЛЭП и мачты связи от вертикали в двух взаимно-перпендикулярных плоскостях. Методом наземной геодезической съемки, были определены участки с микроформами рельефа, элементы нефтепровода (крышки колодцев) и УОВ. Работы производились специалистами эксплуатирующей организации (рис 1).



Вторым этапом выполнялось ВЛС и ЦАФС специальным оборудованием швейцарского производителя Leica прошедшим ежегодные поверки. Параметры ВЛС и ЦАФС были подобраны таким образом, чтобы удовлетворять определенным требованиям (приложение 1). Съёмка производилась с вертолёта МИ-8 с предварительной калибровкой оборудования

Приложение 1

Скорость полёта	120 км/ч
Высота съёмки	250 м
Угол сканирования, частота сканирования	56°, 190000Гц
Средняя плотность точек на 1 кв.м поверхности	22 точек
Точность определения планового положения точек	0,03 см
Точность сканирования по высоте	0,04 см
Высота съёмки	250 м
Размер кадра	8956px*6708px
Фокусное расстояние объектива	52 мм
Размер пикселя камеры	6 µm
Интервал съёмки	2,32 сек.
Калибровка	Камера RCD30 имеет данные фотограмметрической калибровки
Средний размер пикселя на местности (GSD)	0,03 м

Третьим этапом выполнено уравнивание траектории полета от двух базовых станций, выгрузка точек лазерных отражений, декодирование снимков, калибровка полученных точек лазерного отражения, уточнение параметров цифровой камеры, классификация точек лазерного отражения, построение цифровых ортофотопланов и цифровых моделей местности (рис 2).

Четвертым этапом с представителями эксплуатирующей организации была произведена совместная оценка полученных данных, представленных в приложение 2.

В результате проделанной работы было опре-

делено, что минимальные размеры однозначно идентифицируемых форм рельефа должны быть не менее 28 x 40 см при высоте аэрофото-съёмки 250 м. При этом точность определения геометрических параметров элементов нефтепровода составила не более 3 см. Высотные размеры (глубина, высота) определены со средней ошибкой не более 4 см.

По определению высот доработанных конструкций УОВ и плоскости защитного валика получены следующие результаты:

Максимальная ошибка измерений по УОВ составила 6 см, средняя квадратическая ошибка – 1см;

По плоскости защитного валика максимальная ошибка – 8 см, средняя квадратическая ошибка – 6 см;

По плоскости водоотводного валика максимальная ошибка – 7 см, средняя квадратическая ошибка – 5 см.

Выводы:

- Технология ВЛС и ЦАФС позволяет выявлять формы рельефа, образованные под действием экзогенных процессов, на трассе нефтепроводов и за её пределами, в том числе, скрытыми растительностью;

- Технология ВЛС и ЦАФС позволяет контролировать высотное положение подземной части нефтепровода посредством измерения высотных отметок доработанных устройств определения высоты и плоскости защитного валика с заявленной в Программе работ точностью не более 4 см;

- Технология ВЛС и ЦАФС позволяет контролировать отклонения опор ЛЭП и мачт связи от вертикального положения;

- Определять геометрические параметры элементов нефтепровода с ошибкой не более 3 см.

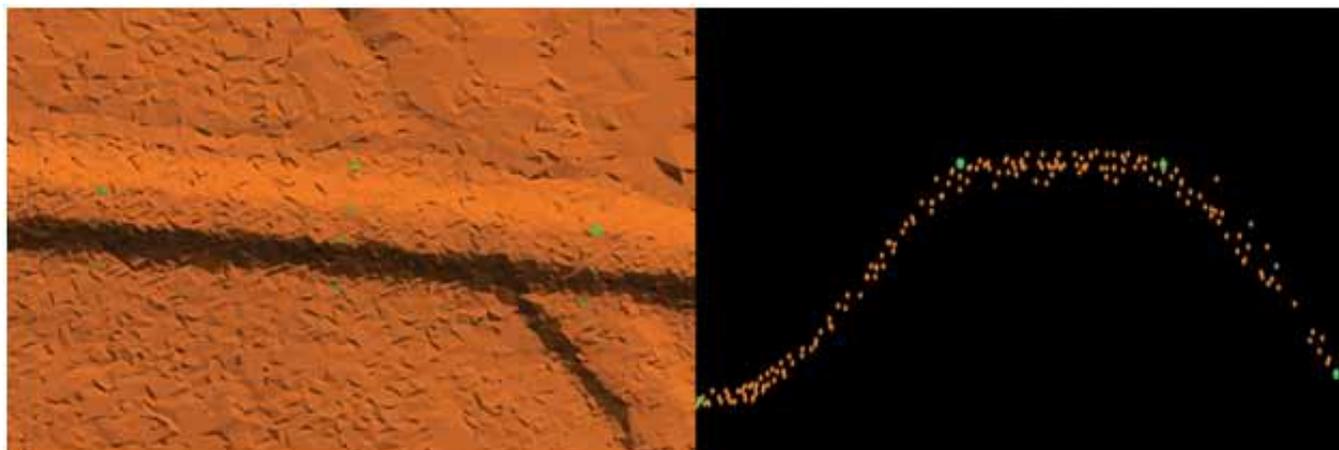
Компания готова применять полученный опыт для мониторинговых наблюдений в период эксплуатации магистральных нефти и газопроводов.



Рисунок 2.

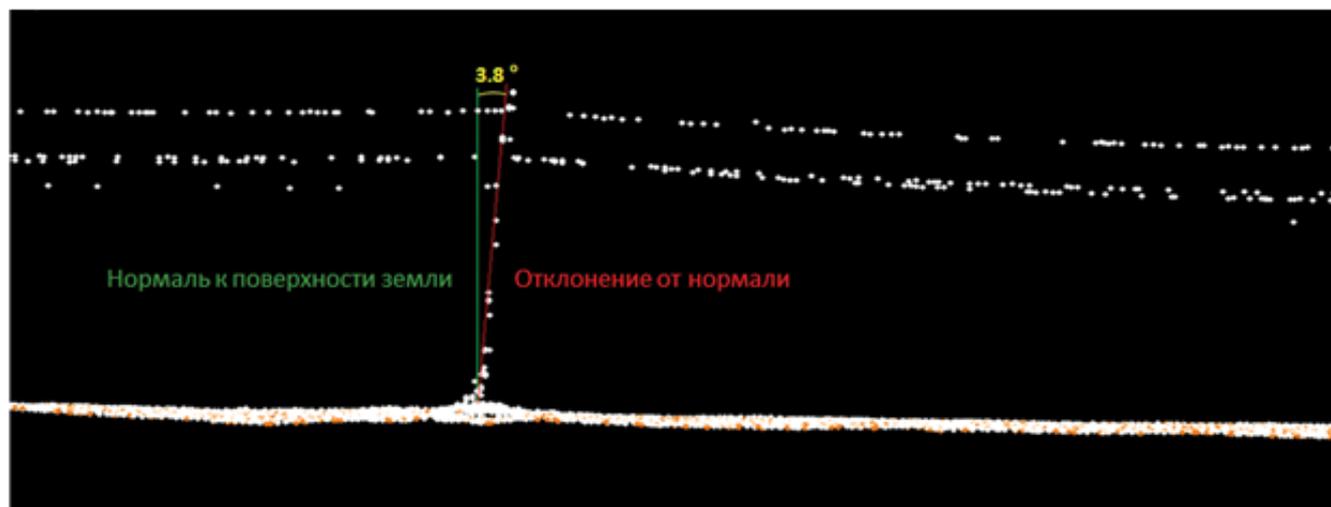
## Приложение 2.

№ п/п	Форма	Размеры по наземным измерениям (Д x Ш x Г). м	Размеры по ВЛС. (Д x Ш x Г). м	Расхождение. м
1	2	3	4	5
1	Фигура 13	0.25 x 0.50 x 0.10	0.25 x 0.50 x 0.13	0.0 x 0.0 x 0.03
2	Фигура 11	0.50 x 0.75 x 0.20	0.45 x 0.70 x 0.22	0.05 x 0.05 x 0.02
3	Фигура 12	0.75 x 1.00 x 0.30	0.70 x 1.00 x 0.27	0.05 x 0.0 x 0.03
4	Фигура 15	0.50 x 0.10	0.50 x 0.21	0.0 x 0.11
5	Фигура 10	0.75 x 0.15	0.80 x 0.20	0.05 x 0.05
6	Фигура 14	1.00 x 0.30	1.00 x 0.34	0.0 x 0.04
7	Фигура 4	0.25 x 0.50 x 0.10	0.25 x 0.50 x 0.08	0.0 x 0.0 x 0.02
8	Фигура 1	0.50 x 0.75 x 0.20	0.50 x 0.65 x 0.17	0.0 x 0.10 x 0.03
9	Фигура 3	0.75 x 1.00 x 0.30	0.80 x 1.00 x 0.37	0.05 x 0.0 x 0.07
10	Фигура 2	0.50 x 0.10	0.50 x 0.11	0.0 x 0.01
11	Фигура 5	0.75 x 0.15	0.70 x 0.18	0.05 x 0.03
12	Фигура 7	1.00 x 0.30	1.00 x 0.33	0.0 x 0.03
13	Дополнительные фигуры			
14	Фигура 6	0.70	0.68	0.02
15	Фигура 8	1.90 x 0.50 x 0.40	2.00 x 0.50 x 0.42	0.10 x 0.0 x 0.02
16	Фигура 9	2.10 x 0.60 x 0.40	2.00 x 0.60 x 0.40	0.10 x 0.0 x 0.0
17	Бревно	2.40 x 0.13	2.40 x 0.10	0.0 x 0.03
18	Рабочий 1	+	+	-
19	Рабочий 2	+	+	-
20	Рабочий 3	+	+	-
21	Фигура 16 Опора МН	4.85 x 0.92	4.95 x 0.95	0.10 x 0.03
22	УОВ	0.5x0.5	0.5x0.5	0.0x0.0



- ▲ Точка определенная лазерным сканером
- ▲ Точка определенная полевым методом

Среднее по высоте, м	0,000
Минимум по высоте, м	-0,010
Максимум по высоте, м	0,070
Стандартное отклонение, м	0,048



№ опоры	Угол отклонения опоры по данным тахеометрической съемки. градусы	Угол отклонения опоры по данным ВЛС. градусы	Расхождение. градусы
1223	4.2 (направление крена – 324)	3.8	0.4