

## Сравнительный анализ воздушных лазерных сканеров для мониторинга защитных сооружений магистральных трубопроводов

*И. О. Деменков<sup>1\*</sup>, М. М. Шляхова<sup>1</sup>, Е. О. Ходаковская<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный университет геосистем и технологий, г. Новосибирск,  
Российская Федерация

<sup>2</sup> АО «Ростехнологии», г. Москва, Российская Федерация

\* e-mail: demenkov-io2016@sgugit.ru

**Аннотация.** На сегодняшний день контроль состояния защитных сооружений магистральных трубопроводов, находящихся в сложных природно-климатических условиях и труднодоступности, является актуальной задачей. Транспортировка нефти осуществляется трубопроводным транспортом, следовательно, протяженность трубопроводов распространяется на значительные территории. Возникновение аварийных ситуаций провоцирует риски утечки сырья, в связи с этим требуется проводить геотехнический мониторинг. Одним из перспективных направлений мониторинга состояния защитных сооружений является применение беспилотных летательных аппаратов с использованием лазерных сканеров. В данной статье рассмотрены основные возможности применения воздушного лазерного сканирования для мониторинга магистральных трубопроводов, а также проведено сравнение различных сканирующих систем. По результатам исследования выбран один вид сканера, с помощью которого наиболее удобно и легко производить работы с защитными сооружениями трубопроводов.

**Ключевые слова:** воздушное лазерное сканирование, магистральные трубопроводы, защитные сооружения, беспилотные летательные аппараты, данные активного дистанционного зондирования

## Comparative analysis of air laser scanners for monitoring main pipeline defenses

*I. O. Demenkov<sup>1\*</sup>, M. M. Shlyakhova<sup>1</sup>, E. O. Khodakovskaya<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State University of Geosystems and Technologies, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Rostechologies JSC, Moscow, Russian Federation

\* e-mail: demenkov-io2016@sgugit.ru

**Abstract.** Today, monitoring the condition of the protective structures of the main pipelines that are in difficult natural and climatic conditions and are difficult to access is an urgent task. Oil transportation is carried out by pipeline transport; therefore, the length of the pipelines extends over significant territories. The occurrence of emergencies provokes the risks of leakage of raw materials, in this regard, it is necessary to conduct geotechnical monitoring. One of the promising areas of monitoring the state of protective structures is the use of unmanned aerial vehicles using laser scanners. This article discusses the main possibilities of using air laser scanning for monitoring main pipelines, and compares various scanning systems. According to the results of the study, one type of scanner was selected, with the help of which it is most convenient and easy to work with protective structures of pipelines.

**Keywords:** aerial laser scanning, main pipelines, protective structures, UAV, active remote sensing data

Основным способом транспортировки нефтепродуктов по территории России является магистральный трубопровод. Из-за большой протяженности трубопровода возникают аварии и утечки, которые являются факторами, оказывающими негативное влияние на состоянии окружающей среды. Для обеспечения безопасности и целостности конструкций трубопроводов, а также для предотвращения чрезвычайных ситуаций, связанных с его прорывом, проводится возведение защитных сооружений.

Главной задачей защитных сооружений при транспортировке продуктов нефти является защита от природных условий и влияния человеческого фактора. Геологические, гидрогеологические и гидрологические процессы представляют собой основную причину разрушения нефтепровода. Антропогенный фактор заключается в незаконном присвоении нефтепродуктов и повреждении магистрали нефтепровода, что впоследствии приводит к значительным экологическим и экономическим потерям [1-3].

Для поддержания работоспособности защитных сооружений необходим их периодический контроль, который может быть выполнен с помощью воздушного лазерного сканирования с применением беспилотных летательных аппаратов. Упрощенная структура лазерного сканера показана на рис. 1.

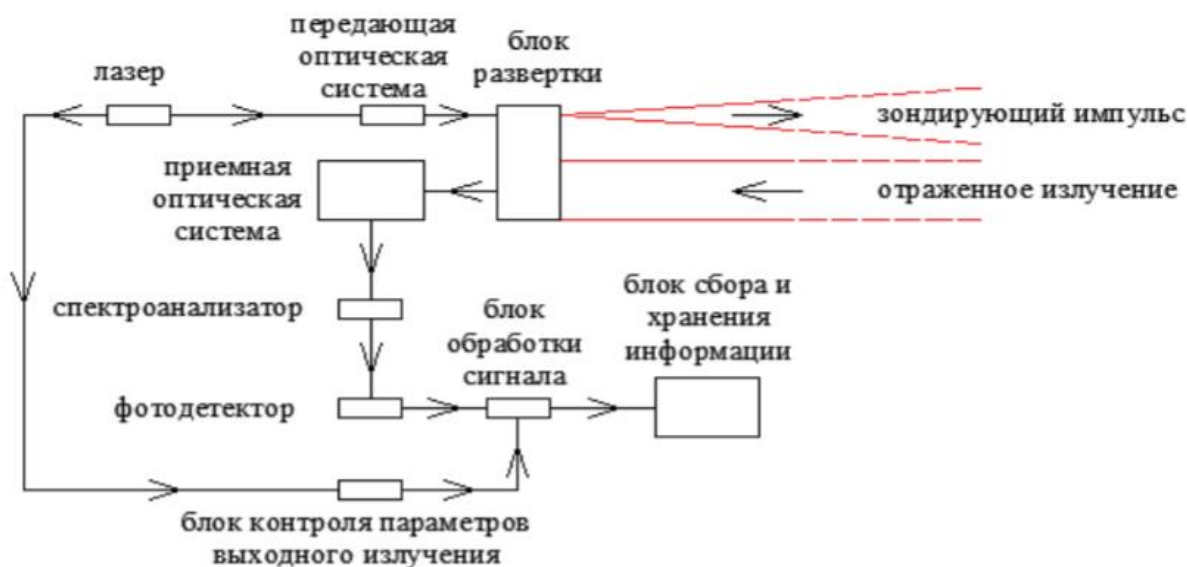


Рис. 1. Технологическая схема лазерного сканера

Существует ряд требований к эксплуатации линейной части трубопровода, мониторинг которой на основе данных воздушного лазерного сканирования [4–9] позволяет решать множество задач.

Для мониторинга защитных сооружений магистральных трубопроводов с применением воздушного лазерного сканирования был проведен анализ распространенных моделей сканеров. В процессе были выявлены основные технические характеристики, а также стоимость оборудования. Все полученные данные представлены в таблице.

## Анализ воздушных лазерных сканеров

Оборудование	АГМ-МС3	RIEGL VUX-1UAV	LiAir V70
Частота сканирования	600 кГц	600 кГц	600 кГц
Угол поле зрения	360°	300°	360°
Вес	1,5 кг	3,6 кг	1,8 кг
Точность определения дальности	3 см	5 см	2 см
Дальность	200 м	250 м	320 м
Температура эксплуатации	-20...+55°С	-	-20...+40°С
Размеры	124x124x113 мм	227x180x125 мм	-
Цена	3 000 000 руб	по запросу	3 500 000 руб

Исходя из анализа, было определено, что для мониторинга магистральных трубопроводов возможно использование всех моделей анализируемых сканирующих систем. А для мониторинга защитных сооружений магистральных трубопроводов самым подходящим является сканер АГМ – МС3, представленный на рисунке 2 [9].



Рис. 2. Лазерный сканер АГМ – МС3

Его преимуществами считаются не только удобный и компактный размер, позволяющий легко установить его на широкий ряд беспилотных летательных аппаратов, но и возможность эксплуатации в любом климатическом поясе при любой температуре. Также положительной стороной является точность целостности защитных сооружений при высокой скорости сканирования, в отличие от RIEGL VUX-1UAV, которому нужно затрачивать больше времени для тех же объектов, так как угол обзора составляет 300 градусов.

Лазерный сканер АГМ – МС3 работает совместно с малогабаритной цифровой камерой, что позволяет получить аэрофотоснимки с координатной привязкой. Это облегчает и ускоряет процесс мониторинга защитных сооружений трубопроводов. Также при помощи лазерного сканера строится трехмерная модель для более детального изучения состояния защитных сооружений магистральных трубопроводов, что позволяет быстро найти и устранить наличие или отсутствие их повреждений.

Таким образом, бесспорным преимуществом воздушного сканирования с использованием БВС является простая подготовка к работам, следовательно, высокая производительность. Преимущество данного вида съемки относительно пилотируемых носителей в отсутствии человеческого фактора. Скорость лазерного сканирования превышает миллион измерений в секунду, а точность сравнима с точностью наземной геодезии и гораздо выше точности аэрофотосъемки. Анализ лазерных систем показал, что сканер АГМ – МСЗ имеет высокие показатели точности сканирования, компактные размеры и вес, а также по сравнению с RIEGL VUX-1UAV, LiAir V70, имеет относительно приемлемую стоимость.

*Работа выполнена в рамках государственного задания Минобрнауки России (тема «Разработка теории и технологических решений контроля состояния защитных сооружений при перекачке нефтепродуктов методами активного дистанционного зондирования», № 0807-2020-0002).*

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Комиссаров А.В., Шляхова М.М., Алтынцев М. А., Кулик Е. Н. Критерии контроля защитных сооружений магистральных трубопроводов // Вестник СГУГиТ. – 2020. – Т. 25, № 4. – С. 96–104.
2. Дедкова В.В., Шляхова М.М. Мониторинг технического состояния магистральных трубопроводов методами дистанционного зондирования // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы VII Международной научной конференции, Красноярск, 29 сент.- 2 окт. 2020 г. – С. 192–195.
3. Шляхова М.М., Дедкова В.В. Перспективы применения аэросъемок для контроля защитных сооружений магистральных трубопроводов // Региональные проблемы дистанционного зондирования Земли: материалы VII Международной научной конференции, Красноярск, 29 сент.- 2 окт. 2020 г.– Красноярск, 2020. – С. 316–319.
4. ГОСТ 31937–2011. Здания и сооружения. Правила обследования и мониторинга технического состояния. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200100941>.
5. СП 58.13330.2012. Гидротехнические сооружения. Основные положения URL: <http://gostrf.com/normadata/1/4293793/4293793668.pdf.3>.
6. СП 115.13330.2016. Геофизика опасных природных воздействий URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/17066/>.
7. СП 116.13330.2012. Инженерная защита территорий, зданий и сооружений от опасных геологических процессов. Основные положения URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs/1906/>.
8. СП 425.1325800.2018. Инженерная защита территорий от эрозионных процессов. Правила проектирования URL: <http://docs-api.cntd.ru/document/554403584>.
9. Сооружение и эксплуатация газонефтепроводов и газонефтехранилищ : учеб. пособие для вузов / Национальный исследовательский Томский политехнический университет (ТПУ); сост. В. Г. Крец [и др.]. – 2-е изд., испр. и доп. – Томск : Изд-во ТПУ, 2019. – 356 с.
10. Лазерный сканер для БПЛА АГМ-МСЗ URL: <https://www.agmsys.ru/mscan/ms3>.

© И. О. Деменков, М. М. Шляхова, Е. О. Ходаковская, 2022