

DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-2-91-96
УДК 621.644

Р.А. Эминов (Азербайджанский государственный университет нефти и промышленности, г. Баку, Азербайджанская Республика),
Э.И. Гусейнли (Государственный институт водных проблем, г. Баку, Азербайджанская Республика)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ МАРШРУТА ПРОКЛАДКИ НЕФТЕГАЗОВЫХ ТРУБОПРОВОДОВ

Ramiz A. Eminov (Azerbaijan State University of Oil and Industry, Baku, Republic of Azerbaijan), **Elmir I. Huseynli** (State Research Institute of Water Problems, Baku, Republic of Azerbaijan)

LASER SCANNING OPTIMIZATION TO DETERMINE THE ROUTE OF LAYING OIL AND GAS PIPELINES

Введение

Известно, что для проведения мониторинга и планирования маршрута прокладки трубопроводов необходимо иметь подробную информацию о местности и топографических свойствах участка. Этот процесс именуется как моделирование коридора трубопровода. В последние десятилетия произошел постепенный переход от традиционных методов геодезических полевых изысканий местности к широкому классу методов дистанционного сбора информации с использованием таких средств, как спутниковые снимки, фотограмметрические методы, лидары, лазерные сканеры, GPS.

Цели и задачи

Целью работы являлась оптимизация лазерного сканирования для определения маршрута прокладки нефтегазовых трубопроводов.

Результаты

Проведена оптимизация функционирования лазерного сканера в целях определения маршрута прокладки трубопровода.

Background

It is known that in order to monitor and plan the laying of pipelines, it is necessary to have detailed information about the terrain and topographic properties of the site. This process is referred as pipeline corridor simulation. In recent decades, there has been a gradual transition from the traditional methods of geodetic field surveys of the terrain to a wide class of methods for remote information collection using such means as satellite imagery, photogrammetric methods, lidars, laser scanners, GPS.

Aims and Objectives

The aim of the work was laser scanning optimization to determine the route of laying oil and gas pipelines.

Results

The laser scanner function was optimized to determine the route of the pipeline.

Определены условия проведения полетов носителя, при которых суммарная величина отраженного сигнала лазерного сканера достигает минимально гарантированную величину.

The conditions of the carrier's flights have been determined at which the total value of the reflected signal of the laser scanner reaches a minimum guaranteed value.

Ключевые слова: лазерное сканирование; трубопровод; лидар; трубопроводный коридор; аэрозоль; атмосфера; оптимизация

Key words: laser scanning; pipeline; lidar; pipeline corridor; aerosol; atmosphere; optimization

Известно, что для проведения мониторинга и планирования маршрута прокладки трубопроводов необходимо иметь подробную информацию о местности и топографических свойствах участка. Этот процесс именуется как моделирование коридора трубопровода.

В последние десятилетия произошел постепенный переход от традиционных методов геодезических полевых изысканий местности к широкому классу методов дистанционного сбора информации с использованием таких средств, как спутниковые снимки, фотограмметрические методы, лидары, лазерные сканеры, GPS. Как отмечается в работе [1], многочисленные исследования точностных характеристик лидаров и лазерных сканеров показывают, что такие показатели, как расстояние до объекта, угол падения, дивергенция луча, размер апертуры и т.д. значительно влияют на точность лазерных геодезических устройств.

В работе [2] исследовано влияние расстояния до объекта на радиометрическую точность лидарных измерений; в работе [3] - влияние угла падения на точностные характеристики лидара.

В работе [4] изучено влияние высоты полета носителя, а в работе [5] рассмотрена возможность введения автоматического контроля усиления сигнала лидара.

Вместе с тем, одним из важнейших факторов, влияющих на радиометрическую точность лидарных измерений, является про-

пускание атмосферы, что отчетливо видно из формулы лидарного зондирования:

$$P_r = \frac{P_t \cdot D_r^2}{4\pi R^4 \beta_t^2} \cdot \eta_{sys} \cdot \eta_{atm} \cdot \sigma, \quad (1)$$

где P_t - энергия лазерного импульса после прохождения через окружающую среду (часто это атмосфера);

D_r - диаметр апертуры;

R - расстояние (пройденный путь);

β_t - ширина лазерного луча,

η_{sys} - постоянная системы;

η_{atm} - пропускание атмосферы;

σ - поперечное сечение обратного рассеяния, определяемое из формулы:

$$\sigma = 4\pi\rho A \cdot \cos\theta, \quad (2)$$

где ρ - коэффициент спектрального отражения;

A - площадь мишени;

θ - угол падения.

Как показано в работе [6], формула (1) несколько упрощается, если принять следующие допущения:

- поверхность объекта находится на горизонтальной плоскости;
- площадь поверхности объекта круговая;
- объект имеет телесный угол $\Omega = 2\pi$, т.е. происходит рассеяние света на полусфере;

- о объект имеет Ламбертову поверхность.
При выполнении вышеуказанных условий формула (1) приобретает следующий вид:

$$P_r = \frac{P_1 \cdot D_r^2 \cdot \rho}{4\pi R^2} \cdot \eta_{sys} \cdot \eta_{atm} \cdot \cos \theta . \quad (3)$$

Целью настоящей статьи является исследование влияния пропускания атмосферы на радиометрические характеристики лидарного измерителя и оптимизация использования лидара в целях планирования трубопроводного коридора с учетом суточного изменения метеообстановки, в частности состояния загрязненности атмосферы.

Хорошо известно, что пропускание атмосферы определяется по формуле [7]

$$\eta_{atm} = \exp[-(R \cdot \alpha(\lambda))] , \quad (4)$$

где $\alpha(\lambda)$ - коэффициент ослабления оптического луча лазера атмосферной на длине волны λ ;

R - длина пути прохождения луча.

В первом приближении можно считать, что на длине волны λ отсутствуют полосы поглощения атмосферных газов, что обычно в качестве важного условия выполняется разработчиками лазерных излучателей. Вместе с тем существует континуальное поглощение атмосферного аэрозоля.

Оптическая толщина атмосферного аэрозоля вычисляется обычно по формуле Ангрестра [7]:

$$\tau(\lambda) = \beta \lambda^{-\gamma} , \quad (5)$$

где β - аэрозольная мутность атмосферы Ангрестра;

γ - показатель Ангрестра.

Несколько подробно рассмотрим механизм влияния пропускания атмосферы, т.е. в данном случае влияние оптической толщины атмосферы, или более точно атмосферного аэрозоля, на радиометрическую точность проведения бортовых лидарных измерений.

Хорошо известно [8], что коэффициент ослабления аэрозоля, зависящий от концентрации аэрозольных частиц в единичном объеме воздуха, изменяется во времени. При

этом в один период суток (обычно с 06:00 до 24:00) этот показатель растет, а в другой (с 00:00 до 06:00) - уменьшается. С учетом этого изменения $\alpha(\lambda)$ при организации работы бортового сканера требуется, чтобы высота полета носителя подбиралась в зависимости от величины $\alpha(\lambda)$.

Следовательно, допускается существование функции

$$H = f(\alpha) , \quad (6)$$

на которую налагается следующее ограничительное условие:

$$\sum_{i=1}^n M_i = \sum_{i=1}^n H(\alpha_i) = C_1 C_1 = const . \quad (7)$$

Физически ограничение (7) определяет ресурс, затрачиваемый на полеты носителя бортового сканера, с учетом необходимости осуществления сканирования местности при разных высотах полета.

С учетом выражений (6), (7) можем записать следующую сумму, приняв $H = R$,

$$P_{r\Sigma} = \sum_{i=1}^n \frac{P_1 \cdot D_r^2 \cdot \rho}{4R(\alpha)^2} \cdot \eta_{sys} \cdot \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha] \cos \theta . \quad (8)$$

Если умножить суммы (7) и (8) на дискрету $\Delta\alpha$, то в результате получим приближенные оценки площадей S_1 и S_2 , определяемые как

$$S_1 = \int_0^{\alpha_{max}} R(\alpha) d\alpha , \quad (9)$$

$$S_2 = \int_0^{\alpha_{max}} \frac{P_1 \cdot D_r^2 \cdot \rho}{4R(\alpha)^2} \cdot \eta_{sys} \times \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha] \cos \theta d\alpha \quad (10)$$

С учетом

$$\frac{R_1 \cdot D_r^2 \cdot \eta_{sys} \cdot \cos \theta}{4} = C_1 = const , \quad (11)$$

выражение (10) запишем в виде

$$S_2 = \int_0^{\alpha_{max}} \frac{C_2 \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha] d\alpha}{R(\alpha)^2} . \quad (12)$$

С учетом выражений (9) и (12) составим следующий функционал оптимизации:

$$F = \int_0^{\alpha_{max}} \frac{C_2 \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha]}{R(\alpha)^2} d\alpha + \kappa \int_0^{\alpha_{max}} R(\alpha) d\alpha , \quad (13)$$

где κ - множитель Лагранжа.

Согласно условиям уравнения Эйлера-Лагранжа оптимальная функция $R(\alpha)$, приводящая функционал (13) к экстремуму, удовлетворяет условию

$$\frac{d \left\{ \frac{C_2 \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha]}{R(\alpha)^2} + \kappa \cdot R(\alpha) \right\}}{dR(\alpha)} = 0 . \quad (14)$$

Из (14) получаем

$$\frac{-2 C_2 \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha]}{R(\alpha)^3} - \frac{C_2 \cdot \alpha \cdot \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha]}{R(\alpha)^2} + \kappa = 0 . \quad (15)$$

Выражение (15) можно записать следующим образом

$$\frac{C_2 \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha]}{R(\alpha)^2} \left[\frac{2}{R(\alpha)} - 1 \right] = \kappa . \quad (16)$$

Так как выражение (16) является трансцендентным уравнением, а множитель κ является постоянной величиной, то общее решение оптимизационной задачи может быть осуществлено *графическим путем*.

Представим уравнение (16) в виде

$$f_1(\alpha) \cdot f_2(\alpha) = \kappa , \quad (17)$$

где

$$f_1(\alpha) = \frac{C_2 \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha]}{R(\alpha)^2} ; \quad (18)$$

$$f_2(\alpha) = \frac{2}{R(\alpha)} - 1 . \quad (19)$$

Графически уравнение (17) может быть отображено с помощью семейства гипербол для разных κ_i ; $i = \overline{1, n}$ (рисунок 1).

Общий алгоритм графического решения уравнения (17) следующий.

1. Задается величина α_i .
2. Для заданной величины вычисляются $f_1(\alpha)_i$; $f_2(\alpha)_i$ и κ_i .
3. Операции (1) и (2) осуществляются n раз, выделяются такие подмножества операций, в которых κ_i имеет одинаковую величину. Следовательно, множество $\{i\}$; $i = \overline{1, n}$ разбивается на подмножества, в которых получено одинаковое значение произведения (17).

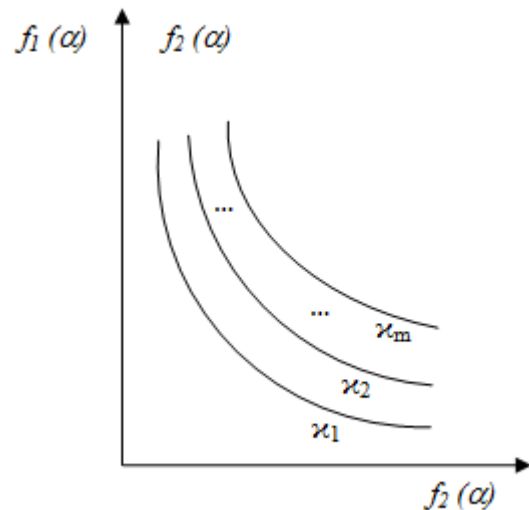


Рисунок 1. Семейство гипербол в количестве m , где m определяется количеством подмножеств, выделенных из множества $\{i\}$; $i = \overline{1, n}$, в которых κ_i ; $j = \overline{1, n}$ имеют одинаковую величину

При этом каждое такое подмножество в количестве m определяет одну из гипербол, показанных на рисунке 1. После построения семейства гипербол по вышеуказанному алгоритму эти графики можно использовать в обратном порядке, т.е., задаваясь величиной κ , при заданной величине $f_2(\alpha)$ можно определить $f_1(\alpha)$ и далее определить $R(\alpha)$.

Для определения типа экстремума, вычисленного выше, проанализируем вторую производную интегранта в (13) по $R(\alpha)$.

Имеем

$$\frac{d^2 \left\{ \frac{C_2 \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha]}{R(\alpha)^2} + \kappa \cdot R(\alpha) \right\}}{dR(\alpha)^2} = \frac{6C_2}{R(\alpha)^4} \cdot \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha] + \frac{2C_2 \alpha}{R(\alpha)^3} \cdot \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha] + \frac{C_2 \alpha^2}{R(\alpha)^2} \exp[-R(\alpha) \cdot \alpha] = 0. \quad (17)$$

Таким образом, поскольку выражение (17) всегда имеет положительную величину, то вычисленный выше экстремум является минимумом.

Следовательно, выявленный выше экстремальный режим является наихудшим в

смысле достижения наибольшего отраженного сигнала лазерного сканера.

Практическая значимость результатов проведенного исследования заключается в возможности определения потенциальных возможностей лазерной системы сканирования в смысле установления порога минимально гарантированной величины суммарного отраженного сигнала при проведении сканирования с разных высот.

Выводы

Проведена оптимизация функционирования лазерного сканера в целях определения маршрута прокладки трубопровода.

Определены условия проведения полетов носителя, при которых суммарная величина отраженного сигнала лазерного сканера достигает минимально гарантированную величину.

Список литературы

1. Ahmed Shaker, Wai Yeung Yan, Nagwa El-Ashmawy. The Effects of Laser Reflection Angle on Radiometric Correction of the Airborne Lidar Intensity Data. 2011.
2. Kaasalainen S., Krooks A., Kukko A., Kaartinen H. Radiometric Calibration of Terrestrial Laser Scanners with External Reference Targets. *Remote Sensing*, 2009, No. 1 (3). P. 144-158.
3. Kukko A., Kaasalainen S., Litkey P. Effect of Incidence Angle on Laser Scanner Intensity and Surface Data. *Applied Optics*, 2008, No. 47 (7). P. 986-992.
4. Vain A., Kaasalainen S., Pyysalo U., Krooks A., Litkey P. Use of Naturally Available Reference Targets to Calibrate Airborne Laser Scanning Intensity Data. *Sensors*, 2009, No. 9 (4). P. 2780-2796.
5. Vain A., Yu X., Kaasalainen S., Hyypä J. Correcting Airborne Laser Scanning Intensity Data for Automatic Gain Control Effect. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2010, No. 7 (3). P. 511-514.
6. Favorskaya M.N., Jain L.C. *Handbook on Advances in Remote Sensing and Geographic Information Systems: Paradigms and Applications in Forest Landscape Modeling*. ISRL, Springer International Publishing, 2017. Vol. 122. 416 p. DOI 10.1007/978-3-319-52308-8_2.
7. Anthony J. LaRocca, Robert E. Turner. *Atmospheric Transmittance and Radiance: Methods of Calculation*. Available at: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1975atrm.rept.....L> (accessed 29.01.2018).
8. Arola A., Eck T.F., Huttunen J.,

References

1. Ahmed Shaker, Wai Yeung Yan, Nagwa El-Ashmawy. *The Effects of Laser Reflection Angle on Radiometric Correction of the Airborne Lidar Intensity Data*. 2011.
2. Kaasalainen S., Krooks A., Kukko A., Kaartinen H. Radiometric Calibration of Terrestrial Laser Scanners with External Reference Targets. *Remote Sensing*, 2009, No. 1 (3), pp. 144-158.
3. Kukko A., Kaasalainen S., Litkey P. Effect of Incidence Angle on Laser Scanner Intensity and Surface Data. *Applied Optics*, 2008, No. 47 (7), pp. 986-992.
4. Vain A., Kaasalainen S., Pyysalo U., Krooks A., Litkey P. Use of Naturally Available Reference Targets to Calibrate Airborne Laser Scanning Intensity Data. *Sensors*, 2009, No. 9 (4), pp. 2780-2796.
5. Vain A., Yu X., Kaasalainen S., Hyypä J. Correcting Airborne Laser Scanning Intensity Data For Automatic Gain Control Effect. *IEEE Geoscience and Remote Sensing Letters*, 2010, No. 7 (3), pp. 511-514.
6. Favorskaya M.N., Jain L.C. *Handbook on Advances in Remote Sensing and Geographic Information Systems: Paradigms and Applications in Forest Landscape Modeling*. ISRL, Springer International Publishing, 2017. Vol. 122. 416 p. DOI 10.1007/978-3-319-52308-8_2.
7. Anthony J. LaRocca, Robert E. Turner. *Atmospheric Transmittance and Radiance: Methods of Calculation*. Available at: <http://adsabs.harvard.edu/abs/1975atrm.rept.....L> (accessed 29.01.2018).
8. Arola A., Eck T.F., Huttunen J.,

Lehtinen K.E.J., Lindfors A.V., Myhre G., Smirnov A., Tripathi S.N., Yu H. Influence of Observed Diurnal Cycles of Aerosol Optical Depth on Aerosol Direct Radioactive Effect. *Atmos. Chem. Phys.* 2013, No. 13. P. 7895-7901. Available at: www.atmos-chem-phys.net/13/7895/2013 (accessed 29.01.2018). DOI:10.5194/acp-13-7895-2013.

Lehtinen K.E.J., Lindfors A.V., Myhre G., Smirnov A., Tripathi S.N., Yu H. Influence of Observed Diurnal Cycles of Aerosol Optical Depth on Aerosol Direct Radioactive Effect. *Atmos. Chem. Phys.*, 2013, No. 13, pp. 7895-7901. Available at: www.atmos-chem-phys.net/13/7895/2013 (accessed 29.01.2018). DOI:10.5194/acp-13-7895-2013.

Авторы

• Эминов Рамиз Ахмед оглы, канд. техн. наук,
Азербайджанский государственный университет
нефти и промышленности
Доцент кафедры «Поиск и разведка
месторождений нефти и газа»
Азербайджанская Республика, Az1010, Баку,
пр. Азадлыг, 20
e-mail: Eminovramiz@Mail.Ru

• Гусейнли Эльмир Имран оглы
Докторант Института водных проблем
Азербайджанская Республика, AZ 1010, Баку,
пр. Азадлыг, 20
e-mail: Elmir-Huseynov_91@mail.Ru

The Authors

• Eminov Ramiz A., Candidate of Engineering
Sciences
Azerbaijan State Oil and Industry University
Assistant Professor of Search and Survey of Oil
and Gas Deposits Department
20, Azadlig ave., Baku, Az1010, Republic
of Azerbaijan
e-mail: Eminovramiz@Mail.Ru

• Huseynli Elmir Imran oglu
Doctorant of Institute of Water Problems
20, Azadliq ave., Baku, Republic of Azerbaijan,
AZ 1010
e-mail: Elmir-Huseynov_91@mail.ru