DOI: 10.17122/ntj-oil-2019-1-120-125
УДК 614.841.345

С.Б. Вердиев (Азербайджанский университет архитектуры и строительства,
г. Баку, Азербайджанская Республика)

ОПТИМИЗАЦИЯ ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Sefail B. Verdyev (Azerbaijan University of Architecture and Construction,
Baku, Republic of Azerbaijan)

LASER SCANNING OPTIMIZATION OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES OF OIL AND GAS INDUSTRIAL OBJECTS

Введение

Во многих областях нефтегазовой отрасли, например, при прокладке магистральных трубопроводов, при строительстве нефтехранилищ, а также оснований нефтеперегонных установок возникает необходимость измерения расстояния до недоступных удаленных объектов, конструктивно выполненных из различных материалов, включая сталь и бетон. Объект может иметь бетонное основание со стальной надстройкой или иметь конструктивные элементы, изготовленные из железобетона.

Фактор выбора места установки охватывает как особенности самого инструмента, так и стабильность его основания, а также влияние объектов, находящихся поблизости инструмента. Измерение дистанции подвержено воздействию атмосферных условий, наличие температурных градиентов может привести к искривлению траектории прохождения оптического луча при измерении. Точность измерений также зависит от типа объекта, материала, угла между плоскостью поверхности объекта и направлением траектории измерений.

Цели и задачи:

- анализ экспериментальных работ по измерению лазерными дальномерами расстояний до объектов, изготовленных из различных материалов;

Background

In many areas of the oil and gas industry, for example, when main pipelines and oil storages construction, as well as oil distillation units foundations, the need to measure the distance to inaccessible remote objects made of various materials, including steel and concrete arises. The object can have a concrete foundation with a steel superstructure or have structural elements made of reinforced concrete.

The installation location factor covers both the instrument features and the foundation stability, as well as the objects influence in the instrument vicinity. Distance measurement is exposed to atmospheric conditions, the temperature gradients can lead to a curvature of the optical beam trajectory during measurement. Measurements accuracy also depends on the type of object, material, angle between the object surface plane and the measurement path direction.

Aims and Objectives

- analysis of experimental work on the distances measurement by laser rangefinders to objects made of various materials;

- оптимизация лазерного сканирования железобетонных узлов нефтегазового оборудования.

Результаты

С учетом зависимости погрешности измерений от угла падения луча, материала поверхности и типа самого материала сформулирована математическая задача линейного программирования, состоящая из ограничительных условий и целевой функции, заключающейся в минимизации количества необходимых измерений.

Сформулирована и решена конкретная модельная задача, заключающаяся в нахождении минимально возможного количества измерений удаленного объекта в нефтегазовой отрасли, изготовленного из железобетонных конструкций.

- optimization of laser scanning of reinforced concrete units of oil and gas equipment.

Results

Taking into account the dependence of the measurement error on the beam incidence angle, the surface material and the material type, a mathematical linear programming task is formulated, consisting of restrictive conditions and an objective function consisting in minimizing the necessary measurements number.

A specific model problem has been formulated and solved, which consists in finding the minimum possible measurements number of a remote object in the oil and gas industry, made of reinforced concrete structures.

Ключевые слова: лазерный сканер, измерения, железобетон, оптимизация, линейное программирование

Key words: laser scanner, measurements, reinforced concrete, optimization, linear programming

Во многих областях нефтегазовой отрасли, например, при прокладке магистральных трубопроводов, при строительстве нефтехранилищ, а также оснований нефтеперегонных установок возникает необходимость измерения расстояния до недоступных удаленных объектов, конструктивно выполненных из различных материалов, включая сталь и бетон. Так, интересующий объект может иметь бетонное основание со стальной надстройкой или иметь конструктивные элементы, изготовленные из железобетона.

Как отмечается в работе [1], *точность измерений* вышеуказанных удаленных узлов в нефтегазовом хозяйстве, включая трубы и трубные стойки, с использованием электронных тахеометров и лазерных сканеров всегда *зависит от трех факторов*: 1) выбора точки установки измерительного прибора; 2) расстояние; 3) выбор объекта измерения.

Фактор выбора места установки измерительного прибора зависит как от особенностей самого инструмента, так и стабильности его основания, а также от влияния объектов, находящихся поблизости инструмента.

Измерение дистанции подвержено воздействию атмосферных условий, которые влияют на скорость распространения сигнала. Кроме того, наличие температурных градиентов может привести к искривлению траектории прохождения оптического луча при измерении.

Точность измерений также зависит от типа объекта, его материала, угла между плоскостью поверхности объекта и направлением траектории измерений. Согласно работе [2], ослабление лазерного луча из-за диффузного рассеяния, абсорбции и уширения может привести к возникновению задержки при приеме ослабленного отраженного ла-

зерного луча с энергетическими показателями ниже определенного порогового уровня.

Как отмечается в работе [3], при проведении безрефлекторных измерений эффект значительного влияния угла падения лазерного луча применительно к матовым поверхностям в пределах заявленной точности измерителя почти отсутствует. Вместе с тем, если в качестве объекта используется фольга с высокими отражательными характеристиками, то существует определенное критическое значение угла падения, сверх которого измерение дистанции между измерителем и объектом оказывается невозможным.

Согласно работе [4], с увеличением угла падения происходит рост суммарных шумов. На рисунке 1 показаны кривые зависимости погрешностей измерения расстояния в зависимости от угла падения и расстояния до объекта.

Рисунок 1. График погрешности измерения расстояния в зависимости от угла падения и расстояния до объекта (жирной линией показана зависимость погрешности измерения при устранении влияния угла падения) [4]

В работе [5] представлена оценка влияния различных материалов на проводимые измерения расстояния до объектов с помощью лазерного сканера. Рассмотрено влияние двух таких факторов, как материал поверхности и угол сканирования.

Измерения проводились лазерным сканером Leica Scanstation 2 на расстоянии от 17 до 290 м до объектов, изготовленных из таких материалов, как корродированная стальная плита и бетон.

Результаты проведенных измерений показаны в таблице 1.

Как видно из представленных в таблице 1 данных, рассмотренные материалы резко различаются по своим характеристикам, что актуализирует задачу оптимизации измерения расстояния до сложных функциональных узлов и агрегатов нефтегазового хозяйства, изготовленных из различных материалов.

Дадим общую математическую формулировку задачи оптимизации.

Допустим, что интересующий нас объект изготовлен из m различных материалов, имеется возможность измерить объект при различных углах падения, общее количество которых равно n .

Считаем, что при фиксированном угле α_j в результате измерений, включая измерения всех различных конструктивных материалов, может быть сформирован суммарный сигнал $U_{\Sigma}(\alpha_j)$, определяемый как

$$U_{\Sigma}(\alpha_j) = N_1 U_1(\alpha_j) + N_2 U_2(\alpha_j) + \dots + N_i U_i(\alpha_j) \dots + N_m U_m(\alpha_j), \quad (1)$$

где N_i - количество измеренных точек на той части поверхности объекта, которая изготовлена из материала под номером i , сигнал с которого оценивается как U_i .

При этом ставится условие, что суммарная величина отношения сигнал / шум была не меньше заранее заданной величины $\gamma(\alpha_j)$, т.е.

$$\sum_{i=1}^m N_i \frac{U_i(\alpha_j)}{\delta(\alpha_j)} \geq \gamma(\alpha_j), \quad (2)$$

где $\delta(\alpha_j)$ - шумы измерений при угле α_j .

С учетом $j = \overline{(1, n)}$ выражение (2) можно интерпретировать как ограничительные условия задачи оптимизации с применением метода линейного программирования.

Таблица 1. Результаты измерений лазерным сканером Leica Scanstation 2

Расстояние, м	Угол падения	Сталь (интенсивность сигнала, у.е.)	Бетон (интенсивность сигнала, у.е.)
75	$\alpha_1 = 0^\circ$	0,20	0,35
75	$\alpha_2 = 22,5^\circ$	0,17	0,35
75	$\alpha_3 = 67^\circ$	0,06	0,12

В качестве целевой функции выберем следующее выражение:

$$\sum_{i=1}^m N_i \rightarrow \min. \quad (3)$$

Таким образом, сформулированная *задача оптимизации измерения расстояния* до сложных удаленных конструктивных узлов нефтегазового хозяйства, изготовленных из различных материалов, заключается в нахождении элементов множества $\{N_i\}$, при которых выполняется условие (3) при заданных $U_i(\alpha_j)$, $\delta(\alpha_j)$ и $\gamma(\alpha_j)$.

Используя данные, приведенные в таблице 1, приведем пример решения конкретной упрощенной задачи оптимизации удаленного объекта, изготовленного из двух различных конструкционных материалов: сталь и бетон.

Применительно к рассматриваемому двухкомпонентному удаленному объекту условие (2) может быть записано в развернутом виде (условно считаем, что $\delta(\alpha_j)=1$)

$$\begin{aligned} N_1 U_1(\alpha_1) + N_2 U_2(\alpha_1) &\geq \gamma(\alpha_1) \\ N_1 U_2(\alpha_2) + N_2 U_2(\alpha_2) &\geq \gamma(\alpha_2) \\ N_1 U_1(\alpha_3) + N_2 U_2(\alpha_3) &\geq \gamma(\alpha_3). \end{aligned} \quad (4)$$

Целевая функция имеет вид

$$\sum_{j=1}^2 N_j \rightarrow \min. \quad (5)$$

Таким образом, требуется нахождение оптимальных величин N_j , при которых удовлетворяются условия (4) и (5).

Для проведения конкретных модельных вычислений условно примем:

$$\gamma_1 = 10; \gamma_2 = 5; \gamma_3 = 3. \quad (6)$$

С учетом данных, приведенных в таблице 1, и оценок (6) ограничительные условия (4) принимают следующий вид:

$$0,2 N_1 + 0,35 N_2 \geq 6 \quad (7)$$

$$0,17 N_1 + 0,35 N_2 \geq 4 \quad (8)$$

$$0,06 N_1 + 0,12 N_2 \geq 2. \quad (9)$$

Целевая функция с учетом (5) принимает следующий вид

$$N_1 + N_2 \rightarrow \min. \quad (10)$$

Геометрическое решение рассматриваемой модельной задачи показано на рисунке 2.

Как видно из приведенного на рисунке 2 геометрического решения рассматриваемой модельной задачи, в точке S_1 имеем решение: $N_{1opt} \approx 2$, $N_{2opt} \approx 11$.

Следовательно, суммарное минимальное количество измерений, позволяющее выполнить условия (7)-(9), равно 13. Как нетрудно заметить, при выборе узловой точки S_2 суммарное минимальное количество измерений возросло бы до 15.

Таким образом, предлагаемая методика позволяет оптимизировать измерения сложнокомпонентных объектов дистанционным путем в смысле минимизации необходимого количества измерительных операций.

aa_1 - ограничительная линия, соответствующая условию (7);
 bb_1 - ограничительная линия, соответствующая условию (8);
 cc_1 - ограничительная линия, соответствующая условию (9);
 KK_1 - линия, перпендикулярная линии OO_1 ;
 S, S_1 - узловые точки;
 N_{1opt} и N_{2opt} - оптимальные значения N_1 и N_2 , при которых выполняются условия (7)-(9) и (3);
 OO_1 - вектор, составленный из компонентов (1, 1) с учётом $\frac{\partial F}{\partial N_1} = 1, \frac{\partial F}{\partial N_2} = 1$.

Рисунок 2. Геометрическое решение модельной задачи

Выводы

1. Приведен краткий обзор экспериментальных работ по определению позиций различных производственных объектов лазерным сканером.

2. С учетом зависимости погрешности измерений от угла падения луча, материала поверхности и типа самого материала сформулирована математическая задача линейно-

го программирования, состоящая из ограничительных условий и целевой функции, заключающаяся в минимизации количества необходимых измерений.

3. Сформулирована и решена конкретная модельная задача, заключающаяся в нахождении минимально возможного количества измерений удаленного объекта, состоящего из бетона и стали.

Список литературы

1. Lienhart W. Geotechnical Monitoring using Total Station and Laser Scanners: Critical Aspect and Solutions // *Journal of Civil Structures for Health Monitoring*. 2017. No. 7. P. 315-324.
2. Lichti D.D., Harvey B.R. The Effect of Reflecting Surface Material Properties on Time - of Flight Laser Scanner Measurements // *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*. Ottawa 2002. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.5103&rep=rep1&type=pdf>.
3. Daliga K., Kuralovicz Z. Examination Method of the Effect of the Incidence Angle of Lazer Beam on Distance Measurement Accuracy to Surfaces with Different Colour and Roughness // *BCG - Boletim de Ciencias Geodesicas*. On-Line Version. ISSN 1982-2170. <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000300024>. Bol. Ciene. Geod., Sec. Artigos, Curitiba. 2016. Vol. 22. No. 3. P. 420-436.
4. Soudarissanane, Roderik Lindenbergh, Massimo Menenti and Peter Teunissen. Incidence Angle Influence on the Quality of Terrestrial Laser Scanning Points / Bretar F., Pierrot-Deseiligny M., Vosselman G. (Eds) // *Laser Scanning*. 2009. IAPRS, Vol. XXXVIII, Part 3/W8 - Paris, France, September 1-2, 2009. P. 183-188.
5. Kedrierski M., Walczykowski P., Fryskowaka A. Application of Terrestrial Lazer Scanning in Assessment of Hydrotechnic Objects Condition // *ASPRS 2009. Annual Conference Baltimore*, Maryland. March 9-13, 2009. <https://www.asprs.org/a/publications/proceedings/baltimore09>.

Автор

• Вердиев Сафаиль Багир оглы
Азербайджанский университет архитектуры
и строительства
Старший преподаватель кафедры «Геоматика»
Азербайджанская Республика, AZ 1073,
г. Баку, ул. Айна Султанова, 5
e-mail:sefail.verdiyev@gmail.com

References

1. Lienhart W. Geotechnical Monitoring Using Total Stations and Laser Scanners: Critical Aspects and Solutions. *Journal of Civil Structures for Health Monitoring*, 2017. No. 7, pp. 315-324.
2. Lichti D.D., Harvey B.R. The Effect of Reflecting Surface Material Properties on Time - of Flight Laser Scanner Measurements. *Symposium on Geospatial Theory, Processing and Applications*, Ottawa, 2002. Available at: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.123.5103&rep=rep1&type=pdf>.
3. Daliga K., Kuralovicz Z. Examination Method of the Effect of the Incidence Angle of Lazer Beam on Distance Measurement Accuracy to Surfaces with Different Colour and Roughness. *Boletim de Ciencias Geodesicas, sec. Artigos, Curitiba*, 2016, Vol. 22, No. 3, pp. 420-436. ISSN 1982-2170. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/S1982-21702016000300024>.
4. Soudarissanane, Roderik Lindenbergh, Massimo Menenti, Peter Teunissen. *Incidence Angle Influence on the Quality of Terrestrial Laser Scanning Points*. France, IAPRS, 2009, Vol. XXXVIII, Part 3/W8, pp. 183-188.
5. Kedrierski M., Walczykowski P., Fryskowaka A. Application of Terrestrial Lazer Scanning in Assessment of Hydrotechnic Objects Condition. *Annual Conference Baltimore*, Maryland, 2009, pp. 9-13. Available at: <https://www.asprs.org/a/publications/proceedings/baltimore09>.

The Author

• Verdyev Sefail B.
Azerbaijan University of Architecture
and Construction
Senior Lecturer of Geomatics Department
5, Ain Sultanov str., Baku, AZ 1073,
Republic of Azerbaijan
e-mail: sefail.verdiyev@gmail.com