УДК 336.45:69

ОБОСНОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ВОЗДУШНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ ЛИНЕЙНЫХ И ПЛОЩАДНЫХ ОБЪЕКТОВ ПРИ СТРОИТЕЛЬСТВЕ СЛОЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ НЕФТЕГАЗОВОГО КОМПЛЕКСА

Родненко И.Н., Каницкая Л.В.

ФГБОУ ВО «Байкальский государственный университет», Иркутск, e-mail: ivan_81sss@mail.ru

Целью работы является оценка издержек на различные типы работ каждого из циклов изысканий: традиционными способами и методом воздушного лазерного сканирования (ВЛС) при геодезических изысканиях на нефтегазовых месторождениях северных районах Восточной Сибири. В статье указаны основные преимущества ВЛС перед «классическим» геодезическим методом изысканий в техническом плане. Показано, что в настоящее время нет данных о стоимости полного комплекса проведения ВЛС для топографо-геодезических работ. Нами оценены издержки на различные типы работ внутри каждого из циклов изысканий, как традиционным методом, так и методом ВЛС. Показано, что 40% стоимости работ при «классическом» методе приходится на организацию лагеря изыскательской экспедиции и 47% – на полевые исследования, тогда как при ВЛС данные издержки соответственно в 12 и 5 раз ниже. Установлено, что использование метода ВЛС позволит в 6,4 раза сократить издержки на топографо-геодезические изыскания при сооружении линейных и площадных сооружений нефтегазового комплекса Восточной Сибири.

Ключевые слова: воздушное лазерное сканирование (ВЛС), изыскания, нефтегазовые месторождения, экономический эффект

ECONOMIC EFFICIENCY SUBSTANTIATION OF AIRBORNE LASER SCANNING METHOD FOR LINEAR AND AREAL FACILITIES WHEN CONSTRUCTING COMPLICATED PROCESS FACILITIES IN OIL AND GAS COMPLEX

Rodnenko I.N., Kanitskaya L.V.

Baikal State University, Irkutsk, e-mail: ivan_81sss@mail.ru

The purpose of the work is an estimate of cost for different types of works of each of the cycles of surveying: by traditional approaches and by an aerial laser scanning (ALS) during geodesic surveys in the oil and gas fields of the northern regions of the Eastern Siberia. The article points out the main advantages of (ALS) over the «classical» geodesic method of surveys from the technical point of view. It shows that at present there are no data on the cost of the complete complex of carrying out ALS for topographic and geodesic surveying. We estimated the cost for different types of works inside each of cycles of surveys both as by traditional method and ALS method. It shows that 40% of works cost by means of «classical» method falls on organization of surveyors expedition camp and 47% – on field surveying with that by means of ALS this cost is consequently 12 and 5 times lower. It is found the use of ALS method will allow to cut down the cost at 6.4 times for topographic and geodesic surveying during construction of linear and areal structures of oil and gas complex of Eastern Siberia.

Keywords: aerial laser scanning (ALS), surveys, oil and gas fields, economic effect

Активное освоение нефтегазовых месторождений Восточной Сибири привело к увеличению объёмов строительных работ в нефтегазовом комплексе, как на объектах нефтегазодобычи, так и на объектах транспортировки и переработки углеводородов. Строительство новых объектов требует большого объема проектно-изыскательских работ, выполненных быстро, качественно и с соблюдением нормативной документации. Одним из способов ускорения сроков изыскательских работ, повышения точности, экономичности является воздушное лазерное сканирование (ВЛС), имеющее ряд преимуществ по сравнению с использованием традиционных технологий геодезических изысканий.

Первые ВЛС-системы были произведены в середине 1990-х гг., и Россия наряду с такими странами как Канада, США

и Япония, вошла в четверку стран начавших первыми использовать эти системы. На сегодняшний день воздушное лазерное сканирование – самый современный метод сбора геопространственной информации о местности. Одновременно с воздушным лазерным сканированием проводится цифровая аэросъёмка. Результатом ВЛС является трехмерная точечная модель земной поверхности в заданной системе координат и набор цифровых аэрофотоснимков с известными элементами внешнего ориентирования.

В табл. 1 приведены основные параметры, характеризующие традиционную технологию геодезической съёмки и изыскания с использованием ВЛС.

Анализ данных табл. 1 показывает, что традиционный метод значительно проигрывает

вает методу ВЛС по многим показателям. Кроме того, в работах [1, 4–9, 11] авторы выделили следующие преимущества воздушного лазерного сканирования по сравнению с другими методами инженерно-геодезических изысканий:

- картографирование труднодоступных участков местности, таких как заболоченные и залесенные территории, где применение других методов съёмок трудоёмко и дорогостояще;

- высокая точность плановых и высотных измерений, не зависящая от физиологических ограничений человека и от индивидуальных ошибок;

- обработка результатов воздушного лазерного сканирования более технологична, оперативна и производительна по сравнению с другими методами;

- получение цифровых топографических планов (ЦТП) методом одновременной аэрофотосъёмки и воздушного лазерного сканирования;

- большая ширина исходной съёмки и высокая детализация ЦТП при проектировании позволяют учесть все нюансы местности;

- фиксация до четырех отражений одного посланного импульса (возможность разделения верха растительности и поверхности земли);

- оперативность получения конечных данных. Конечные картографические материалы могут быть готовы в течение нескольких дней (в зависимости от объёма работ).

Обычно при использовании традиционного метода геодезических изысканий трассирование и размещение промышленных площадок для технико-экономического обоснования проекта (ТЭО) и выдачи технического задания на производство работ осуществляют по топографическим планам и картам крупных масштабов (1:10000, 1:25000), которые не имеют достаточной детализации. Поэтому зачастую объекты на местности размещают, как говорят, «на глазок».

На этапе полевых работ ширина линейной съёмки составляет порядка 100 м. Это резко снижает возможности разработки различных вариантов проектов строительства таких нефтегазовых объектов, как системы сбора нефти и газа, системы внешнего транспорта и т.п. Кроме того, при данной технологии линейной съёмки существует множество ограничений, которые обусловлены исключительно физиологическими данными человека. В частности, при выполнении геодезической съёмки в сравнении с ВЛС плотность точек на местности

небольшая. К тому же при производстве работ в зимний период времени согласно СП 11-104-97 п. 5.59 инженерно-топографические планы, составленные в результате (по материалам) съёмки при высоте снежного покрова более 20 см, подлежат обновлению в благоприятный период года [11]. Практика показывает, что подобные обстоятельства при проведении геодезических работ приводят к необходимости проведения неоднократных дополнительных съёмок, а это – прямые издержки, как временные, так и материальные.

Анализ различных доступных источников относительно стоимости всего цикла работ, выполняемых традиционным способом и ВЛС, показал, что таких данных нет. Имеются отдельные сведения по сравнению трудозатрат на инженерные изыскания, которые проводят с использованием традиционной технологии и методом мобильного лазерного сканирования [3]. Однако в этой статье не указано количество человек, занятых в работах, и авторы лишь констатируют, что метод лазерного сканирования более эффективен. Автор статей [7, 8] указывая пропорцию стоимости единицы объёма материалов аэросъёмки, по отношению к стоимости наземных съёмок, которая составила 1:3, не приводит никаких данных, для подтверждения своих расчетов и не указывает регион проведения работ, что весьма важно. Однако в этих статьях говорится, что одним из неудобств для расчета стоимости аэрофотосъёмки является отдельный учет объектов в каждом проекте, т.к. зависимость от мест базирования воздушного судна оказывает существенное влияние на конечную стоимость готового материала.

Автор работы [10] приводит данные себестоимости ВЛС с геопривязкой и уравниванием, которые составляют в зависимости от региона изысканий около 3500–8000 р. за 1 км². Однако при расчете себестоимости ВЛС не указаны типы работ. В работе [2], напротив, приведены данные об относительной величине издержек на отдельные типы работ при проведении ВЛС с использованием наемного летательного средства, но абсолютных цифр издержек нет. Однако в статье говорится, что «несмотря на достаточно длительное использование лазерного сканирования в инженерных изысканиях (более 10 лет), до сих пор отсутствуют документы, регламентирующие правила выполнения работ, нормы времени и базовые цены. На данный момент существует не только теоретическое обоснование использования данных воздушного лазерного сканирования для решения инженерно-геологических задач, но и практическое. Од-

нако использование как самого воздушного лазерного сканирования, так и дешифрирования... является необоснованным ввиду отсутствия свода правил (СП) и расценок в сборнике базовых цен... необходимо разработать базовые цены для проведения всего комплекса лазерного сканирования от полевых работ до обработки полученного материала, соответственно необходимо разработать нормы времени для подсчёта сметной стоимости работ. Тем самым узаконить данные виды работ, прояснив финансовые и временные затраты на выполнение воздушного лазерного сканирования и многократного использования полученных данных при сканировании» [2].

В связи с вышесказанным работа, в которой мы даем обоснование экономической целесообразности применения метода ВЛС при строительстве линейных и площадных объектов нефтегазового комплекса (НГК) достаточно актуальна. Целью настоящей работы является оценка издержек на различные типы работ каждого из циклов изысканий: традиционных геодезических и методом ВЛС.

Обычно все работы по освоению нефтегазовых месторождений компании-операторы начинают с планирования и синхронизации сроков различных типов работ по реализации этапов капитального строительства объектов нефтегазодобычи, например, таких как кустовые площадки, трубопроводы, ЛЭП, с одновременным формированием планов капитальных вложений. Первый этап – это проектно-изыскательские работы (ПИР). Так, например, в структуре ОАО «НК» Роснефть» по различным сложным технологическим объектам на этап ПИР обычно отводят 24 месяца. Около четырех месяцев выделяют на инженерные изыскания. Однако время инженерных изысканий может быть увеличено при значительной протяженности и труднодоступности линейных и площадных объектов.

Полевые изыскательские работы подразделяют на два типа: геодезические и геологические. Геологические изыскания – это особый тип работ, не поддающийся в настоящее время усовершенствованию. Следовательно, издержки на работы по геологическому изысканию невозможно снизить.

Таблица 1

Параметры съемки методом ВЛС и традиционным методом [6–10, 12]

Параметр	Метод съемки	
	ВЛС	традиционный
Плотность точечной модели местности	не менее 2 точек на м ²	1 точка на 100–200 м ²
Точность цифровой модели местности	по высоте не 15 см при высоте 1200 м и 7–8 см в плане	относительно
Аэрофотосъемка и составляемые по ней ортофотопланы	размер пикселя на местности 4–5 см	отсутствует
Ширина полосы съемки	от 0 до 93% от высоты полёта	Не более 100 м
Скорость выполнения съемки	Зависит от скорости воздушного судна, в среднем 150–200 км/ч	1–2 км/день в зависимости от местности

Таблица 2

Издержки на основные типы работ при традиционном и ВЛС методе изысканий

Типы работ	Распределение издержек по работам			
	Традиционный метод*		Метод ВЛС**	
	Издержки, руб./ км ²	Издержки внутри цикла, проц.	Издержки, руб./ км ²	Издержки внутри цикла, проц.
Организация лагеря	869 392	40,09	67 608	20,01
Полевые работы	1 034 171	47,69	190 592	56,41
Камеральная обработка полевых материалов	28 191	1,30	28 212	8,35
Создание цифровых топографических планов различных масштабов	236 803	10,92	51 457	15,23
Итого:	2 168 527	100	337 869	100

Примечание. *Используемое оборудование: приемники GPS/ГЛОНАСС, электронные тахеометры и нивелиры, компьютеры и специализированное ПО. **Используемое оборудование: воздушный сканер, цифровая аэро-фотокамера, GPS-приемники, специализированное ПО.

Топографические планы являются исходным материалом для всего комплекса работ по проектированию объектов НГК. Неточности в создании топографических планов и недостаточный объем данных обычно не позволяют разработать многовариантные решения по строительству объекта, для того чтобы можно было выбрать оптимальный вариант его технических и экономических параметров. А в дальнейшем эти недоработки могут сказаться и на экономике эксплуатации инженерных сооружений нефтегазового комплекса [6, 11].

Однако, как показала практика, при использовании ВЛС на таких объектах как нефтепроводы «ВСТО», «ВСТО-2», нефтеконденсатопровод «Уренгой – Пур-Пэ», нефтегазоконденсатные месторождения ОАО «НГК «Славнефть», БАМ и Транссибирская магистраль, высокоскоростная железнодорожная магистраль «Москва – Казань», временные затраты и издержки можно снизить за счет проведения геодезических работ с помощью метода ВЛС [1, 9, 11, 12].

Проводится краткий экономический анализ различных методов изысканий в Катангском районе Иркутской области при строительстве системы сбора нефти (табл. 2). Данные по методу ВЛС приведены для компаний, имеющих собственные летательные средства.

Из данных табл. 2 видно, что 40% стоимости работ при традиционном методе приходится на организацию лагеря изыскательской экспедиции и 47% – на полевые исследования, тогда как при ВЛС данные издержки соответственно в 12 и 5 раз ниже. Причем следует особо отметить, что основные статьи расходов на организацию лагеря изыскательской экспедиции – это транспортные расходы и расходы на проживание работников. При повторных выездах к месту проведения работ или увеличении срока пребывания в «поле» эти расходы сохраняются и существенно увеличивают общие издержки при проведении изысканий.

Анализ данных табл. 2 также показал, что отношение стоимости изысканий методом ВЛС в Катангском районе Иркутской области к стоимости проведения их традиционным методом составляет 1:6,4.

Таким образом, после обработки данных, полученных методом ВЛС (ортофотопланы, цифровой рельеф местности и др.) можно выполнять камеральное размещение линейных и площадных инженерных сооружений без создания окончательных топографических планов. Разрабатывать

многовариантные способы разработки месторождений, выбирая затем оптимальный в технологическом и экономическом планах, а необходимые для проектирования топографические материалы предоставить на окончательный вариант размещения объекта, что даст немалую экономию средств. Известно, что с увеличением площади изыскиваемой территории рентабельность возрастает в линейной пропорции, а поскольку нефтегазовые месторождения Восточной Сибири находятся в отдаленных малозаселенных северных районах с неразвитой инфраструктурой и с большими площадями изысканий, то ВЛС позволит существенно сэкономить материальные, трудовые ресурсы и как минимум в 6 раз сократить издержки на топографо-геодезические изыскания при сооружении объектов нефтегазодобычи.

Список литературы

1. Алексеенко Н.Н. Инженерные изыскания и обследование зданий. Специальное строительство [Текст] / Н.Н. Алексеенко // Вестник МГСУ – 2016. – № 2. – С. 62–73.
2. Баборыкин М.Ю. Многоцелевое использование воздушного лазерного сканирования. Ценообразование. Нормирование [Электронный ресурс] / М.Ю. Баборыкин // Geoinfo.ru. электронный журнал – 06. 03. 2016. – URL: http://www.geoinfo.ru/includes/periodics/eljom_all_articles/2016/0306/000011418/detail.shtml (дата обращения: 06.10.16).
3. Байгулов А.Н. Романескул М.А. Шумилов Б.М., Губская М.М. Метод проектирования ремонтов автомобильных дорог на основе мобильного лазерного сканирования [Текст] / А.Н. Байгулов // САПР и ГИС автомобильных дорог – 2013. – № 1. – С. 29–32.
4. Баборыкин М.Ю. Жидиляева Е.В. Методика проведения мониторинга на объекте «Южный поток» [Текст] / М.Ю. Баборыкин // Сфера. Нефть и газ – 2014. – № 3. – С. 16–27.
5. Буньковский В.И. Перспективы привлечения инвестиций для развития топливно – энергетического комплекса Иркутской области. [Текст] / В.И. Буньковский // Вестник Иркутского государственного технического университета – 2012. – № 3. – С. 140–146.
6. Малинин В.В. Использование лазерного сканирования при создании топографических планов. Применение новейших технологий в области лазерного сканирования объектов нефтегазового комплекса [Текст] / В.В. Малинин // Oil Gas J. Rus. – 2010. – № 3. – С. 1–2.
7. Пация А.М. Данные дистанционного зондирования Земли – основа ГИС нефтегазовых предприятий [Текст] / А.М. Пация // Геоматика – 2011. – № 1. – С. 52–54.
8. Пация А.М. Геоинформатика – выгодный инструмент для предприятий нефтегазовой отрасли [Текст] / А.М. Пация // Газпром добыча Краснодар развитие партнерства – 2011. – № 1. – С. 84–85.
9. Ризаев И.Г. Мищенко С.А. Представление данных лазерного сканирования при инженерных изысканиях [Текст] / И.Г. Ризаев // Геопрофи – 2006. – № 5. – С. 45–48.
10. Рыльский И.А. Лазерное сканирование и цифровая аэрофотосъемка: новый уровень детальности [Текст] / И.А. Рыльский // Геоматика – 2015. – № 4. – С. 53–56.
11. Семенов В.И. Космические технологии и лазерное сканирование для нефтегазового строительства [Текст] / В.И. Семенов // Трубопроводный транспорт теория и практика – 2011. – № 1. – С. 4–8.

12. Черкесов С.Н. Применение воздушного лазерного сканирования в нефтегазовой отрасли [Текст] / С.Н. Черкесов // Геопрофи – 2006. – № 4. – С. 57–59.

13. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. – Введ. С 01.01.98. – Москва: Изд-во стандартов, 1997.

References

1. Alekseenko N.N. Inzhenernye izyskaniya i obsledovanie zdaniy. Specialnoe stroitel-stvo [Текст] / N.N. Alekseenko // Vestnik MGSU 2016. no. 2. pp. 62–73.

2. Baborykin M.Ju. Mnogocelovoe ispolzovanie vozdušnogo lazernogo skanirovaniya. Ceno-obrazovanie. Normirovanie [Elektronnyj resurs] / M. Ju. Baborykin // Geoinfo.ru. jelek-tronnyj zhurnal 06. 03. 2016. URL: http://www.geoinfo.ru/includes/periodics/eljorn_all_articles/2016/0306/000011418/detail.shtml (data obrashhenija: 06.10.16).

3. Bajgulov A.N. Romaneskul M.A. Shumilov B.M., Gubskaja M.M. Metod proektirovaniya remon-tov avtomobilnyh dorog na osnove mobilnogo lazernogo skanirovaniya [Текст] / A.N. Bajgulov // SAPR i GIS avtomobilnyh dorog 2013. no. 1. pp. 29–32.

4. Baborykin M.Ju. Zhidiljaeva E.V. Metodika provedeniya monitoringa na ob#ekte «Juzhnyj potok» [Текст] / M.Ju. Baborykin // Sfera. Neft i gaz 2014. no. 3. pp. 16–27.

5. Bunkovskij V.I. Perspektivy privlechenija investicij dlja razvitiya toplivno jenergeti-cheskogo kompleksa Irkutskoj oblas-

ti. [Текст] / V.I. Bunkovskij // Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta 2012. no. 3. pp. 140–146.

6. Malinin V.V. Ispolzovanie lazernogo skanirovaniya pri sozdanii topograficheskikh pla-nov. Primenenie novejshih tehnologij v oblasti lazernogo skanirovaniya obektov neftegazovogo kompleksa [Текст] / V.V. Malinin // Oil Gas J. Rus. 2010. no. 3. pp. 1–2.

7. Pacija A.M. Dannye distancionnogo zondirovaniya Zemli osnova GIS neftegazovyh pred-prijatij [Текст] / A.M. Pacija // Geomatika 2011. no. 1. pp. 52–54.

8. Pacija A.M. Geoinformatika vygodnyj instrument dlja predprijatij neftegazovoj otras-li [Текст] / A.M. Pacija // Gazprom dobycha Krasnodar razvitie partnerstva 2011. no. 1. pp. 84–85.

9. Rizaev I.G. Mishhenko S.A. Predstavlenie dannyh lazernogo skanirovaniya pri inzhenernyh izyskaniyah [Текст] / I.G. Rizaev // Geoprofi 2006. no. 5. pp. 45–48.

10. Rylskij I.A. Lazernoe skanirovanie i cifrovaja ajerofotosemka: novyj uroven detal-nosti [Текст] / I.A. Rylskij // Geomatika 2015. no. 4. pp. 53–56.

11. Semenov V.I. Kosmicheskie tehnologii i lazernoe skanirovanie dlja neftegazovogo stroi-telstva [Текст] / V.I. Semenov // Truboprovodnyj transport teorija i praktika 2011. no. 1. pp. 4–8.

12. Cherkesov S.N. Primenenie vozdušnogo lazernogo skanirovaniya v neftegazovoj otras-li [Текст] / S.N. Cherkesov // Geoprofi 2006. no. 4. pp. 57–59.

13. СП 11-104-97. Инженерно-геодезические изыскания для строительства. Введ. С 01.01.98. Москва: Изд-во стандартов, 1997.