

РАЗДЕЛ 3. ПРИБОРОСТРОЕНИЕ, МЕТРОЛОГИЯ И ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

УДК 528.8.042:625.726

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Б.Ф.Азаров

В статье приводится описание методики использования технологии наземного лазерного сканирования для оценки объемов выполненных работ при ремонте автодорог. Показана возможность использования данной технологии для практического применения при строительстве, ремонте и реконструкции сети автодорог Алтайского края.

Ключевые слова: ремонт автодорог, дорожное полотно, наземное лазерное сканирование, цифровая модель, облако точек.

При ремонте автомобильных дорог выполняется комплекс работ по восстановлению износа дорожного покрытия, улучшению его ровности и повышению сцепных качеств, усилению дорожной одежды и земляного полотна, а также восстановлению изношенных конструкций и деталей дорожных сооружений или их замене на более прочные и экономичные.

При проведении работ по замене дорожного покрытия автомобильных дорог зачастую возникает вопрос корректной оценки объемов выполненных работ. Традиционно при приемке работ по ремонту автомобильных дорог для определения объемов выполненных работ руководствуются следующими нормативными документами: ВСН 19-89 «Правила приемки работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог» [1], РД-11-02-2006 «Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требования, предъявляемые к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения» [2]. Нормативные документы предполагают, что такие измерения следует выполнять классическими геодезическими приборами и методами с незначительной плотностью контрольных точек. Современные геодезические технологии позволяют перейти от классических геодезических методов определения геометрических параметров объектов, которые, по сути, являются дискретными (точечными) и автоматизи-

рованными (требующими вмешательства человека), к тотальным [3] (сплошным) и практически автоматическим (без участия человека) методам измерений. Одной из таких технологий и является технология наземного лазерного сканирования (НЛС).

Методика использования технологии НЛС предполагает описание порядка производства подготовительных работ, процесса сканирования и этапов обработки данных сканирования для получения количественной оценки объемов выполненных работ при ремонте дорожного полотна.

Для количественной оценки объемов выполненных работ при ремонте участка автодороги «Алейск-Родио-Кулунда-граница Республики Казахстан» длиной 2 км с помощью технологии НЛС использовался наземный лазерный сканер GLS-1500 и программы ScanMaster и Topocad.

Перед проведением наземного лазерного сканирования исследуемого участка автодороги необходимо создать планово-высотное обоснование. Точки обоснования закрепляются вне зоны работы строительных машин и механизмов по обеим сторонам дороги в шахматном порядке на расстоянии 100-200 м друг от друга. Так как обоснование создается только на время проведения работ, точки могут закрепляться временными знаками, например, металлическими штырями диаметром 12-14 мм. Определение координат и высот точек съемочного обоснования можно выполнять в условной системе, приняв за начало отсчета координаты точки съемочного обоснования, находящейся примерно в середине ис-

следуемого участка автодороги. Плановые координаты точек съемочного обоснования могут быть определены путем проложения по ним тахеометрического хода, либо полярным методом. При использовании полярной засечки координаты точек съемочного обоснования следует определять дважды с разных стоянок прибора. В любом случае точность определения плановых координат должна быть в пределах 5-10 мм. При использовании тахеометрического хода в качестве метода координирования точек съемочного обоснования о точности их планового положения судят по величинам средних квадратических ошибок по осям координат X и Y , полученным из уравнивания хода. В случае использования полярного метода координирования оценку точности планового положения следует выполнять по разностям соответствующих координат точек съемочного обоснования при их повторном определении во время создания обоснования. Так как в соответствии с Правилами [1] к высотам точек съемочного обоснования предъявляются повышенные требования, то для их определения по точкам съемочного обоснования необходимо прокладывать замкнутый нивелирный ход III или IV класса, в зависимости от длины участка, с тем, чтобы СКО определения превышения на станции хода была не более 3мм.

Перед проведением лазерного сканирования исследуемого участка автодороги необходимо выбрать соответствующую методику работ. Методика выполнения работ по наземному лазерному сканированию существенно зависит от характеристик объекта. Для линейных сооружений, в частности, для автодорог, кроме собственно сканирования, приходится дополнительно создавать планово-высотное обоснование, которое используется для геодезической привязки результатов сканирования, или их объединения в единую систему координат. Выбор метода геодезической привязки результатов сканирования зависит от условий района работ и его размеров [4]. Для приведения данных сканирования в единую систему координат необходимо при обработке измерений выполнить так называемую «регистрацию» – пространственную привязку каждого скана.

Согласно Руководству пользователя [5] при использовании сканера GLS-1500 возможно три варианта регистрации данных сканирования:

1)Регистрация по узловым точкам. В этом случае для каждой пары смежных сканов должны быть отсканированы минимум три общие специальные марки;

2)Регистрация по координатам точки стояния прибора и точки обратного ориентирования (ориентирного пункта - ОРП). В этом случае на станции обязательно должна быть отсканирована марка, установленная на ОРП;

3)Регистрация из обратной засечки. Для этого на сканерной станции обязательно должны быть отсканированы минимум две специальные марки с известными пространственными прямоугольными координатами.

Первый вариант регистрации данных сканирования для автодорог малоприменим, т.к. требует сканирования минимум трех общих марок на каждой сканерной станции. Практически это означает увеличение числа точек съемочного обоснования. Второй вариант регистрации требует предварительного создания точек съемочного обоснования и уравнивания их координат и высот по результатам геодезических измерений, т.к. их координаты и высоты используются на каждой точке стояния прибора перед сканированием. В случае использования третьего варианта регистрации сканируется минимальное количество марок (две) и нет необходимости в координатах точек съемочного обоснования во время сканирования.

Если результаты сканирования необходимо переориентировать в заданную для объекта систему координат, то для этого в процессе их обработки необходимо выполнить их геодезическую привязку, т.е. определить и задать координаты узловых точек (на практике – мест установки специальных марок), используемых для объединения данных сканирования с разных станций, в заданной системе координат. Выбор варианта регистрации данных сканирования определяет методику выполнения полевых работ при сканировании. По сути, речь идет о выборе схемы привязки точек стояния прибора (станций сканирования). Выбор схемы привязки зависит, во-первых, от того, заранее создавалось съемочное обоснование или же в процессе производства работ по сканированию и во-вторых, от плотности пунктов съемочного обоснования. Кроме того, на выбор того или иного способа привязки влияют требования к точности результатов сканирования.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

При сканировании автодорог оптимальным по затратам времени и точности методом сканирования является геодезическая привязка сканов обратной линейно-угловой засечкой по двум точкам съемочного обоснования [6]. В случае использования такого варианта положительным моментом является то, что место стоянки прибора не фиксируется на местности и выбирается достаточно произвольно, т.е. нет ограничения на величины угла при засечке и расстояние от прибора до точек съемочного обоснования. Единственное ограничение связано с конфигурацией засечки – следует избегать расположения прибора вблизи перпендикуляра к стороне съемочного обоснования, на концах которой устанавливаются специальные марки [7].

К отрицательным моментам следует отнести то, что перед сканированием марок, установленных на смежных точках съемочного обоснования, приходится вводить с табло прибора их высоты. При этом на точность привязки результатов сканирования по высоте будет оказывать влияние погрешность измерения высоты марок.

Обработка результатов наземного лазерного сканирования включает первичную и окончательную обработку данных, полученных на соответствующем этапе выполнения работ по ремонту автодороги.

Первичная обработка результатов сканирования включает в себя:

- геодезическую привязку сканов;
- создание по объединенным сканам облака точек на участок автодороги и удаление шумов;
- получение облака точек с приемлемой для дальнейшей обработки плотностью для отдельных фрагментов исследуемого участка автодороги;
- определение границ отдельных фрагментов, на которые был разбит исследуемый участок дороги;
- сохранение и экспорт границ отдельных фрагментов в виде DWG-файлов;
- получение облаков точек, по которым будут создаваться цифровые модели дорожного полотна, соответствующие разным стадиям ремонтных работ;
- сохранение и экспорт прореженных облаков точек каждого фрагмента в пределах их границ в виде TXT-файлов, содержащих координаты точек лазерных отражений, либо в виде DWG-файлов.

Первичная обработка данных сканирования выполняется в специализированном ПО ScanMaster, входящим в комплект при-

бора. Для выполнения геодезической привязки всех сканерных станций в единой системе координат в проект, созданный в программе ScanMaster, импортируется заранее созданный текстовый файл, содержащий координаты и отметки специальных марок с учетом высоты марки над точкой съемочного обоснования, которые сканировались на точках стояния прибора в процессе измерений в пределах всего участка автодороги. Регистрация сканов выполняется для каждой станции с использованием вкладки программы ScsnMaster «Засечка».

Далее на каждой станции по сканам создаются облака точек, из которых удаляются «шумы» - отразившиеся при сканировании посторонние предметы, не относящиеся к дорожному полотну автодороги. После удаления шумов все отдельные облака объединяются в общее для участка облако точек. Поскольку количество точек лазерных отражений в каждом скане велико (несколько миллионов точек), исследуемый участок автодороги целесообразно разбивать на километровые участки и создавать для них отдельные облака. Для уменьшения размеров облаков точек по каждому участку создаются новые облака с меньшим количеством точек путем использования функции «дискретность» ПО

ScanMaster. Дискретность – это регулируемое расстояние между точками облака после его «прореживания». Оптимальным значением дискретности является величина 1 м.

Границы отдельных фрагментов, на которые разбивается исследуемый участок дороги, устанавливаются путем создания полилиний в программе ScanMaster. С этой целью сначала создается несколько полилиний примерно перпендикулярных оси автодороги в пределах границ дорожного полотна. Средняя ширина участка вычисляется как среднее арифметическое из длин созданных полилиний. Для каждого участка в его пределах по концам этих полилиний проводится замкнутая полилиния, служащая границей участка. Для каждого участка также следует провести осевую линию так, чтобы конец осевой линии для первого участка совпал с началом осевой линии второго участка. Длина осевой линии соответствует длине участка. Границы участков используются при определении размеров облаков точек, по которым будут создаваться цифровые модели дорожного полотна, соответствующие разным стадиям ремонтных работ.

Окончательная обработка заключается в создании 3D-моделей дорожного полотна на разных стадиях производства ремонтных работ и в подсчете объемов между поверхностями, образуемыми этими моделями.

Перед вычислением объемов работ по ремонту дорожного полотна необходимо создать несколько цифровых моделей дорожного полотна (ЦМДП), отражающих его состояние на разных стадиях ремонта: до его выполнения, во время его проведения и после его окончания. Фактически по облакам точек создаются цифровые модели дорожного полотна на несколько стадий производства ремонтных работ в виде так называемых TIN-поверхностей – пространственных сетей нерегулярных треугольников, вершинами которых являются точки облаков.

Построение ЦМДП может быть выполнено в любой программе, позволяющей создавать TIN-поверхности и вычислять по ним объемы, куда можно импортировать облака точек в виде TXT- или DWG-файлов. Определение объемов работ, выполненных при ремонте дорожного полотна на исследуемом участке автодороги для контроля было проведено в двух программах: ScanMaster и Torocad. В обеих программах для построений поверхностей, между которыми выполнялся расчет объемов, использовались одни и те же исходные файлы «прореженных» и «обрезанных» облаков точек, созданные по данным сканирования исследуемого участка автодороги на разных этапах ремонтных работ. И в первой, и во второй программе подсчет объемов осуществлялся по одному способу – по усеченным вертикальным призмам, или по квадратам.

Для подсчета объемов работ в программе ScanMaster имеется специальная функция, при использовании которой в программе создается «поверхность с объемами», задающая область между фактической и проектируемой (плановой) поверхностями, для которой и определяется объем. Перед созданием поверхности с объемами в программе ScanMaster должны быть построены плановая и фактическая поверхности.

Для определения объема между «плановой» и «фактической» поверхностями в программе ScanMaster необходимо:

- 1) создать отдельный проект;
- 2) импортировать точки облака в виде DWG-файла для создания «фактической» поверхности;

3) создать «фактическую» поверхность по облаку точек;

4) изменить размер «фактической» поверхности с помощью функции «дискретность» и удалить вытянутые треугольники с помощью функции «фильтрация»;

5) удалить первоначально созданное облако точек и импортировать точки нового облака в виде DWG-файла для создания «плановой» поверхности;

6) и 7) - повторить действия 3) и 4) для нового облака точек;

8) создать «поверхности с объемами» по «фактической» и «плановой» поверхностям.

Для контроля вычисления объемов на исследуемом участке автодороги следует выполнить определение объема средствами программы Torocad. Для этого из программы ScanMaster экспортируются облака точек, по которым создавались «плановая» и «реальная» поверхности с сохранением их в виде TXT-файлов, содержащих координаты точек облаков. Учитывая, что в программе Torocad имеется два варианта вычисления объемов – по усеченным вертикальным призмам (или «по квадратам»), а также по вертикальным сечениям (или «по поперечникам»), расчеты объемов выполняются по первому варианту, так как в этом случае можно использовать уже имеющиеся файлы координат облаков точек, созданных в программе ScanMaster.

При определении объема между различными поверхностями дорожного полотна способом «по квадратам» в программе Torocad осуществляются следующие действия:

1) создается отдельный проект и «чертеж» в нем;

2) импортируются координаты облаков точек для построения цифровых моделей «фактической» и «проектной» поверхности дорожного полотна;

3) создаются цифровые модели 2-х поверхностей дорожного полотна для разных стадий ремонтных работ;

4) выполняется устранение слишком вытянутых треугольников;

5) вычисляется объем между двумя поверхностями «по квадратам»;

6) создается и сохраняется отчет о вычислениях объема.

В заключение следует отметить, что использование технологии НЛС позволяет существенно сократить время на получение объективной количественной информации об объемах выполненных при ремонте ав-

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ОБЪЕМОВ ВЫПОЛНЕННЫХ РАБОТ ПРИ РЕМОНТЕ АВТОДОРОГ С ПРИМЕНЕНИЕМ ТЕХНОЛОГИИ НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

тодорог работ, а также повысить степень информативности полученных данных.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ВСН 19-89 «Правила приемки работ при строительстве и ремонте автомобильных дорог» – М., «Транспорт» 1990.
2. РД-11-02-2006 «Требования к составу и порядку ведения исполнительной документации при строительстве, реконструкции, капитальном ремонте объектов капитального строительства и требования, предъявляемые к актам освидетельствования работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения» – М., Ростехнадзор, 2006.
3. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.
4. Азаров, Б. Ф. Использование наземного лазерного сканирования для обследования состояния берегов Красноярского водохранилища / Б. Ф. Азаров, Е. А. Федорова // Геопрофи. –2014. – № 1. – С. 46-52.
5. Руководство пользователя ScanMaster, TOPCON Corporation, 2010.
- 6 Азаров, Б.Ф. Использование лазерного сканера GLS 1500 Торсон для проведения инженерно-геодезических изысканий / Б. Ф. Азаров // Ползуновский вестник. - 2014. - № 1. - С. 6-9.
7. Баран, П.И. Применение геодезических засечек, их обобщенные схемы и способы машинного решения/П.И. Баран, В.И. Мицкевич, Ю.В. Полищук и др. – М.: Недра, 1986.

Азаров Борис Федотович – к.т.н., заместитель заведующего кафедрой «Основания, фундаменты, инженерная геология и геодезия», АлтГТУ им.И.И.Ползунова, E-mail: stf-ofigig@mail.ru.