

# ГЕОДЕЗИЯ И МАРКШЕЙДЕРИЯ

УДК 528.721.221.6:625.72

DOI: 10.33764/2411-1759-2022-27-2-5-17

## ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБРАБОТКИ ПОЛУЧЕННЫХ РАЗЛИЧНЫМИ МОДЕЛЯМИ НАЗЕМНЫХ ЛАЗЕРНЫХ СКАНЕРОВ ДАННЫХ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА РЕМОНТА АВТОМОБИЛЬНЫХ ДОРОГ

*Максим Александрович Алтынецв*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (952)915-29-80, e-mail: mnbcv@mail.ru

Одной из задач, решаемых посредством применения технологии наземного лазерного сканирования, является контроль качества выполнения дорожных работ. Обладая заявленной точностью измерения расстояний порядка нескольких миллиметров, наземное лазерное сканирование позволяет осуществить сплошной контроль результатов строительства или ремонта дорог. К настоящему времени было выпущено большое количество различных моделей наземных лазерных сканеров, каждый из которых позволяет выявить большинство дефектов дорожного полотна и определить его ровность благодаря возможности выполнения съемки с высокой плотностью. Но так как практически каждый лазерный сканер обладает своими уникальными техническими характеристиками, достоверность определения ровности и выявления дефектов по данным сканирования может существенно различаться. Для достижения наивысших показателей достоверности необходимо придерживаться как методик выполнения полевой части всех работ, так и камеральной, заключающейся в получении единого массива точек лазерных отражений и построении по нему цифровых моделей поверхности дорожного покрытия. Если суть этих видов работ не зависит от используемой модели лазерного сканера, то отдельные этапы применяемых методик могут отличаться. В статье рассматриваются две модели лазерных сканеров от разных производителей для решения задачи контроля качества укладки асфальта. Приводятся их сравнительные характеристики и особенности выполнения всех работ. Анализируются результаты построения цифровых моделей поверхности дорожного полотна и обсуждаются особенности обработки данных, полученных различными лазерными сканерами. По результатам анализа показано, что не все модели лазерных сканеров могут подходить для контроля качества ремонта автомобильных дорог. Приведена методика предварительной обработки данных, позволяющая повысить достоверность решения этой задачи для лазерных сканеров с недостаточным качеством получаемых массивов точек лазерных отражений.

**Ключевые слова:** наземное лазерное сканирование, ровность, цифровая модель поверхности, опорные точки, оценка точности

### *Введение*

В автодорожной отрасли наряду с традиционными методами геодезической съемки широкое распространение получила технология лазерного сканирования. Первичным ре-

зультатом технологии являются трехмерные модели окружающего пространства в виде единых массивов точек лазерных отражений (ТЛО), благодаря которым стало возможным значительно сократить время выполнения полевых геодезических работ, во многом заме-

нив их камеральными. Для этого могут применяться все виды лазерного сканирования: воздушное, мобильное или наземное [1].

Полученные точечные модели на основе любого вида лазерного сканирования могут быть использованы для построения продольных и поперечных профилей автомобильных дорог, определения их геометрических параметров, создания топографических планов на их территории [2].

Для решения более высокоточных задач необходимо применение мобильного лазерного сканирования (МЛС) или наземного лазерного сканирования (НЛС). К таким задачам можно отнести измерение ровности, геометрических размеров различных видов трещин и выбоин дорожного полотна, оценку размеров разрушения его кромок и определение неровности ямочного ремонта [3–5]. Необходимость применения МЛС или НЛС обусловлена высокими требованиями к точности и детальности данных. Лазерное сканирование этих двух видов зарекомендовало себя в качестве одного из наиболее точных методов обследования состояния покрытия дорожного полотна, который позволяет осуществить сплошной контроль качества строительства или ремонта автомобильных дорог. Количество ТЛО на 1 м<sup>2</sup> может достигать нескольких тысяч.

Метод МЛС позволяет осуществить съемку нескольких десятков и даже сотен километров автомобильных дорог за один съемочный день, но для повышения исходной точности данных требует выполнения дополнительных геодезических работ по нанесению опорных точек на дорожное покрытие вдоль траектории съемки и измерению их координат в рамках этапа создания съемочного обоснования.

Скорость съемки методом НЛС существенно ниже, но получение исходной точечной модели с наибольшей точностью возможно с минимальным количеством опорных точек. Поэтому применение этого вида лазерного сканирования наиболее актуально для контроля качества строительства или ремонта автомобильных дорог, имеющих небольшую протяженность.

Среди всех задач контроля качества ремонта автомобильных дорог особое внимание

уделяют определению ровности дорожного покрытия. В [6] указано, что для твердых покрытий дорог, таких как асфальтобетонные, каменные, цементобетонные, значения просветов не должны превышать 6 мм для не более 5 % измерений и 3 мм для остальных. Согласно [7] этот параметр определяется путем измерения максимального просвета под трехметровой рейкой с точностью до 1 мм. Указано, что может быть применено и другое инструментальное средство, если оно не уступает по точности измерений.

В [8] в качестве одного из инструментальных средств измерений обосновывается применение технологии НЛС. В специализированном программном обеспечении (ПО) смоделированная виртуальная рейка прикладывается к трехмерной цифровой модели поверхности (ЦМП) дорожного полотна, построенной по точечной модели, полученной в результате обработки данных полевой съемки местности с помощью НЛС. Важным условием измерений является соблюдение требования соприкосновения виртуальной рейки с моделью поверхности в двух крайних точках. Неровность вычисляется посредством измерения просвета между рейкой и поверхностью через заданные интервалы.

В [9] показан процесс измерений, выполненных предложенным в [8] способом. В качестве источника исходных данных вместо результатов НЛС были выбраны данные МЛС. Проведенные исследования продемонстрировали, что результаты МЛС также могут удовлетворять требованиям [6, 7] по определению неровности дорожного полотна.

Чтобы обеспечить требуемый в дорожных работах уровень точности, вне зависимости от вида лазерного сканирования и применяемой модели съемочной системы, всегда выполняется ряд основных циклов предварительной обработки данных, в ходе которой уравниваются данные лазерного сканирования и фильтруются ложные измерения, возникающие из-за различных шумовых составляющих импульсов лазерного излучения вследствие особенностей сканируемых поверхностей и под влиянием неблагоприятных внешних условий. Для этого применяются специальные методы и методики обработки [10, 11].

Количество ложных измерений при съемке в однотипных условиях разными моделями наземных лазерных сканеров и системами МЛС может сильно отличаться. Прежде чем распознавать точки поверхности дорожного покрытия в целях построения по ним ЦМП для определения ровности и выявления дефектов необходимо выполнять ряд исследований точности исходных данных, полученных каждой определенной моделью лазерного сканера. Результаты исследований должны показать, подходят ли существующие методики и методы для полученного набора данных лазерного сканирования, либо требуется осуществить разработку новых. В наихудшем случае может оказаться, что точность данных выбранной модели лазерного сканера не подходит для решения рассматриваемых задач.

Таким образом, анализ точности данных лазерного сканирования на этапе их предварительной обработки является залогом их успешного применения для решения конкретной задачи, в частности определения ровности

и дефектов дорожного полотна в рамках контроля качества ремонта автомобильных дорог.

### **Наземное лазерное сканирование дорожного полотна**

Для того чтобы оценить возможность применения данных НЛС для решения задачи определения ровности и дефектов дорожного полотна был выполнен ряд циклов сканирования участка асфальтового покрытия дороги, находящейся на территории студенческого городка СГУГиТ. Лазерное сканирование осуществлялось до и после выполнения дорожных работ по укладке нового асфальтового покрытия с помощью сканера Leica ScanStation 2. Также после дорожных работ в исследовательских целях дополнительно была выполнена съемка участка этой территории с помощью сканера Geomax Zoom 300. В табл. 1 приведено сравнение основных технических характеристик этих моделей лазерных сканеров [12, 13].

Таблица 1

Технические характеристики Leica ScanStation 2 и Geomax Zoom 300

Параметры лазерного сканера	Модели сканеров	
	Leica ScanStation 2	Geomax Zoom 300
Метод измерения расстояний	импульсный	импульсный
Минимальная дальность, м	0,1	2,5
Максимальная дальность, м	300	300
Расходимость лазерного пучка, мрад	0,15	0,37
Точность измерения расстояний	4 мм на 50 м	6 мм на 50 м
Скорость сканирования, точек/с	50 000	40 000
Горизонтальное поле зрения, °	360	360
Вертикальное поле зрения, °	от минус 45 до 90	от минус 25 до 65
Количество регистрируемых отражений	несколько	1
Диапазон рабочих температур, °С	0 – плюс 40	минус 10 – плюс 50
Настройки шага сканирования	независимые установки	4 режима

ScanStation 2 позволяет задавать произвольные значения горизонтального и вертикального шага сканирования, в то время как Zoom 300 ограничен четырьмя режимами, соответствующими следующим значениям линейного шага сканирования на удалении 50 м от точки съемки: 1,96; 3,9; 7,85 и 15,7 см. В табл. 2 указаны выбранные настройки ли-

нейного шага сканирования для обеих моделей лазерных сканеров. Указанные значения являлись оптимальными с позиции соотношения времени сканирования и плотности получаемого массива ТЛО в целях построения ЦМП дорожного полотна. Продолжительность панорамного сканирования с такими настройками составила в среднем 16 мин.

Таблица 2

Выбор линейного шага сканирования

Модели сканеров	Линейный шаг сканирования на удалении 50 м от точки съемки, см	
	По горизонтали	По вертикали
Leica ScanStation 2	10	3
Geomax ZOOM300	3,9	3,9

На рис. 1 представлены массивы ТЛО, полученные за разные циклы сканирования, с отображением по высоте. Съемка покрытия

всего студенческого городка СГУГиТ выполнялась только после укладки нового асфальта в целях оценки его ровности. Результаты выполненных работ подробно описаны в [3]. Они показали, что лазерный сканер Leica ScanStation 2 способен определить ровность дорожного покрытия и, в частности, выявить места скопления воды. До выполнения дорожных работ осуществлялось сканирование только одного участка всей территории. Съемка до и после работ позволяет оценить, насколько изменился уровень асфальта и сравнить ровность старого покрытия с новым.

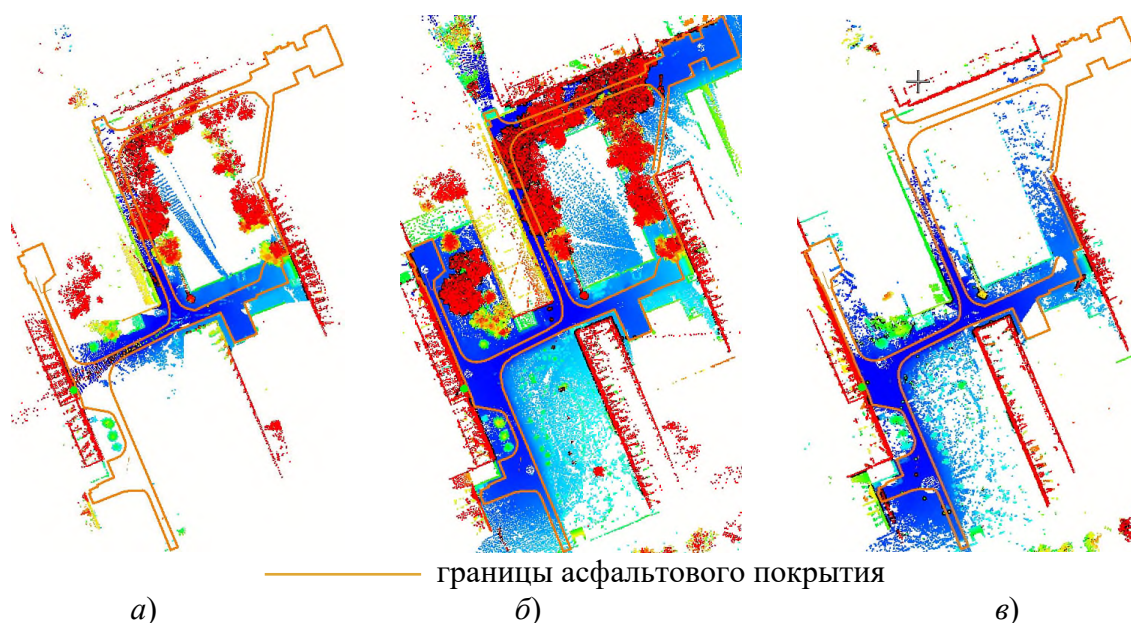


Рис. 1. Данные НЛС с видом сверху, полученные сканером:

а) ScanStation 2 до дорожных работ; б) ScanStation 2 после дорожных работ; в) Zoom 300 после дорожных работ

Взаимное ориентирование сканов, полученных с помощью ScanStation 2, выполнялось автоматически по маркам, расставляемым в зонах перекрытий.

На рис. 2 показана схема расположения сканерных станций и марок при съемке после дорожных работ.

Две из представленных марок, m11 и m12, применялись также для взаимного ориентирования двух сканов, полученных до выполнения дорожных работ вблизи с позицией S5. По известным координатам марок m11 и m12 внешнее ориентирование массивов ТЛО до и после работ было выполнено в единой системе координат.



Рис. 2. Схема создания ПВО для ScanStation 2: ● – марки m1–m17; ● – сканерные позиции S1–S10



Благодаря возможности детального сканирования марок лазерным сканером ScanStation 2, то есть точного определения координат их центров, ошибки автоматического уравнивания координат ТЛЮ не превысили 4 мм в плане и 2 мм по высоте.

Для того чтобы удостовериться в точности лазерного сканера Leica ScanStation 2, дополнительно осуществлялась съемка старого до-

рожного покрытия с помощью тахеометра Leica TM30, имеющего угловую точность 1". На рис. 3, а показан результат сканирования до выполнения дорожных работ с помощью ScanStation 2, где отмечены места расположения контрольных точек, измеренных тахеометром. По этим точкам выполнялась оценка точности данных НЛС до дорожных работ в высотном положении (табл. 3).

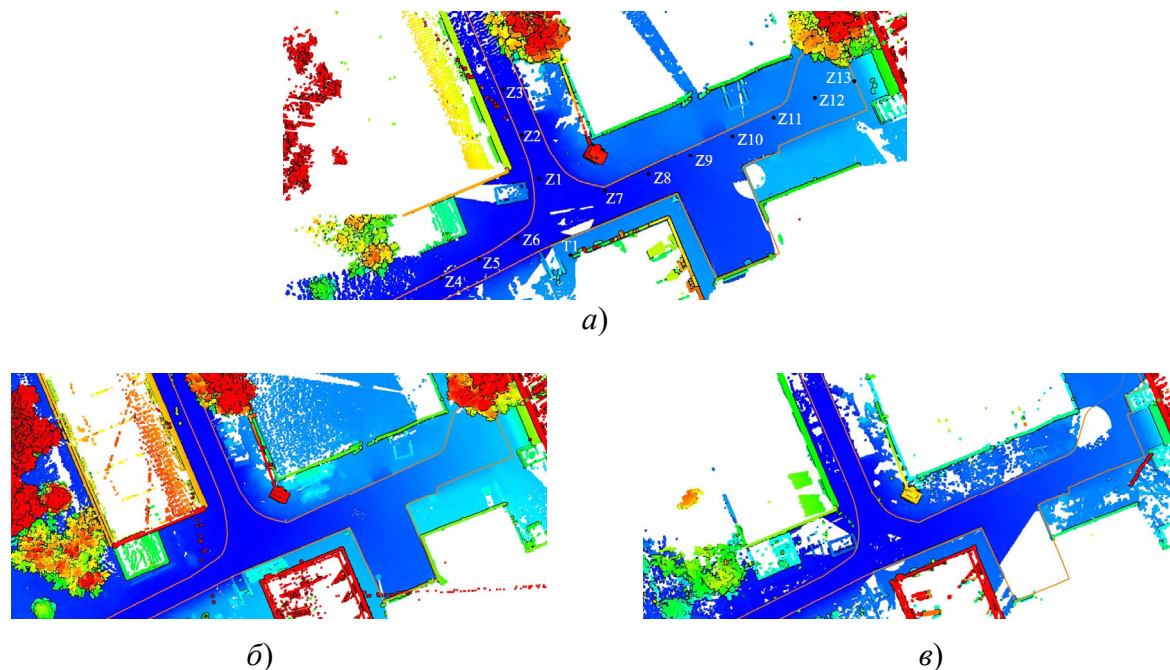


Рис. 3. Данные НЛС исследуемого участка дорожного покрытия:

а) ScanStation 2 до дорожных работ: •Z – контрольные точки, измеренные тахеометром; T1 – точка установки тахеометра; б) ScanStation 2 после дорожных работ; в) Zoom 300 после дорожных работ

Таблица 3

Оценка точности уравнивания данных НЛС, полученных сканером Leica ScanStation 2 до дорожных работ, по контрольным точкам, измеренных тахеометром

Ошибка	Z, м
Средняя ошибка	0,001
Средняя квадратическая ошибка	0,002
Максимальная ошибка	0,004

На рис. 3, б показан результат сканирования этого же участка с помощью ScanStation 2 после выполнения работ, а на рис. 3, в – с помощью Zoom 300. Лазерный сканер Zoom 300

не позволяет выполнять детальное сканирование марок, поэтому уравнивание четырех выполненных сканов осуществлялось автоматически по зонам их взаимного перекрытия с помощью программного обеспечения X-PAD Office fusion [14]. Это ПО позволяет выполнить уравнивание сканов на основе анализа перекрытий в два этапа. На первом осуществляется вычисление приблизительных значений элементов взаимного ориентирования массивов ТЛЮ [15], а на втором – точное уравнивание на основе определения расстояний между всеми точками массива ТЛЮ и расчете параметров трансформирования. Второй этап в X-PAD Office fusion реализован с помощью итеративного метода ближайших то-

чек ICP [16]. Этим же способом полученный единый массив ТЛО сканера Zoom 300 был далее урванен относительно данных НЛС сканера ScanStation 2, полученных после дорожных работ. Таким образом, данные всех трех циклов сканирования оказались в единой системе координат.

**Оценка качества данных наземного лазерного сканирования для определения ровности и дефектов дорожного полотна**

Залогом успешного решения задачи определения ровности и дефектов дорожного по-

лотна является выполненная дополнительная камеральная обработка данных лазерного сканирования, заключающаяся в фильтрации ложных измерений и распознавании точек дорожного полотна. В зависимости от качества и точности исходных данных, определенные методы и их параметры в рамках методики построения ЦМП дорожного полотна, подходящей для определения ровности и дефектов, могут быть изменены. В общем виде эту методику можно представить так, как показано на рис. 4. Эта методика приведена в усовершенствованном состоянии относительно той, которая была представлена в [3].



Рис. 4. Методика обработки данных НЛС для построения ЦМП дорожного полотна

Согласно приведенной методике, после уравнивания сканов была выделена граница дорожного покрытия с целью дальнейшей обработки только области, заключенной в ее пределы. Эта граница в итоге была также ограничена областью перекрытия данных НЛС трех циклов сканирования (рис. 5).

После векторизации границ необходимо выполнить фильтрацию ложных точек, расположенных под поверхностью земли. Для этого применялся метод распознавания нижних точек, реализованный в программном модуле TerraScan, который входит в состав ПО TerraSolid [17]. Согласно данному методу, сначала указывается максимальное количество точек в группе.

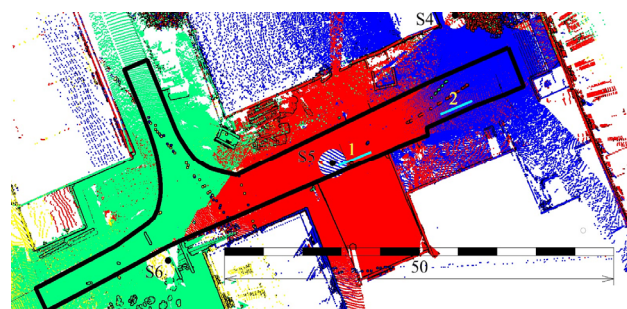


Рис. 5. Массив ТЛО ScanStation 2 после дорожных работ:

- – сканерные позиции S4–S6; — место расположения сечений; 1, 2 – номера сечений; — граница построения ЦМП; [green box] [red box] [blue box] [yellow box] – ТЛО, полученные с различных сканерных позиций

Осуществляется поиск не более данного количества точек в группе, находящихся в пределах заданной площади ниже указанного расстояния относительно остальных точек. В результате экспериментальных исследований были определены оптимальные параметры, подходящие для распознавания по дорожному покрытию ложных ТЛЮ, полученных различными моделями лазерных сканеров: максимальное количество точек в группе – 20, площадь – 0,01 м<sup>2</sup>, расстояние – 0,01 м.

Следующий этап методики – распознавание точек физической поверхности земли в пределах границ асфальтового дорожного покрытия по методу Аксельсона [18]. Так как асфальт имеет зернистую структуру, этот метод выделяет не все точки покрытия, а лишь самые нижние. Большинство точек покрытия остается нераспознанным. Поэтому необходимо к уже распознанным точкам асфальта добавлять такие, которые находятся выше них в пределах небольшого высотного интервала. Значение этого интервала следует подбирать исходя из количества шумовых составляющих данных лазерного сканирования определен-

ной модели лазерного сканера и внешних условий съемки. Чтобы подобрать этот интервал, была выполнена оценка качества массивов ТЛЮ, полученных различными лазерными сканерами, по сечениям. Рис. 5 демонстрирует массив ТЛЮ с видом сверху, окрашенный по сканам и полученный после дорожных работ сканером ScanStation 2. Также здесь отображены местоположения двух сечений, показанных на рис. 6 и имеющих глубину 10 см. Сечения демонстрируют, что уравнивание было выполнено по высоте максимально точно, так как полностью отсутствует дублирование данных. Вблизи со сканерной позицией S5 ширина слоя точек асфальта составила 6 мм, а на приблизительно одинаковом удалении от позиций S4 и S5, где плотность массива ТЛЮ ниже, это значение равно 4 мм. Исходя из значений ширины слоя точек асфальта на нескольких подобных сечениях глубиной 10 см был выбран высотный интервал распознавания над выделенными по алгоритму Аксельсона точками поверхности земли, соответствующий одному сантиметру. В этот интервал попадали все ТЛЮ дорожного полотна.



Рис. 6. Сечения по массиву ТЛЮ ScanStation 2 после дорожных работ:  
а) № 1; б) № 2

Рис. 7 демонстрирует массив ТЛЮ сканера Zoom 300. Были выполнены сечения этого массива в тех же местах с аналогичным значением глубины. В отличие от сканера ScanStation 2, разброс точек по высоте в пределах сечений плоского участка массива у сканера Zoom 300 больше (рис. 8). Вблизи со сканерной позицией S1 ширина слоя точек асфальта, полученных с этой позиции, составила 15 мм, а ширина для точек, полученных с противоположной позиции S2, расположенной на расстоянии 35 м от места сечения, составила 60 мм, что является слишком грубым значением для решения задачи определения ровности.

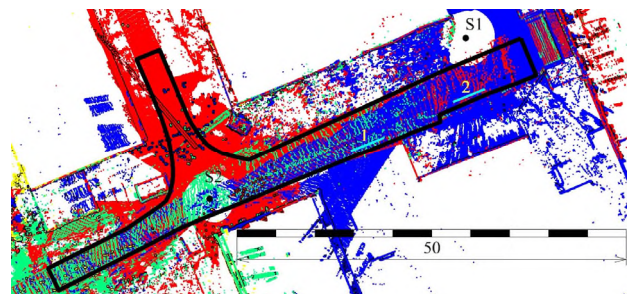


Рис. 7. Массив ТЛЮ Zoom 300

• – сканерные позиции S1–S2; — месторасположения сечений; 1, 2 – номера сечений; — граница построения ЦМП; ■ ■ ■ – ТЛЮ, полученные с различных сканерных позиций

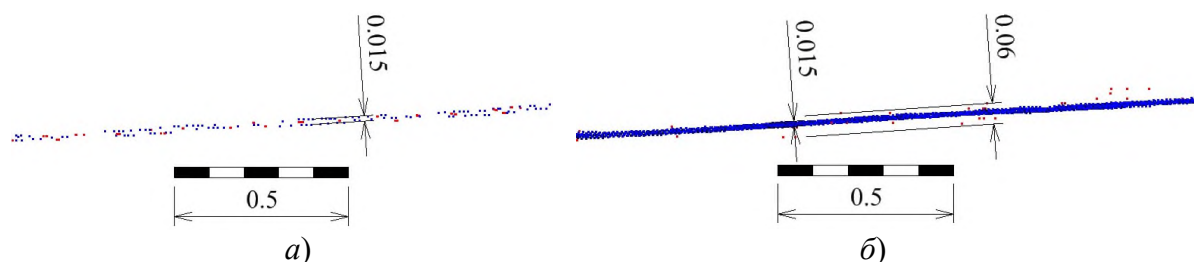


Рис. 8. Сечения по массиву ТЛО Zoom 300:  
а) № 1; б) № 2

Для сечения, выполненного по центру между позициями S1 и S2, ширина слоя точек асфальта составляет 15 мм. На основании данных этих двух сечений можно сделать вывод, что грубые ошибки положения ТЛО на плоскости по высоте начинают появляться только на определенном расстоянии от точки сканирования, когда пятно одного лазерного луча покрывает большую площадь горизонтальной поверхности. Отсечь эти грубые измерения под истинной поверхностью помогает применение метода распознавания нижних точек, а тех, что выше, – способа выделения точек, расположенных в пределах заданного высотного интервала над распознанными точками поверхности земли. В результате анализа нескольких подобных сечений для сканера Zoom 300 было выбрано значение высотного интервала 2 см, позволившее захватить основную массу ТЛО и отсеять большинство ложных измерений, получаемых на большом расстоянии от точки съемки.

Дальнейшая обработка заключается в сглаживании положения распознанных ТЛО дорожного покрытия по высоте, чтобы компенсировать как зернистую структуру асфальта, так и ошибочное положение ТЛО в пределах выбранного высотного интервала слоя точек дорожного полотна. Для сканера ScanStation 2 это значение составило 1 см, а для Zoom 300 – 2 см, что соответствует заданным ранее высотным интервалам.

На последнем этапе по сглаженным ТЛО выполняется построение ЦМП, которую уже можно применять для решения задач контроля качества ремонта автомобильных дорог. В рамках выполненного исследования были построены ЦМП с отображением горизонталей через 1 см для всех трех циклов сканирования в пределах выбранного участка. Горизонталю, показанные на рис. 9, свидетельствуют о том, что ровность нового асфальтового покрытия существенно выше.

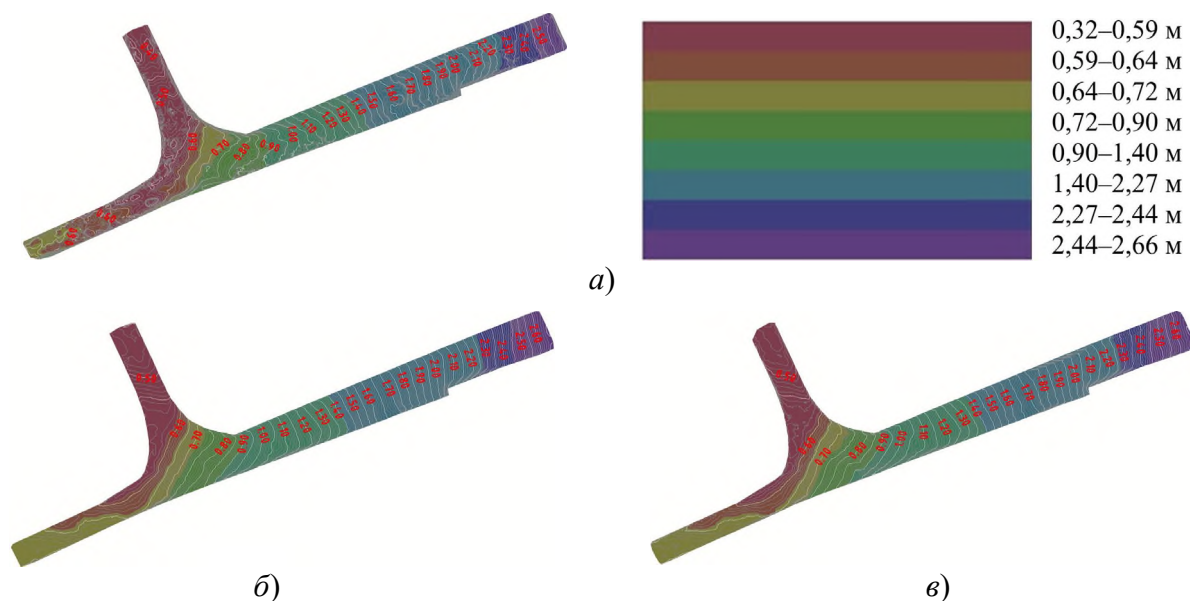


Рис. 9. Результат построения ЦМП:

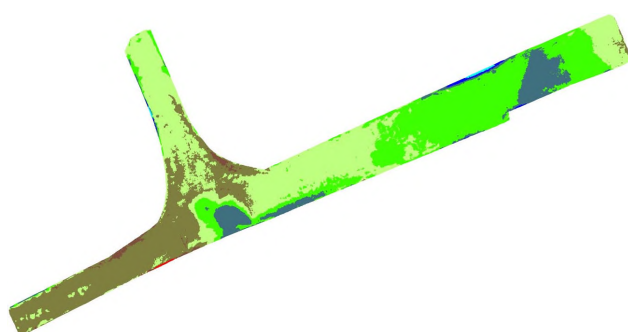
а) ScanStation 2 до дорожных работ; б) ScanStation 2 после дорожных работ; в) Zoom 300 после дорожных работ



Если сравнить результаты сканирования Zoom 300 и ScanStation 2 после дорожных работ, то видно, что положение горизонталей несколько отличается.

Чтобы определить точную разницу между поверхностями, полученными по этим двум наборам данных, было выполнено построение разностной ЦМП, в которой вместо значений отметок фиксировалась разница по вы-

соте между исходными поверхностями. Результат построения разностной ЦМП, приведенный на рис. 10, показывает, что большинство значений отклонений не превышает 2 см, а наибольшие отклонения находятся вблизи с бордюрами, что можно объяснить различиями в расходимости лазерного пучка и точности измерений расстояний сканеров Zoom 300 и ScanStation 2.



Диапазоны высотных отметок пов-ти				
Номер диапазона	Нижняя граница М	Верхняя граница М	Цвет	Площадь 2D кв.м
1	-0.050	-0.020	■	0.20
2	-0.020	-0.010	■	3.78
3	-0.010	0.000	■	94.92
4	0.000	0.010	■	131.07
5	0.010	0.020	■	116.38
6	0.020	0.040	■	31.05
7	0.040	0.060	■	1.21
8	0.060	0.080	■	0.43

Рис. 10. Результат построения разностной ЦМП между ЦМП ScanStation 2 после дорожных работ и ЦМП Zoom 300

По разностной ЦМП также были вычислены значения среднего, среднего квадратического и максимального отклонений по сетке контрольных точек, показанной на рис. 11.

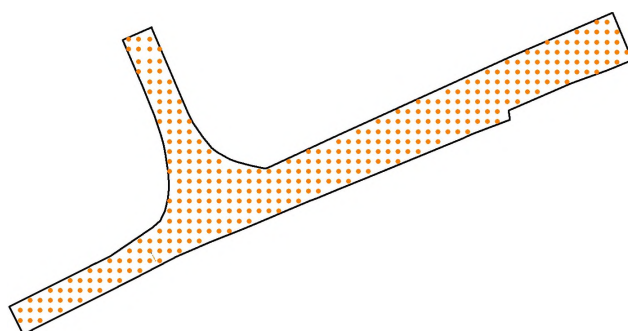


Рис. 11. Схема размещения контрольных точек для сравнения ЦМП ScanStation 2 после дорожных работ и ЦМП Zoom 300

не подходят для решения этой задачи, так как данные ScanStation 2 до дорожных работ сравнивались с результатами тахеометрической съемки, а также ширина слоя точек сканера ScanStation 2 по сечениям существенно меньше, чем у Zoom 300.

Таблица 4

Отклонения результата построения ЦМП ScanStation 2 после дорожных работ от ЦМП Zoom 300 по сетке контрольных точек

Отклонение	Z, м
Среднее отклонение	0,008
Среднее квадратическое отклонение	0,010
Максимальное отклонение	0,043

Результаты вычислений показаны в табл. 4. Значения этих отклонений весьма существенны. Учитывая, что при определении ровности асфальтового покрытия необходима миллиметровая точность измерений, можно сделать вывод: данные сканера Zoom 300

На рис. 12 показан пример сечения массивов ТЛЮ дорожного покрытия, где точки, полученные после дорожных работ, были уже отфильтрованы и сглажены. Точки ScanStation 2 до дорожных работ представлены в исходном виде.

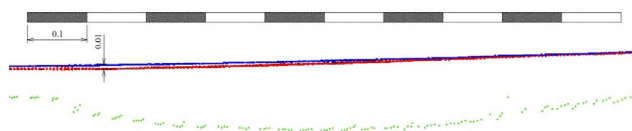


Рис. 12. Пример сечения массивов ТЛО дорожного покрытия после обработки:  
 ■ – ScanStation 2 до дорожных работ;  
 ■ – ScanStation 2 после дорожных работ;  
 ■ – Zoom 300 после дорожных работ

В правой части рис. 12 положение ТЛО, полученных после дорожных работ, совпадает, а в левой – расходится на 1 см по высоте. Это свидетельствует о чрезмерном сглажива-

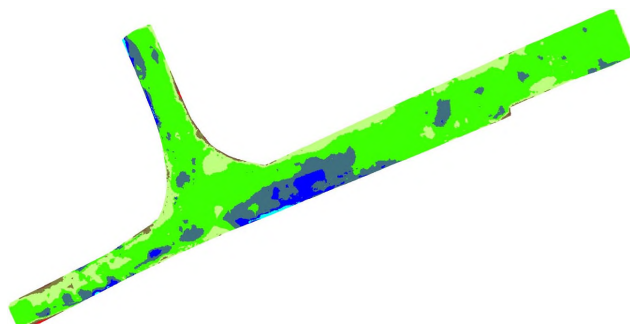


Рис. 13. Результат построения разностной ЦМП между ЦМП ScanStation 2 до дорожных работ и после них

### Заключение

Технология наземного лазерного сканирования вследствие своей высокой точности и детальности способна обеспечивать выполнение самых высокоточных работ, одной из которых является контроль качества ремонта автомобильных дорог, в частности, определение ровности дорожного полотна.

Благодаря построению его ЦМП можно решить эту задачу с миллиметровой точностью. Но результаты выполненных исследований показали, что не все модели наземных лазерных сканеров способны обеспечить необходимый уровень точности.

В ходе экспериментальных исследований была усовершенствована методика предварительной обработки данных, позволяющая по-

высить достоверность определения ровности для лазерных сканеров с более низким уровнем точности за счет дополнительной фильтрации и сглаживания.

Несмотря на это, было выявлено, что данные лазерного сканера Zoom 300 все равно не подходят для измерения ровности асфальтового покрытия, в то время как рассчитанная точность данных сканера ScanStation 2 подтверждается контрольными измерениями, выполненными тахеометром Leica TM30, и результатами уравнивания ТЛО. Чтобы выявить причины низкой точности сканера Zoom 300, необходимо выполнить дополнительные исследования его технических характеристик, таких как точность измерения расстояний и расходимость лазерного пучка.

Диапазоны высотных отметок пов-ти				
Номер диапазона	Нижняя граница м	Верхняя граница м	Цвет	Площадь 2D кв.м
1	-0.094	-0.063	■	0.16
2	-0.063	-0.031	■	1.07
3	-0.031	0.001	■	4.95
4	0.001	0.033	■	53.46
5	0.033	0.065	■	252.87
6	0.065	0.097	■	53.28
7	0.097	0.128	■	12.21
8	0.128	0.160	■	1.09

*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. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Особенности применения данных различных видов лазерного сканирования при мониторинге природных и промышленных объектов // Вычислительные технологии. – 2013. – Т. 18.1. – С. 141–144.
2. Середович В. А., Алтынцев М. А. Применение данных мобильного лазерного сканирования для создания топографических планов // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2013. IX Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 3 т. (Новосибирск, 15–26 апреля 2013 г.). – Новосибирск : СГГА, 2013. Т. 3. – С. 96–100.
3. Алтынцев М. А., Алтынцева М. А. Применение наземного лазерного сканирования для оценки качества укладки асфальтового покрытия // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XVII Междунар. науч. конгр., 19–21 мая 2021 г., Новосибирск : сб. материалов в 8 т. Т. 1 : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия». – Новосибирск : СГУГиТ, 2021. – С. 75–84.
4. Altyntsev M. A. Automated recognition of roadbed deformations (defects) using laser scanning data // International Workshop «Integration of Point- and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects». – Novosibirsk : SSGA, 2014. – P. 147–151.
5. Seredovich V. A. Altyntsev M. A. The Feasibility study of automatic extraction of cracks in the roadbed from mobile laser scanning data // XXV FIG Congress. – Malaysia, Kuala Lumpur, 2014.
6. СП 78.13330.2012. Автомобильные дороги. Актуализированная редакция СНиП 3.06.03-85 [Электронный ресурс]. – Введ. 2013–07–01. – Доступ из справ.-правовой системы «Консультант-Плюс».
7. ГОСТ 32825–2014. Дороги автомобильные общего пользования. Дорожные покрытия. Методы измерения геометрических размеров повреждений. Межгосударственный стандарт. – Введ. 2015–07–01. – М. : Стандартинформ, 2019. – 16 с.
8. Пат. 2509978 Российская Федерация. Способ определения неровности поверхности дорожного полотна / Середович В. А., Середович А. В., Иванов А. В. ; опубл. 20.03.2014, Бюл. № 8.
9. Середович В. А., Алтынцев М. А., Егоров А. К. Определение индекса ровности дорожного покрытия по данным мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2017. – Т. 22, № 3. – С. 33–44.
10. Алтынцев М. А., Каркокли Хамид Маджид Сабер. Методика автоматизированной фильтрации данных мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 3. – С. 5–19.
11. Алтынцев М. А., Каркокли Хамид Маджид Сабер. Методика автоматизированного уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // Вестник СГУГиТ. – 2021. – Т. 26, № 4. – С. 5–23.
12. SPS Zoom300. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geomax-positioning.com/ru-ru/products/laser-scanners/sps-zoom300> (дата обращения 01.02.2022).
13. Leica ScanStation 2 User Manual [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/scanning/ScanStation%20\\_UserManual\\_en.pdf](http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/scanning/ScanStation%20_UserManual_en.pdf) (дата обращения 01.02.2022).
14. X-PAD Office Fusion. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://geomax-positioning.com/ru-ru/products/software/x-pad-suite/x-pad-fusion> (дата обращения 01.02.2022).
15. Guo Y. Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition // Int. J. Comput. Vision. – 2013. – Vol. 105 (1). – P. 63–86.
16. Besl P. J., McKay N. D. Method for registration of 3-D shapes. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence. – 1992. – Vol. 14. – P. 239–256.
17. TerraScan User Guide [Electronic resource]. – Mode of access: <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (дата обращения 01.02.2022).
18. Axelsson P. DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models // International Archives of ISPRS. – 2000. – Vol. XXXIII-4. – P. 111–118.

Получено 09.02.2022

© М. А. Алтынцев, 2022

## THE STUDY OF DATA PROCESSING RESULTS ACQUIRED WITH VARIOUS TERRESTRIAL LASER SCANNERS FOR QUALITY CONTROL OF ROAD REPAIR

*Maxim A. Altyntsev*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D., Associate Professor, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (952)915-29-80, e-mail: mnbcv@mail.ru

One of the tasks solved through the application of terrestrial laser scanning technology is the quality control of road works. With the stated accuracy of measuring distances of the order of several millimeters, terrestrial laser scanning allows conducting continuous control of the road construction or repair. Nowadays a large number of different terrestrial laser scanners have been produced, each of which allows identifying most of the roadway defects and determining its flatness due to the ability to perform high-density surveys. The reliability of determining flatness and detecting defects from scanning data can vary significantly because of the fact that almost every laser scanner has its own unique technical characteristics. To achieve the highest reliability values, it is necessary to adhere both to techniques of performing the field part of all surveying works and to data processing techniques, which consist in obtaining point clouds and constructing digital road surface models. If the main essence of these works does not depend on the used laser scanner model, then the individual stages of the applied techniques may differ. 2 models of laser scanners produced by different manufacturers are discussed to solve the task of asphalt pavement laying quality. Their comparative characteristics and peculiarities of performing all surveying works with their usage are given. The results of digital road surface model generation are analyzed, and peculiarities of processing of data obtained with various laser scanners are discussed. Based on the results of the analysis, it is shown that not all models of laser scanners can be suitable for controlling the quality of road repairs. The technique of preliminary data processing is presented, which makes it possible to increase reliability of solving this task for laser scanners with insufficient quality of obtained point clouds.

**Keywords:** terrestrial laser scanning, flatness, digital surface model, control points, accuracy estimation

### REFERENCE

1. Seredovich, V. A., Altyntsev, M. A., & Popov, R. A. (2013). Features of different laser scanning data type application in monitoring of natural and industrial objects. *Vychislitel'nye tekhnologii [Computational Technologies]*, 18.1, 141–144 [in Russian].
2. Seredovich, V. A., & Altyntsev, M. A. (2013). Application of mobile laser scanning data for creation of topographic plans. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2013: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 3. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2013: International Scientific Conference: Vol. 3. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 96–100). Novosibirsk: SSGA Publ. [in Russian].
3. Altyntsev, M. A., & Altyntseva, M. A. (2021). Application of terrestrial laser scanning for assessment of asphalt pavement laying quality. In *Sbornik materialov Interekspo GEO-Sibir'-2021: Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii: T. 1. Geodeziya, geoinformatika, kartografiya, marksheyderiya [Proceedings of Interexpo GEO-Siberia-2021: International Scientific Conference: Vol. 8. Geodesy, Geoinformatics, Cartography, Mine Surveying]* (pp. 75–84). Novosibirsk: SSUGT Publ. [in Russian].
4. Altyntsev, M. A. (2014). Automated recognition of roadbed deformations (defects) using laser scanning data. *International Workshop "Integration of Point- and Area-wise Geodetic Monitoring for Structures and Natural Objects"* (pp. 147–151). Novosibirsk: SSGA Publ.
5. Seredovich, V. A., & Altyntsev, M. A. (2014). The Feasibility study of automatic extraction of cracks in the roadbed from mobile laser scanning data. *XXV FIG Congress*. Malaysia, Kuala Lumpur.
6. Code of Practice. (2013). SP 78.13330.2012. Automobile roads, 67 p. Retrieved from ConsultantPlus online database [in Russian].
7. Standards Russian Federation. (2015). GOST 32825–2014. Automobile roads of general use. Pavements. Methods of measurement of the geometric dimensions of damages. Moscow: Standartinform Publ., 16 p. [in Russian].



8. Seredovich, V. A., Seredovich, A. V., & Ivanov, A. V. (2014). Method to determine irregularities of road bed surface. Patent of the Russian Federation No 2509978 [in Russian].
9. Seredovich, V. A., Altyntsev, M. A., & Egorov, A. K. (2017). Determination of road surface evenness index based on mobile laser scanning. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 22(3), 33–44 [in Russian].
10. Altyntsev, M. A., & Karkokli Hamid Majid Saber (2021). Technique of automatic mobile laser scanning data filtering. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(3), 5–19 [in Russian].
11. Altyntsev, M. A., & Karkokli Hamid Majid Saber (2021). Technique of automatic mobile laser scanning data adjustment. *Vestnik SGUGiT [Vestnik SSUGT]*, 26(4), 5–23 [in Russian].
12. SPS Zoom300. (n. d.). Retrieved from <https://geomax-positioning.com/ru-ru/products/laser-scanners/sps-zoom300> (accessed 01.02.2022).
13. Leica ScanStation 2 User Manual. (n. d.). Retrieved from [http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/scanning/ScanStation%20\\_UserManual\\_en.pdf](http://geomaticsjc.lboro.ac.uk/scanning/ScanStation%20_UserManual_en.pdf) (accessed 01.02.2022).
14. X-PAD Office Fusion. (n. d.). Retrieved from <https://geomax-positioning.com/ru-ru/products/software/x-pad-suite/x-pad-fusion> (accessed 01.02.2022).
15. Guo, Y. (2013). Rotational projection statistics for 3D local surface description and object recognition. *Int. J. Comput. Vision*, 105(1), 63–86.
16. Besl, P. J., & McKay N. D. (1992). Method for registration of 3-D shapes. *IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence*, 14, 239–256.
17. TerraScan User Guide. (n. d.). Retrieved from <https://terrasolid.com/guides/tscan/index.html> (accessed 01.02.2022).
18. Axelsson, P. (2000). DEM generation from laser scanner data using adaptive TIN models. *International Archives of ISPRS*, XXXIII-4, 111–118.

Received 09.02.2022

© M. A. Altyntsev, 2022