

Ыстыкул К.А., Середович В.А.,
Байгурин Ж.Д.

**Принцип действия
и технологическая схема
наземного лазерного
сканирования**

Статья рассматривает принцип действия и опыт применения наземного лазерного сканирования (НЛС) на территории лавиноопасного участка в Иле Алатау и возможности использования полученной 3D-модели рельефа. Большое внимание уделено технологии наземного лазерного сканирования и методикам создания топографических планов и построения цифровых моделей рельефа.

В результате выполненной работы получены трехмерные модели рельефа в формате AutoCAD, а также и продольные и поперечные профили лавинных лотков, которые послужили основой для получения количественных показателей лавинной опасности. По данным НЛС можно получить оптимальную методику создания высокоточных цифровых моделей земной поверхности (рельефа), поверхности и поля толщины снежного покрова. Поэтому в настоящее время высокую актуальность имеет поиск высокоадекватных и удобных методов моделирования и прогнозирования снежных лавин.

Ключевые слова: наземное лазерное сканирование, цифровая модель рельефа, 3D-моделирование, лавиноопасный склон, снежные лавины, рекреационный ресурс, «облака точек», поперечный профиль, морфометрический анализ рельефа, географические координаты.

Ystykul K.A., Seredovich V.A.,
Baygurin Zh.D.

**Principle of action and flowsheet
of surface laser scan-out**

The article examines principle of action and experience of application of surface laser scan-out (TLS) on territory of avalanche area in Ile Alatau and possibility of the use of the got 3D- model of relief. Large attention is spared to technology of surface laser scan-out and methodologies of creation of topographical plans and construction of digital models of relief.

As a result of the executed work the three-dimensional models of relief are got in the format of AutoCAD, and also and longitudinal and transversal profiles of avalanche trays that served basis for the receipt of quantitative indexes of avalanche hazard. From data of TLS it is possible to get optimal methodology of creation of high-fidelity digital models of earth surface (relief), surface and field of thickness of snow-cover. Therefore presently has high actuality search of high-adequate and comfortable methods of design and prognostication of snow avalanches.

Key words: terrestrial laser scanning, digital relief model, 3D modeling, avalanche slope, snow avalanche, recreation resource, "cloud point", transversal profiles, morphometric analysis of relief, geographical coordinates.

Ыстыкул К.А., Середович В.А.,
Байгурин Ж.Д.

**Жер лазерлі сканерінің
жұмыс істеу принципі және
оның технологиялық схемасы**

Мақалада жер лазерлі сканерінің (ЖЛС) жұмыс істеу принципі мен оны көшкінқауіпті Іле Алатауы территориясында қолдану технологиясы ұсынылған. Сонымен қатар, алынған 3D-модельді қолдану мүмкіндігі қарастырылған. Жер лазерлі сканерлеу технологиясына, топографиялық карталарды жасау және жердің сандық үлгісін жасау әдістеріне көп көңіл бөлінген.

Жұмыс барысында объектінің AutoCAD форматында үш өлшемді моделі алынып, олардың бойлық және көлденең қималары жасалынды. Осы қималар көшкінқауіпті беткейлерді талдау жасауға негіз болды. Бұл зерттеліп отырған территорияның көшкінқауіпті беткейлері жер бедерін сандық көрсеткіштер бойынша сипаттауға мүмкіндік берді. ЖЛС мәліметтері арқылы жер бетінің (жер бедерінің), қар жамылғысы қалыңдығының жоғарғы дәлдіктегі сандық моделін жасауға болады. Сондықтан қазіргі таңда қар көшкінін болжауда және үлгілеуде қолайлы және жоғары сапалы әдістерді табу кең етек алууда.

Түйін сөздер: жер лазерлі сканерлеу, жер бедерінің сандық үлгісі, 3D модельдеу, көшкінқауіпті беткей, қар көшкіні, рекреациялық ресурс, «бұлт нүктесі», көлденең қима, жер бедерін морфометриялық талдау жасау, географиялық координаттар.

ПРИНЦИП ДЕЙСТВИЯ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКАЯ СХЕМА НАЗЕМНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

Введение

Развитие туристского кластера в горных районах Иле Алатау и связанные с ним обустройства рекреационных территорий и прокладка горнолыжных трасс в непосредственной близости от лавиноопасных склонов делают проблему оценки лавин все более актуальной. В связи с этим морфометрический анализ рельефа является одной из главных задач в работах, проводимых с целью обеспечения безопасности хозяйственной и туристской деятельности человека в лавиноопасных горных районах.

Использование наземного лазерного сканирования (НЛС) в подобных исследованиях позволяет существенно повысить оперативность, а также качество и достоверность конечных результатов анализа и предоставить пользователю эффективный инструмент моделирования лавин в зависимости от морфометрических характеристик склонов.

Для разработки методики использования НЛС при оценке лавинной опасности территории нами был выбран бассейн р.Котырбулак, в котором расположен горнолыжный комплекс «Алатау».

Исходные данные и методы исследования

Многие современные задачи проектирования, строительство, эксплуатации зданий и сооружений требуют представления пространственных данных, точно и полно описывающих рельеф.

Использование традиционных для геодезии методов и инструментов позволяет решать большинство задач, однако существуют ограничения, связанные с плохими условиями видимости, со скоростью сбора и обработки получаемых при помощи электронных тахеометров данных.

Активное внедрение технологии НЛС в практику разнообразных исследований предопределено высокой точностью выходных результатов, оперативностью съемки и обработки, сочетанием технологически новых данных съемки с традиционными [1].

Система для наземного лазерного сканирования состоит из лазерного сканера и полевого персонального компьютера со

специализированным программным обеспечением [2]. Лазерный сканер состоит из лазерного дальномера, адаптированного для работы с высокой частотой, и блока развертки лазерного луча.

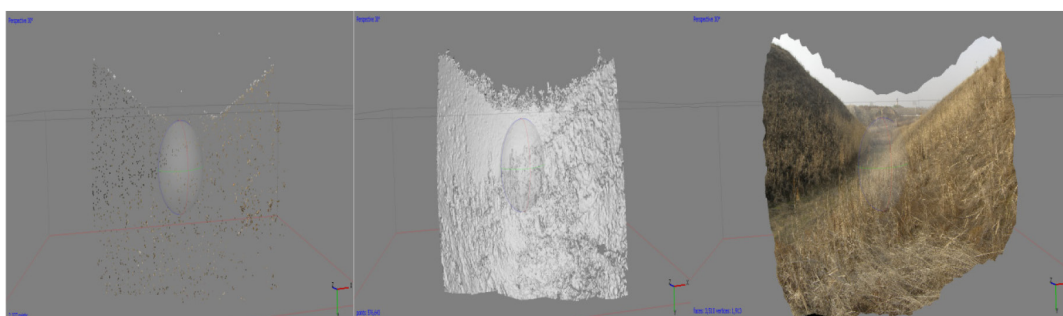
В основу работы лазерных дальномеров, используемых в НЛС, положены импульсный и фазовый безотражательные методы измерения расстояний, а также метод прямой угловой засечки.

В качестве блока развертки в НЛС выступают сервопривод и полигональное зеркало или призма. Сервопривод отклоняет луч на заданную величину в горизонтальной плоскости, при этом поворачивается вся верхняя часть сканера, которая называется головкой. Развертка в вертикальной плоскости осуществляется за счет вращения или качания зеркала.

В процессе сканирования фиксируются направление распространения лазерного луча и расстояние до точек объекта. Результатом работы НЛС является растровое изображе-

ние – скан (рис. 1), значения пикселей которого представляют собой элементы вектора со следующими компонентами: измеренным расстоянием, интенсивностью отраженного сигнала и RGB-составляющей, характеризующей реальный цвет точки. Положение (строка и столбец) каждого элемента (пикселя) полученного растра отражает значения измеренных вертикального и горизонтального углов. Для большинства моделей НЛС характеристика реального цвета для каждой точки получается с помощью неметрической цифровой камеры [1].

Другой формой представления результатов наземного лазерного сканирования является массив точек (рис. 2) лазерных отражений от объектов, находящихся в поле зрения сканера, с пятью характеристиками, а именно пространственными координатами (X, Y, Z), интенсивностью и реальным цветом.



Интенсивность

Расстояние

Реальный цвет

Рисунок 1 – Результат лазерного сканирования – растровое изображение

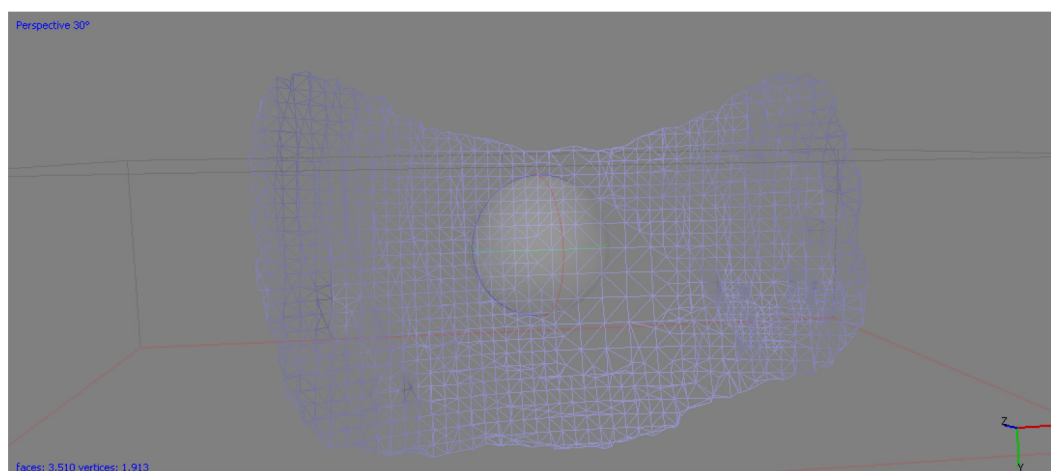


Рисунок 2 – Результат наземной лазерной съемки – массив точек

Пространственные координаты точек объекта в системе координат НЛС вычисляются по формулам [4- 6]:

$$X=R \cos \varphi \sin \theta;$$

$$Y= R \sin \varphi \sin \theta (1);$$

$$Z= R \cos \theta (2);$$

где R – измеренная дальность от точки стояния сканера до объекта;

φ – горизонтальный угол измеренного направления лазерного луча R ;

θ – вертикальный угол направления R , отсчитываемый от оси Z до вектора R (зенитное расстояние направления лазерного луча).

Эти формулы являются обобщенными для перехода от полярной системы координат к пространственной декартовой. Для каждого конкретного сканера они имеют индивидуальный вид, где учитываются несовпадение источника излучения и приемника, эксцентриситет вертикальной и горизонтальной осей вращения прибора и другие величины, которые называются параметрами калибровки сканера [4-7].

Перед описанием технологии съемки хотелось бы остановиться на условиях проведения работ. Они были близкими к экстремальным, поскольку работы велись в горной местности и в сложных метеорологических условиях. Падающие со склонов камни и без того представляли собой постоянную опасность. При наличии временных дорог вдоль русла реки не всегда удавалось найти оптимальное местоположение станций.

Все измерения были выполнены с помощью наземного лазерного сканера FAROLASER-SCANNERFOCUS 3D (дальность измерений – до 100 м, точность измерений – ± 2 мм, скорость – до 488 000 точек/с) [8]. Съемка проводилась способом «известной станции» (установка сканера на точку с условными координатами). Для этого с пунктов геодезической сети с помощью электронного тахеометра TCRA 1205 определялись координаты точки установки лазерного сканера и одной или двух марок. Координаты этих же марок определялись лазерным сканером, что позволяло «сшивать» все сканы в единое «облако точек». Местоположение станций для установки лазерного сканера выбиралось таким образом, чтобы обеспечить равномерную съемку всех объектов. При съемке местности плотность сканирования составляла 25 точек/м² (на расстоянии 100 м). Одновременно с процессом сканирования операторы вели журнал с абрисами объектов съемки для последующей обработки

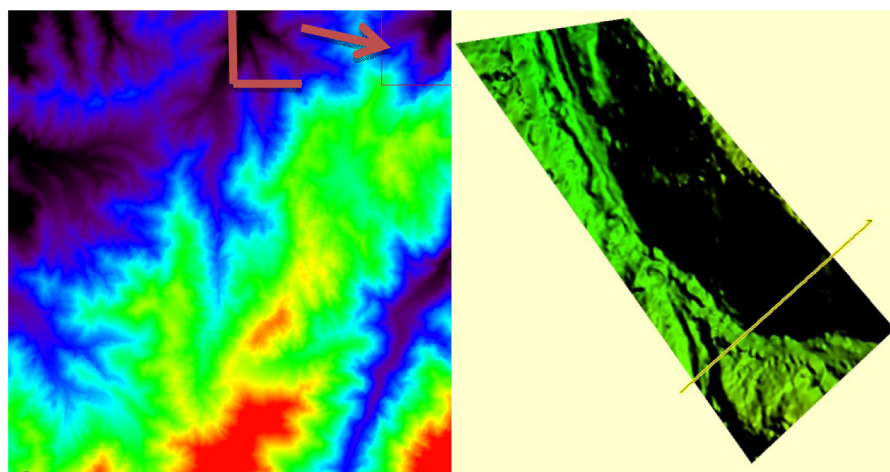
измерений. Следует отметить, эта сканирующая система отлично проявила себя в сложных горных условиях, ее рабочая дальность фактически составила 90 м.

Результаты

В результате проведения полевых работ для каждого объекта был получен набор отдельных сканов. Привязка участков съемки невидимых пунктов осуществлялась следующим образом. На таких участках электронным тахеометром от пунктов геодезической сети определялись координаты начальной и конечной станции и их марок. Между этими станциями лазерным сканером прокладывался самостоятельный ход, с точек которого выполнялась съемка. То есть с каждой предыдущей станции привязывалось местоположение следующей станции и одной (двух) марок ориентации. «Сшивка» сканов в «облако точек» проводилась автоматически с помощью программного обеспечения AutoCAD. Точность «сшивки» контролировалась по отчетам, выдаваемым программой после обработки данных. Если по тем или иным причинам привязку по маркам сделать было невозможно или затруднительно, то такие сканы объединялись с единым «облако точек» методом «сшивки по контурам» (стандартный метод, реализуемый большинством программ для обработки данных наземного лазерного сканирования).

Таким образом, координаты «облака точек» для каждого участка местности получилась в условной системе координат. Эти первичные цифровые данные принято называть точечной трехмерной моделью. Трехмерная модель одного объекта может состоять из миллионов единичных измерений его поверхности. Никакая другая традиционная технология не в состоянии обеспечить подобное количество измерений за столь короткое время.

При моделировании рельефа (рис. 3а) использована топографическая карта масштаба 1:25 000. На ЦМР отражены горизонталы (основные и вспомогательные), высотные отметки, а также другие картографические элементы, используемые для отображения особенностей рельефа местности. Горизонталы как одна из основных составляющих ЦМР обладают высокой метричностью. Не менее важную информацию морфологических особенностей рельефа можно извлечь с синтезированных космических снимков.



а) по топографическим картам

б) по данным НЛС

Рисунок 3 – Цифровая модель рельефа бассейна р.Котырбулак

В настоящее время нет запатентованной технологии выполнения работ по наземной лазерной съемке с целью построения трехмерных моделей местности и создания топографических планов и двумерных чертежей участков сканирования лавиноопасных склонов. В процессе проведения геодезических изысканий была отсканирована часть лавиноопасного склона в бассейне р.Котырбулак общей площади 0.75 га, на основе чего разработана технология выполнения съемки и создания цифровых моделей объек-

тов и рельефа, представленная на рис. 3б. Продолжительность полевых работ составила 2 дня. Это высочайшая скорость выполнения съемки, которая не под силу любому другому способу. На обработку результатов ушло 3 месяца. В результате выполненной работы получены трехмерные модели объекта в формате AutoCAD (рис. 3б) и продольный и поперечные профили (рис. 4), которые послужили основой для оценки лавинной опасности. Что и являлось главной задачей геодезических изысканий.

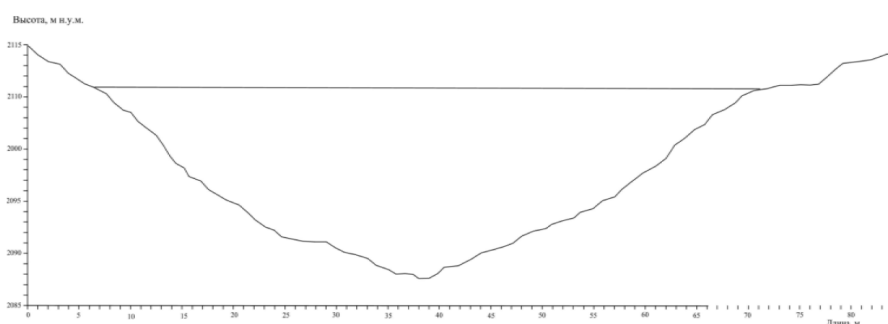


Рисунок 4 – Поперечный профиль лавинного лотка с определением максимальной высоты лавинного потока

Выводы

Применение наземного лазерного сканирования переводит исследования рельефа на качественно новый этап анализа. Предлагаемый способ позволяет существенно повысить эффективность работ по оценке лавинной опасности с целью обеспечения

безопасности рекреационных комплексов в горах. Таким образом, в результате исследований выполнена оценка рельефа по морфометрическим показателям. Для этих целей созданы карты рельефа с использованием методов цифрового моделирования. Результаты оценки рельефа использованы для оценки лавинной опасности территории.

Литературы

- 1 Середович В.А., Комиссаров А.В., Комиссаров В.Д., Широкова Т.А. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261с
- 2 Технология создания трехмерных цифровых моделей различного назначения [Электронный ресурс]: офиц.сайт компании НПП «Геокосмос». – Режимдоступа: <http://www.geokosmos.ru>
- 3 Laser mirror scanner LMS- Z210technical documentation and users instruction [Текст]. – Riegl Austria, 2002
- 4 Laser mirror scanner LMS- Z360 technical documentation and users instruction [Текст]. – Riegl Austria, 2004.
- 5 Laser mirror scanner LMS- Z420 technical documentation and users instruction [Текст]. – Riegl Austria, 2006.
- 6 Rietdorf A.A concept for the calibration of terrestrial laser scanners [Текст] / A. Rietdorf, F. Geldorf, L. Gruending// IN-GEO 2004and Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia, November 11-13, 2004
- 7 <http://faro.by/katalog/lazernyj-3d-skaner-faro-focus-3d-x330>(Техническая характеристика лазерного сканера)

References

- 1 Seredovich V.A., Komissarov A.V., Komissarov V.D., Shirokova T.A. – Novosibirsk: SGGA, 2009. – 261s
- 2 Tehnologija sozdanija trehmernyh cifrovyyh modelej razlichnogo naznachenija [Jelektronnyj resurs]: ofic.sajt kompanii NPP «Geokosmos». – Rezhimдоступа: <http://www.geokosmos.ru>
- 3 Laser mirror scanner LMS- Z210technical documentation and users instruction [Tekst]. – Riegl Austria, 2002
- 4 Laser mirror scanner LMS- Z360 technical documentation and users instruction [Tekst]. – Riegl Austria, 2004.
- 5 Laser mirror scanner LMS- Z420 technical documentation and users instruction [Tekst]. – Riegl Austria, 2006.
- 6 Rietdorf A.A concept for the calibration of terrestrial laser scanners [Tekst] / A. Rietdorf, F. Geldorf, L. Gruending// IN-GEO 2004and Regional Central and Eastern European Conference on Engineering Surveying, Bratislava, Slovakia, November 11-13, 2004
- 7 <http://faro.by/katalog/lazernyj-3d-skaner-faro-focus-3d-x330>(Tehnicheskaja harakteristika lazernogo skanera)