

## ОСОБЕННОСТИ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ МОБИЛЬНОГО ЛАЗЕРНОГО СКАНИРОВАНИЯ

*Максим Александрович Алтынцев*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

*Каркокли Хамид Маджид Сабер*

Сибирский государственный университет геосистем и технологий, 630108, Россия, г. Новосибирск, ул. Плахотного, 10, аспирант кафедры инженерной геодезии и маркшейдерского дела, тел. (923)173-41-25, e-mail: enghamid72@yahoo.com

Целью предварительной обработки данных мобильного лазерного сканирования (МЛС) является получение единого массива точек лазерных отражений (ТЛО) в требуемой системе координат. В процессе данной обработки выполняется калибровка 2D-сканеров и цифровых камер, уравнивание массивов ТЛО, операции фильтрации данных, такие как удаление шумов и точек переотражений. В настоящее время разработано большое количество программного обеспечения (ПО) для решения данных задач, но степень автоматизации в них различна. В зависимости от ПО, участка сканируемой территории методика предварительной обработки данных МЛС может отличаться. Требуется осуществлять анализ результатов выполненного сканирования с целью выявления их особенностей, определения порядка предварительной обработки данных и решения о необходимости применения дополнительных интерактивных процедур.

**Ключевые слова:** мобильное лазерное сканирование, массив точек, предварительная обработка, точность.

## PECULIARITIES OF PRELIMINARY MOBILE LASER SCANNING DATA PROCESSING

*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: (383)343-29-66, e-mail: mnbcv@mail.ru

*Karkokli Hamid Majid Saber*

Siberian State University of Geosystems and Technologies, 10, Plakhotnogo St., Novosibirsk, 630108, Russia, Ph. D. Student, Department of Engineering Geodesy and Mine Surveying, phone: (383)361-01-59, e-mail: enghamid72@yahoo.com

The goal of preliminary mobile laser scanning (MLS) data processing is generating a unified point cloud in a required coordinate system. During this processing calibration of 2D scanners and digital cameras, point cloud adjustment, data filtering such as removal of noise and remirror points. Currently huge amount of software is developed for solving these tasks, but a degree of their automation differs. Depending on software, type of scanned area preliminary MLS data processing technique can differ. The analysis of carried out scanning results with the task of revealing their peculiarities, determination of the preliminary data processing order and deciding about necessity to accept additional manual procedures.

**Key words:** mobile laser scanning, point cloud, preliminary processing, accuracy.

## *Введение*

Технология МЛС в последнее десятилетие активно применяется для геодезической съемки различных линейно-протяженных объектов. Данная технология позволила значительно ускорить полевой этап геодезических работ. За один съемочный день стало возможным выполнить съемку нескольких десятков и даже сотен километров линейно-протяженных объектов, таких как автомобильные и железные дороги, линейные трубопроводы, линии электропередач и многие другие объекты придорожной полосы. В результате предварительной обработки данных МЛС получается единый массив ТЛО, который уже можно использовать для получения той или иной геодезической продукции: топографические планы, трехмерные модели, продольные и поперечные профили. Благодаря высокой плотности данных (более ста точек на квадратный метр) по обработанному массиву точек можно выполнить и любые другие требуемые измерения [1–5].

Суть технологии МЛС заключается в сборе данных в процессе движения транспортного средства, на крыше которого установлено следующее оборудование: двумерные лазерные сканеры, спутниковые антенны, инерциальная навигационная система, цифровые камеры. Дополнительно для более точного отслеживания перемещения системы на колесо может устанавливаться датчик измерения пройденного расстояния. Контролирует запуск и работу всех систем оператор через ноутбук или специальный монитор, который связывается со всеми устройствами через блок управления. В процессе съемки на жесткие диски, установленные в блоке управления, записываются ТЛО, цифровые фотографии, данные со спутниковых антенн и инерциальной системы в виде траектории движения транспортного средства [6–7].

В процессе работы системы МЛС обязательно должен быть запущен сбор данных на базовых станциях, т. е. дополнительных спутниковых приемниках, устанавливаемых на пунктах съемочного обоснования, чаще всего пунктах государственной геодезической сети [7].

После полевого этапа сканирования осуществляется предварительная обработка всех данных, конечным результатом которой является единый массив ТЛО во внешней системе координат. На этапе предварительной обработки в специализированное ПО подгружаются все данные с системы МЛС и базовых станций. Выполняется расчет траекторий по данным со спутниковых приемников системы МЛС и базовых станций, калибровка двумерных лазерных сканеров, уравнивание ТЛО, удаление шумов. В результате расчета траекторий более точно определяются элементы внешнего ориентирования системы МЛС в каждый момент времени сканирования, обычно через одну секунду. В результате калибровки сканеров определяются элементы их взаимного ориентирования друг относительно друга, чаще всего применяются 2 сканера. В результате уравнивания ТЛО определяются поправки к элементам внешнего ориентирования системы МЛС (к траекториям, массиву ТЛО, позициям цифровых фотографий), чтобы массив ТЛО, полученный при движении в прямом направлении,

совпал с массивом, полученном при движении в обратном. Сканирование в двух противоположных направлениях на одном участке съемки выполняется с целью повышением абсолютной точности данных и равномерного покрытия участка съемки данными, чтобы количество зон без ТЛО от близлежащих объектов придорожной полосы было минимальным [8–11].

### *Программное обеспечение для обработки данных МЛС*

В зависимости от степени застройки участка съемки, модели системы МЛС, применяемого ПО, цели сканирования методика предварительной обработки данных МЛС может существенно отличаться.

Как правило, в комплект поставки системы МЛС уже входит специализированное ПО, позволяющее выполнить предварительную обработку данных МЛС. Степень автоматизации такого ПО обычно достаточно высока. Приведем несколько примеров систем МЛС и ПО для них [9].

Для систем МЛС Riegl VMX-250 и VMX-450 применяется ПО RiProcess. Для систем Optech Lynx Mobile Mapper M1 и Lynx SG1 разработано ПО LIDAR Mapping Suite (LMS). Для системы Topcon IP-S2 – ПО Spatial Factory. Для системы Leica Pegasus:Two – ПО Pegasus:MapFactory. Для системы Trimble MX9 – Trimble MX Office Software [12–17].

Все данное ПО способно автоматически выполнять калибровку и уравнивание данных МЛС, а также устранять шумы в них.

Исходный уровень шума в данных МЛС может различаться в зависимости от модели съемочной системы и существенно оказывает влияние на точность массива ТЛО. Для устранения шумов применяются различные алгоритмы, реализованные в определенном ПО [10].

Точность результата калибровки и уравнивания данных МЛС существенно зависит от степени застройки территории. Чем больше характерных четко выраженных контуров объектов на местности, тем более точно будут выполнены данные процессы автоматическими инструментами ПО. Проблемы могут возникать там, где количество оригинальных объектов вблизи придорожной полосы невысоко, например, на загородной дороге, где, например, нет никаких зданий, а встречаются только пикетажные столбы. В таких местах двоение массива ТЛО между проездами может достигать 20–30 сантиметров после осуществления операции автоматического уравнивания. Тогда требуется выполнить интерактивное уравнивание посредством дополнительного набора соответственных точек между проездами. Любое специализированное ПО включает возможность интерактивного набора соответственных точек [2, 10].

Кроме ПО от производителей сканеров также существует ПО обработки данных МЛС, разработанное сторонними разработчиками. Такое ПО включает возможность импорта массивов ТЛО из форматов различных съемочных систем. Может быть, как отдельным программным продуктом, так и быть в виде модулей для САД-систем [18–21].

Отдельным программным продуктом, например, является 3D СКАН от компании Кредо и VRMesh от VirtualGrid.

VirtualGrid VRMesh поддерживает большое количество форматов данных лазерного сканирования, позволяет в автоматическом и интерактивном режимах выполнять уравнивание массивов ТЛЮ, автоматизированно фильтровать и классифицировать ТЛЮ, векторизовать характерные линии, такие как дорожная разметка, границы бордюров, головки рельсов, границы откосов [18].

В ПО Кредо 3D СКАН отсутствуют функции уравнивания массивов ТЛЮ. В программу подгружаются уже уравненные в специализированных ПО, разработанных компаниями-производителями сканеров, данные. В 3D СКАН реализованы мощные инструменты последующей обработки, такие как фильтрации, классификации, прореживания массивов ТЛЮ, автоматическое извлечение характерных линий, распознавания различных объектов дорожной инфраструктуры [19].

Среди такого ПО можно выделить TerraSolid от одноименной компании и Topodot от компании Certainty3d. Оба ПО созданы на базе ПО Microstation и представляют собой отдельные программные модули [20].

ПО TerraSolid является универсальным программным обеспечением. Преимуществом данного ПО является наличие богатого инструментария с обширным набором настроек. ПО позволяет выполнять уравнивание данных мобильного и воздушного сканирования, фильтрацию, прореживание, классификацию, построение цифровых моделей рельефа, вычислять объемы, создавать ортофотопланы [20].

ПО Topodot не рассчитан на уравнивание массивов ТЛЮ. Достоинство данного ПО – наличие большого числа инструментов автоматического извлечения характерных линий автомобильных и железных дорог, классификации и фильтрации ТЛЮ, построения цифровых моделей [21].

Таким образом, стороннее ПО обладает многими функциями программ, входящих в комплекс поставки лазерных сканеров, но создается главным образом, чтобы добавить новые функции по обработке данных лазерного сканирования или улучшить существующие. Данное ПО может существенно увеличить степень автоматизации предварительной обработки данных МЛС и быть адаптированным для массивов ТЛЮ, полученных различными съемочными системами и имеющих различное качество данных.

### ***Методика предварительной обработки***

В общем виде методика предварительной обработки заключается в том, что сначала выполняется расчет траекторий по данным со спутниковой аппаратуры, инерциальной системы и базовых станций. Обычно для этого применяется отдельная программа. Для многих съемочных систем применяется программа Arplanix PosPac MMS, так как инерциальный блок в различных съемочных системах мобильного сканирования применяется от одной компании – Arplanix. Далее рассчитанные траектории совместно с необработанными массивами ТЛЮ и цифровыми фотографиями подгружаются в специализированные программы, описанные в предыдущем разделе где сначала выполняется калиб-

ровка сканеров, т. е. определяются их элементы взаимного ориентирования. Затем выполняется автоматические этапы фильтрации и уравнивания массивов ТЛО. Фильтрация данных может быть осуществлена как до уравнивания, так и после него. Для внешнего ориентирования уравненного массива точек в дальнейшем применяют координаты опорных точек, измеренные на местности другими геодезическими приборами. Внешнее ориентирование по опорным точкам может быть выполнено автоматически, если на местности предварительно был использован шаблон определенной формы, обычно нанесенный светоотражающей краской на асфальт, и, если форма этого шаблона известна программе предварительной обработки. Найденные в результате взаимного и внешнего ориентирования поправки также применяют для цифровых фотографий [10].

### ***Особенности и результаты предварительной обработки***

Для примера сравним результаты предварительной обработки для двух систем МЛС: Riegl VMX-250 и Optech Lynx M1. На рис. 1 приведен фрагмент сечения массива ТЛО для этих систем на один и тот же участок, на котором отображена стена здания и земля. Глубина сечения – 0,2 см. Промежуток времени между съемками этого участка различными системами МЛС составляет 5 лет. ТЛО с различных проездов съемочной системы показаны разными цветами. В отличие от данных со сканера Lynx двоение данных со сканера VMX-250 практически отсутствует. То есть уравнивание данных VMX-250 было выполнено точнее. ПО RiProcess, поставляемое вместе с системой VMX-250, позволяет добиться высокой точности автоматического уравнивания на застроенном участке местности.

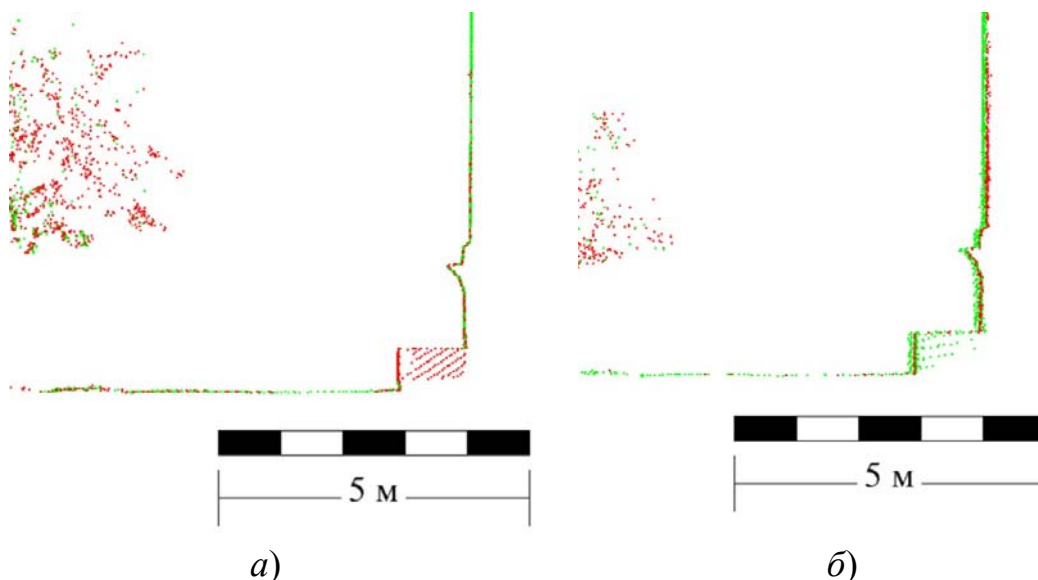


Рис. 1. Данные со сканеров:

*a)* Riegl VMX-250; *б)* Lynx Mobile Mapper M1

Двоение данных VMX-250 может возникать на территориях с полным отсутствием зданий, когда встречаются лишь отдельные небольшие точечные объекты, такие как пикетажные столбы. На рис. 2 (вид сверху) приведен пример массива ТЛО от пикетажного столба вблизи автомобильной дороги. Двоение между проездами на данном участке составило 35 мм. На отдельных участках дороги двоение может достигать 100 мм. Тогда требуется выполнять интерактивное уравнивание посредством набора соответственных точек между массивами ТЛО различных проездов.

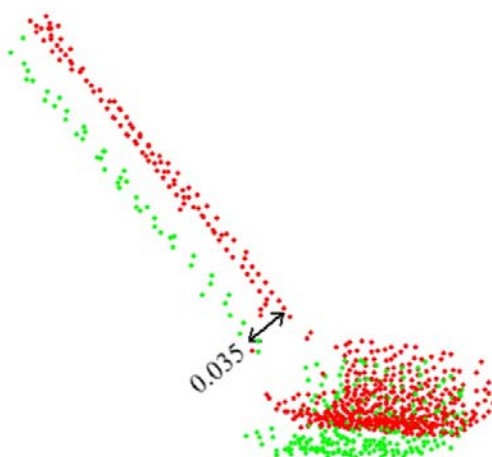


Рис. 2. Двоение данных со сканера VMX-250, мм

Уровень шума данных различных систем МЛС может также существенно отличаться. На рис. 3 приведен пример сечения одного и того же участка данных, полученного разными системами. Глубина сечения – 5 см. Данные VMX-250 позволяют выделить даже небольшие неровности дороги. На данных Lynx шум не позволяет выделить такие неровности.

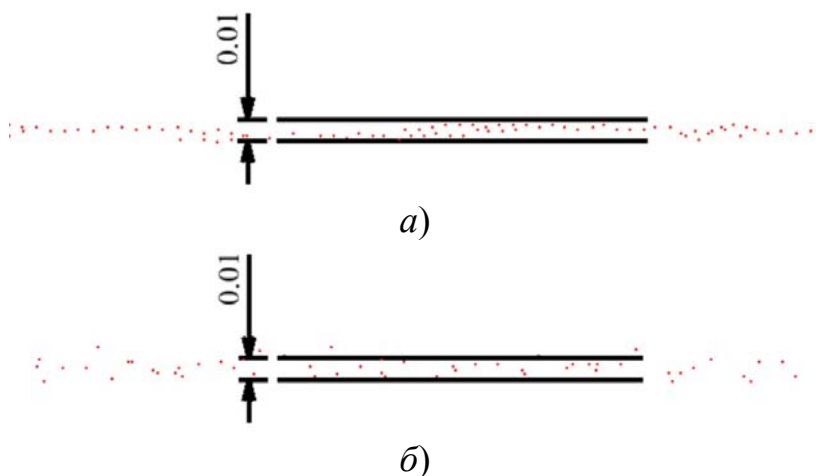


Рис. 3. Уровень шума данных МЛС:  
а) Riegl VMX-250; б) Lynx Mobile Mapper M1

Для устранения шума применяются различные операции фильтрации данных. Например, может быть выполнено сглаживание. На рис. 4 показан результат сглаживания в пределах 1 см. На данных VMX-250 были сглажены неровности дороги, а данные Lynx практически не изменились, так как уровень шума немного превысил значение сглаживания в 1 см.

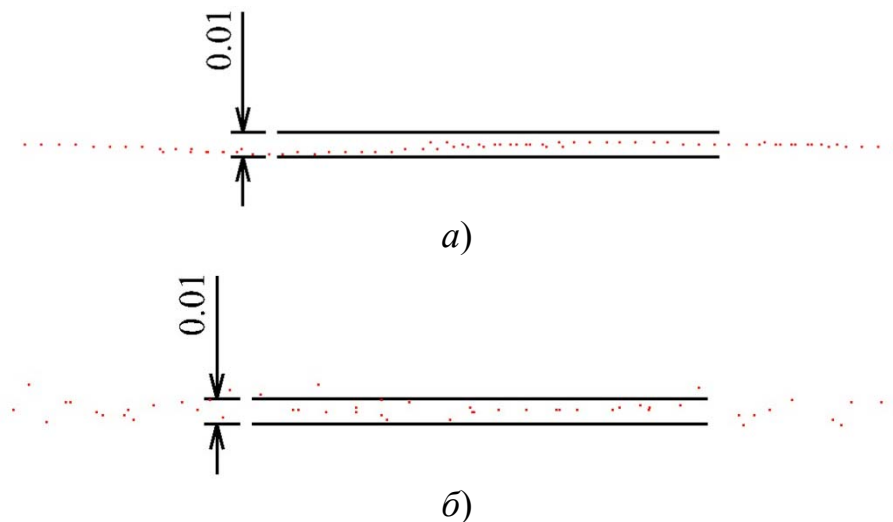


Рис. 4. Данные МЛС после сглаживания в 1 см:

а) Riegl VMX-250; б) Lynx Mobile Mapper M1

На рис. 5 показан результат сглаживания в пределах 2 см. Степень сглаживания данных VMX-250 оказалась такой же, как и в пределах 1 см, в данных Lynx устранились шумы.

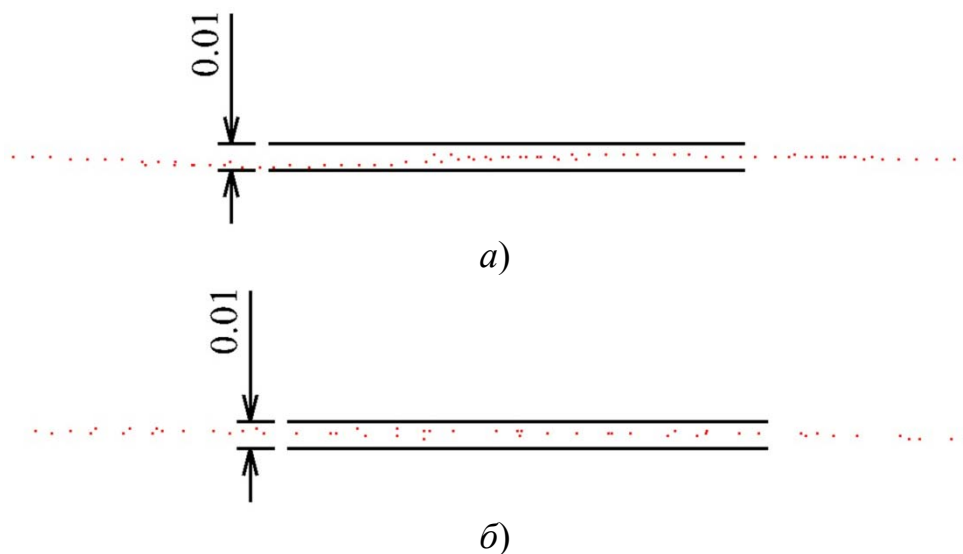


Рис. 5. Данные МЛС после сглаживания в 2 см:

а) Riegl VMX-250; б) Lynx Mobile Mapper M1

В задачу фильтрации данных помимо сглаживания также входит устранение различных переотражений, возникающие при сканировании зеркальных поверхностей, а также при съемке в сырую погоду. Задача может быть решена посредством анализа значений интенсивности ТЛО, порядка их отражения и текстуры объекта сканирования. На рис. 6 показано сечение массива ТЛО с точками переотражения под землей.

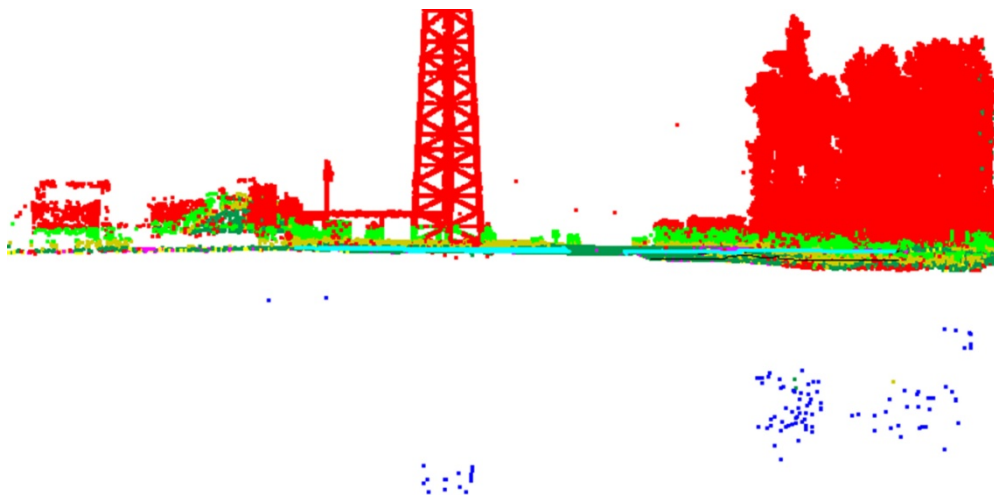


Рис. 6. Данные МЛС с точками переотражения под землей

### *Заключение*

МЛС – это достаточно современный и совершенный вид геодезической съемки. Чтобы получить массивы ТЛО, точность которых будет удовлетворять решению практически любой задачи, необходимо соблюдать ряд требований как в процессе полевого этапа сканирования, так и при выполнении предварительной обработке его результатов. Для предварительной обработки результатов лазерного сканирования создано множество программных продуктов. Одни из них в большей степени автоматизированы, чем другие. Но чтобы получить единый уравненный массив ТЛО в необходимой системе координат без различного рода шумов и переотражений часто требуется использовать более одного программного продукта и применять ряд интерактивных процедур, причем методика их применения будет существенно зависеть от вида съемочной системы, характера снимаемой территории. Поэтому требуется учитывать множество факторов и разрабатывать комплексную методику предварительной обработки данных МЛС.

### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Алтынцев М. А., Иптышева М. А. Совместная обработка данных мобильного лазерного сканирования и цифровой наземной фотосъемки для построения единого массива точек // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия,



геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 87–95.

2. Алтынцев М. А., Макаров А. М. Проблемы автоматизированного определения характерных линий автомобильных дорог по данным лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь. XIV Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов (Новосибирск, 23–27 апреля 2018 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – С. 96–104.

3. 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.

4. Деговцев А. А. Технология мобильного лазерного сканирования для выполнения проектно-изыскательских работ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2012. VIII Междунар. науч. конгр., 10–20 апреля 2012 г., Новосибирск: Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия»: сб. материалов в 3 т. Т. 3. – Новосибирск: СГГА, 2012. – С. 140–144.

5. Середович В. А., Попов Р. А., Алтынцев М. А. Выявление изменений в инфраструктуре города по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 156–160.

6. Алтынцев М. А. Автоматизированное определение характерных линий автомобильных дорог по данным мобильного лазерного сканирования // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2016. XII Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 18–22 апреля 2016 г.). – Новосибирск : СГУГиТ, 2016. Т. 2. – С. 109–117.

7. Шануров Г. А., Половнев О. В., Манилова А. Д. Способ обработки результатов топографической съемки, выполненной с использованием мобильного сканирующего комплекса // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2016. – № 3. – С. 42–47.

8. Манилова А. Д. Геодезическое обеспечение топографической съемки, выполняемой с использованием мобильного сканирующего комплекса // Изв. вузов. Геодезия и аэрофотосъемка. – 2017. – № 3. – С. 54–57.

9. Сарычев Д. С. Обработка данных лазерного сканирования // САПР и ГИС автомобильных дорог. – №1(2), 2014. – С. 16-19.

10. Середович В. А., Алтынцев М. А., Попов Р. А. Выбор методики уравнивания данных мобильного лазерного сканирования в зависимости от качества полученных данных и снимаемой территории // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Геодезия, геоинформатика, картография, маркшейдерия» : сб. материалов в 2 т. (Новосибирск, 8–18 апреля 2014 г.). – Новосибирск : СГГА, 2014. Т. 2. – С. 142–149.

11. Середович В. А., Алтынцев М. А., Анцифиров Е. С. Исследование точности уравнивания данных мобильного лазерного сканирования // 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. 90–95.

12. Высокоточная съемка архитектурных памятников Венеции лазерной системой Riegl VMX-250 / Штудницка Н., Зах Г., Амон Ф., Пфеннигбауэр М. // Вестник СГГА. – 2011. – Вып. 2 (15). – С. 16–29.

13. Сайт компании «Riegl» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.riegl.ru/Mobilnye-lazernye-skanery/lazernaja-skanirujuschaja-sistema-riegl-vmx-450.html>.

14. Сайт компании «Trimble» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.trimblegnss.ru/catalog/mobilnye-sistemy/trimble-mx9/>.
15. Сайт компании «Topcon» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/IP-S2\\_Lite\\_E.html](https://www.topcon.co.jp/en/positioning/products/product/3dscanner/IP-S2_Lite_E.html).
16. Сайт компании «Ortech» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://www.teledyneoptech.com/en/products/mobile-survey/lynx-hs300/>.
17. Сайт компании «Leica Geosystems» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus\\_two](https://leica-geosystems.com/products/mobile-sensor-platforms/capture-platforms/leica-pegasus_two).
18. Сайт компании «VRMesh» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.vrmesh.com>.
19. Сайт компании «Кредо-диалог» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://credo-dialogue.ru/produkty-2/korobochnye-produkty/credo-3d-scan.html>.
20. Сайт компании «TerraSolid» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.terrasolid.com/home.php>.
21. Сайт компании «Certainty3d» [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://new.certainty3d.com/>.

© М. А. Алтынцев, Каркоккли Хамид Маджид Сабер, 2019