

С.С. Нехин, Н.М. Бабашкин
ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД», г. Москва, Россия

ЛАЗЕРНОЕ СКАНИРОВАНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЕГО ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ТОПОГРАФИЧЕСКОГО КАРТОГРАФИРОВАНИЯ И КАДАСТРА

Аннотация. Исследовано современное состояние дел с использованием результатов лазерного сканирования для целей топографического картографирования, кадастра и получения пространственной информации для решения других задач в России и за рубежом. Рассмотрены проблемы, присущие воздушному лазерному сканированию с пилотируемых и беспилотных воздушных судов (БВС). В частности, для систем лазерного сканирования, устанавливаемых на БВС, имеют место сдерживающие факторы их применения, а именно существующие организационно-правовые ограничения доступа БВС к воздушному пространству и обеспечение безопасности полетов, в том числе в ночное время. Системам лазерного сканирования, устанавливаемым на пилотируемые воздушные суда присущи проблемы высокой стоимости оборудования и ПО, а также ограниченное и с каждым годом сокращающееся количество специально оборудованных носителей, способных обеспечить эффективное лазерное сканирование с больших высот.

Показаны перспективы и направления применения лазерного сканирования для целей топографического картографирования, кадастра, получения пространственной информации в целях создания цифровых двойников территорий и объектов, связанные с внедрением технологий лазерного сканирования в работы по созданию городов-миллионников в Сибири, созданием единой электронной картографической основы (ЕЭКО), получением совершенно особенного вида продукции – высокоточной топобатиметрической лазерной съемки.

Даны предложения по задачам, требующим решения для более интенсивного внедрения технологий лазерного сканирования в производство работ Росреестра и других ведомств: разработка на основе проведения опытно-производственных работ нормативно-технических документов, стандартов, а также документов, регламентирующих временные и финансовые затраты производства работ с учетом новых подходов к оценке эффективности использования технологий лазерного сканирования, связанных с новыми видами продукции, многоцелевым применением пространственной информации в различных отраслях хозяйства страны, многократным использованием информации по принципу «получил один раз, используй многократно».

Ключевые слова: воздушное, наземное лазерное сканирование, пилотируемое, беспилотное воздушное судно, мобильная лазерная система, топографическое картографирование, кадастр, цифровые двойники, нормативное регулирование.

S.S. Nekhin, N.M. Babashkin
Center of Geodesy, Cartography and SDI, Moscow, Russia

LASER SCANNING AND PROSPECTS OF ITS APPLICATION FOR THE PURPOSES OF TOPOGRAPHIC MAPPING AND CADASTRE

Abstract. The article investigates the current state of affairs concerning the use of laser scanning results for the purposes of topographic mapping, cadastre and obtaining spatial information in Russia and abroad. The problems inherent in aerial laser scanning from manned and unmanned aerial vehicles (UAVs) are considered. In particular,

НЕХИН Сергей Степанович – д.т.н., с.н.с., ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». E-mail: nekhin_ss@nsdi.rosreestr.ru

НЕКХИН Sergey Stepanovitch – Doctor of Technical Sciences, Senior Researcher, Center of Geodesy, Cartography and SDI. E-mail: nekhin_ss@nsdi.rosreestr.ru

БАБАШКИН Николай Михайлович – зам. начальника отдела ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД». E-mail: babashkin_nm@nsdi.rosreestr.ru

BABASHKIN Nikolay Mikhaylovitch – Deputy head of the department Center of Geodesy, Cartography and SDI. E-mail: babashkin_nm@nsdi.rosreestr.ru

for laser scanning systems installed on UAVs, there are constraining factors of their application, namely the existing organizational and legal restrictions on UAV access to airspace and ensuring flight safety, including at night. Laser scanning systems installed on manned aircraft are characterized by problems of high cost of equipment and software, as well as a limited and every year decreasing the number of specially equipped carriers capable of providing effective laser scanning from high altitudes.

The prospects and directions of laser scanning technologies application for the purposes of topographic mapping, cadastre, obtaining spatial information in order to create digital twins of territories and objects are shown. These prospects and directions are associated with the implementation of laser scanning technologies in the creation of cities with the millions of people in Siberia, the creation of an unified electronic cartographic framework (UECF), obtaining a very special type of product – high-precision topobathymetric laser surveying.

Proposals on the tasks requiring solutions for more intensive introduction of laser scanning technologies in the production works of Rosreestr and other departments are given. These proposals include the development on the basis of pilot production works of regulatory and technical documents, standards as well as the documents regulating the time and financial costs of work, taking into account new approaches to assessing the effectiveness of using of the laser scanning technologies. These approaches are associated with new types of products, multipurpose application of spatial information in various branches of the country's economy, multiple the use of information on the principle of "received once, use repeatedly".

Keywords: geological practice, digital surface model, modeling of stratigraphic units, modeling, wireframe model, Tomponsky training ground, cuts, contours, digital twin, Micromine.

Введение

Методы и технологии получения пространственной информации переживают во всем мире революционные изменения. Интенсивно развиваются и совершенствуются методы и системы лазерного сканирования (ЛС). Особенно быстрый прогресс наблюдается для систем лазерного сканирования, устанавливаемых на беспилотные воздушные суда (БВС) и мобильных лазерных систем (МЛС). Быстрые темпы внедрения в практику производственных работ современных технологий лазерного сканирования, несмотря на высокую стоимость используемых аппаратно-программных средств, обусловлены целым рядом их преимуществ по сравнению с классическими методами съемки, и, в частности, повышением показателей производительности и сокращением сроков полевых работ.

Основные виды работ, в которых активно используются системы лазерного сканирования, сопряжены с наиболее важными для Российской Федерации отраслями экономики – нефтегазовой, энергетикой, промышленными, инфраструктурными проектами, строительством [1]. Конкретными задачами, решаемыми с применения систем ЛС в отечественной практике, является мониторинг объектов, контрольные съемки и сбор данных для проектирования, в том числе с пилотируемых и беспилотных воздушных судов.

В научных публикациях практически не рассматривается тематика исследований по вопросу использования лазерного сканирования для целей топографического картографирования и кадастра. Отечественные публикации, в основном, касаются полученных результатов лазерного сканирования, а на их основе делаются выводы о возможности применения данной технологии для решения широкого спектра задач. Отмечается в качестве современного тренда применение и одновременная обработка большого объема данных облаков точек от нескольких лазерных систем (в том числе разного вида, например, воздушных и мобильных). Это с одной стороны повышает производительность метода, но с другой стороны и удорожает стоимость продукции, а значит, ограничивает область применения ЛС.

Координатное обеспечение Единого Государственного реестра недвижимости (ЕГРН), землеустройства и мониторинга земель наряду с традиционными картографическими и фотограмметрическими материалами, которые используются при составлении планов земельных участков, прилагаемых к документам, удостоверяющим права на эти участки, также может основываться на современных лазерных технологиях.

Однако актуальной на данный момент проблемой является отсутствие нормативных документов, регламентирующих правила выполнения воздушно-лазерного сканирования [1–3], а также нормирования (нормы времени и финансовые затраты) технологических процессов проведения всего комплекса лазерного сканирования от полевых работ до обработки получен-

ного материала, для подсчёта сметной стоимости работ. Следует подчеркнуть, что за рубежом, например, в США [1] существуют стандарты сбора данных воздушного лазерного сканирования, в которых регламентируются требования к точности, формату, классификации данных лазерного сканирования. Например, для номинальной точности 0,35 и 1,41 м плотность сканирования должна составлять не менее 8 и 0,5 точек/м² соответственно.

Целью данного исследования является анализ состояния дел с практическим использованием методов и технологий лазерного сканирования для целей топографического картографирования, кадастра, и получения пространственных данных, выявление проблем и выработка рекомендаций, направленных на более оперативное и эффективное внедрение ЛС в практику отечественных производственных работ.

Состояние и проблемы использования систем лазерного сканирования

За рубежом почти полвека, а в России чуть меньше активно разрабатываются и совершенствуются методы и технологии лазерного сканирования. Без них уже трудно обойтись во многих отраслях, таких как горнодобывающая, транспортные системы, промышленность, топографические съемки, архитектура, археология, гражданское строительство, мониторинг объектов, моделирование городов и прочее. Вместе со всем очевидными традиционными применениями лазерного сканирования требуется говорить и о таких новых перспективных направлениях применения ЛС, как создание цифровых двойников, эффекте присутствия, умной цифровой реальности [1, 5–7]. Находят свое применение системы воздушного лазерного сканирования (ВЛС), мобильные и стационарные наземные системы ЛС. Как показывает практика, хорошие результаты дает интеграция материалов лазерного сканирования и фотограмметрии [8].

Системы ВЛС, устанавливаемые на БВС, вследствие ограниченной высоты полета носителя обладают более высокой точностью (при худшей относительной точности), но и существенно меньшей производительностью по отношению к системам ЛС, устанавливаемым на пилотируемые воздушные суда (ПВС). В этой связи уровень их эффективного применения для картографирования и кадастра пока невысок (особенно в России), а ограничивается, в основном, задачами крупномасштабной и сверх крупномасштабной съемки незначительных по площади участков местности и отдельных компактных объектов. При этом прослеживаются тенденции их развития, связанные с повышением грузоподъемности новых моделей БВС и одновременным снижением веса самих систем лазерного сканирования для БВС.

Однако экономические факторы во многом могут ускорить тенденцию перехода от пилотируемых систем к беспилотным, несмотря на меньшую производительность и относительную точность последних. Один из этих факторов, и немаловажный, это общая стоимость затрат на покупку, содержание и эксплуатацию оборудования. Современная практика показывает, что даже самые дорогие беспилотные лазерные системы стоят значительно меньше, чем классические самолетные. Дешевле также обходится подготовка пилотов и их работа. Причем речь идет не только о финансовых, но и временных затратах. Это особенно важно для небольших компаний или государственных организаций, которые ограничены в бюджетных расходах и штате квалифицированных сотрудников. В таких случаях можно быстро и сравнительно недорого подготовить оператора – внешнего пилота. Кроме того, беспилотные системы обладают большей оперативностью получения и использования пространственной информации по сравнению с пилотируемыми, особенно для ограниченных по площади объектов работ.

Вместе с тем пока для систем лазерного сканирования, устанавливаемых на БВС, имеют место сдерживающие факторы их применения, а именно существующие организационно-правовые ограничения доступа БВС к воздушному пространству и обеспечение безопасности полетов, в том числе в ночное время, а также возможность поломки и даже безвозвратной потери носителя и съемочного оборудования в процессе съемки. Аналогичные проблемы имеют место и в других странах [9-11]. В США [10] БВС используются для решения самых разных коммерческих задач, от фотографирования недвижимости до топографического картографирования. Подавляющее большинство этих задач выполняется вне рамок коммерческих правил эксплуатации, установленных Федеральным авиационным управлением (ФАУ). 15 февраля 2015 г. ФАУ опубликовало Уведомление о предлагаемых правилах для малых беспилотных авиационных систем (sUAS). По этим правилам БВС весом до 25 кг могут управляться оператором

в воздушном пространстве класса G (максимальная воздушная скорость 100 миль в час и максимальная высота 500 футов) в светлое время суток в пределах прямой видимости без уведомления ФАУ. Полеты в пространстве классов B, C, D и E разрешены с одобрения службы управления воздушным движением (УВД), но запрещена ретрансляция управления от оператора к оператору. Если в 2014 г. были выданы лицензии на эксплуатацию БВС всего лишь по 9 заявкам (в основном для выполнения НИР университетам), после публикации Уведомления в 2015 г. лицензий было выдано уже более полутора тысяч.

Применительно к Российской Федерации в настоящий момент БВС не обладают равными правовыми возможностями в использовании воздушного пространства по сравнению с пилотируемыми судами, поэтому после получения всех разрешений и согласований операторам БВС необходимо получать разрешение от диспетчера Единой системы управления воздушным движением (ЕС УВД) о закрытии зоны аэросъемки для других (пилотируемых) воздушных судов на высоте производства аэросъемочных полетов. В этой связи требует совершенствования законодательная база использования БВС.

Следует отметить, что некоторые шаги в этой области хоть и очень медленно и нерешительно, но предпринимаются. В частности, принято постановление Правительства «О внесении изменений в Федеральные правила использования воздушного пространства» (2020 г.). По новым правилам разрешаются полеты БВС весом до 30 кг в светлое время суток в прямой видимости до 500 метров и до 150 метров в высоту. Прежде для проведения полетов беспилотных воздушных судов требовалось заранее подавать заявление, а согласование времени и маршрута полета длилось несколько дней. Это демонстрирует определенный шаг в направлении беспрепятственного использования беспилотников, потому что становится возможным их коммерческое применение на ограниченном по дальности и высоте пространстве.

Следующим шагом должно стать законодательное регламентирование оснащения БВС устройством «все видят каждого и каждый видит всех», разрешить полеты за пределами прямой видимости на необходимых высотах на всей территории РФ. Тогда целесообразность использования БВС на объектах площадью до 20 кв. км возрастет до площади нескольких тысяч км² [12].

Системы лазерного сканирования, устанавливаемые на ПВС, не подвержены негативному воздействию вышеуказанных факторов и обладают высокой производительностью. Но им присущи проблемы другого характера. В частности, экономически трудно в кратковременный срок окупить высокую стоимость оборудования и ПО, используя лазерное сканирование только для решения узкоспециализированных задач и получения конкретно ориентированной продукции, например, цифровой модели рельефа (ЦМР). Следует также отметить, что для выполнения эффективного лазерного сканирования с больших высот требуются специально оборудованные для установки лазерной аппаратуры самолеты, количество которых в России ограничено и сокращается. Кроме того, существует реальная опасность выхода из строя лазерной аппаратуры из-за паразитного отражения импульса от первой же поверхности стекла. Обойти этот недостаток можно, установив, например, герметичный колпак над сканером вместо стекла под ним в случае съемки с высот более 3 км.

Мобильное лазерное сканирование наряду с воздушным (пилотируемым и беспилотным) также позволяет получать большой объем съемочной информации, которая используется для создания планов и цифровых моделей в основном линейных объектов (полотна автомобильных и железных дорог), 3D-моделей дорожной и городской инфраструктуры. Его преимущества заключаются в возможности получения исчерпывающей информации об инфраструктурных объектах, которые не могут быть получены с помощью воздушных носителей или их получение затруднено. Во многих случаях технология МЛС успешно дополняет воздушное сканирование. С использованием данной технологии оперативно решаются многие типовые задачи, относящиеся к проектированию, реконструкции, ремонту автомобильных и железных дорог и их инвентаризации. МЛС целесообразно использовать для специальных видов топографической съемки, в том числе для картографирования береговой зоны, водохранилищ, инспекции комплексов продуктопроводов, ЛЭП и при решении других задач.

Своя ниша в практическом использовании имеется и для *портативных (или переносных) лазерных систем* (ручного, рюкзачного и тележечного типов). В перспективе эти системы могут

найти эффективное применение в набирающем в последние годы популярность 3D-кадастре, особенно применительно к многоуровневым зданиям, внутренним помещениям, подземным пространствам.

В качестве основного фактора, сдерживающего еще более бурный прогресс систем лазерного сканирования, следует указать высокую стоимость оборудования и ПО. Особенно это касается воздушных систем лазерного сканирования. Даже лёгкие лазерные сканеры, используемые с БВС, имеют высокую стоимость, при этом в их использование требуется закладывать соответствующие риски потери или поломки в нестандартных ситуациях. Вместе с тем ситуация может измениться в сторону опережающего развития ВЛС с БВС, чему наряду с прогрессом в развитии этих систем может способствовать складывающаяся в стране критическая ситуация с сокращающимся количеством пилотируемых аэрофотосъёмочных воздушных судов (с 2022 г. приостанавливается эксплуатация двухмоторных самолетов Л-410 до выяснения причин их катастроф).

Лазерное сканирование в целях топографического картографирования и кадастра

Технологии лазерной съемки в отличие от традиционных методов аэрофототопографической съемки имеют принципиальное отличие, связанное с увеличением доли камеральных процессов по отношению к полевым работам и повышением роли программного обеспечения для обработки облаков точек лазерных отражений (ТЛЮ). В этой связи автоматическая идентификация объектов по облакам точек является на сегодняшний день чрезвычайно актуальной задачей, поэтому финансовые расходы и временные затраты на обработку данных, характеризующуюся значительной трудоемкостью, во всем мире и в России достаточно высоки. Для ускорения этого процесса некоторые фирмы, например, Leica Geosystems рекомендует использовать параллельную обработку на нескольких компьютерах, организованных в кластер. Данные могут находиться в одном централизованном хранилище, либо для входных и выходных потоков могут использовать физически разные устройства (хранилища).

Национальные программы лазерного сканирования действуют в ряде стран Европы (Финляндия, Франция, ФРГ) и США [1, 5]. Плотность покрытия составляет 5–10 точек/м², а точность определения пространственных координат до 5–10 см. В процессе государственного исследования, выполненного в США, выявлено около 600 направлений применения результатов лазерного сканирования.

Национальная программа ЛС Финляндии начата в 2008 г. и предполагает обновление данных на всю страну каждые шесть лет. С 2020 г. плотность покрытия данными ЛС составляет 5 точек/м². Данные ВЛС используются для ведения и актуализации топографической БД, которая является источником пространственных данных для строительства, планирования землепользования, сельского, лесного хозяйства. В 2022 г. планируется создание на территорию страны 3D-моделей зданий.

Национальный проект Франции 2021–2025 гг. с бюджетом 60 млн. € предполагает создание «Цифрового двойника» государства, предназначенного для использования во многих областях экономики страны. Проектируемая плотность покрытия данными лазерного сканирования – не менее 10 точек/м².

В 2014 г. фирма Hexagon организовала периодическую аэрофотосъемку всей территории США с размером пикселя на местности 30 см, а с 2015 г. начата такая же аэрофотосъемка в Европе. В 2020 г. стартовала аэрофотосъемка с ВЛС системой Terrain Mapper территории США с разрешением на местности 15 см, а для городов – 5 см.

В Европе аналогичные съемки выполняются с разрешением на местности 15 см, для городов – 7,5 см.

В Китае в соответствии с требованиями нормативных документов точность сельских кадастровых данных должна соответствовать точности топографического плана масштаба 1:500. В [13] приводится опыт, сочетающий использование ВЛС с беспилотника и МЛС с автомобиля, обеспечивающий точность координатных определений (СКП) 4,7 см. Отмечены преимущества технологии, выражающиеся в возможности съемки в вечернее время, отсутствии необходимости в опорных точках и высокой степени автоматизации.

В России технологии лазерного сканирования пока в большей степени ориентированы на

использование их результатов для проектирования, строительства и мониторинга линейных объектов, промышленных и инфраструктурных объектов. В целях топографического картографирования и кадастра работы находятся в начальной стадии. Выполненный анализ использования технологий лазерного сканирования в России и за рубежом позволяет сделать вывод о том, что на сегодняшний день уровень внедрения Росреестром технологий ЛС для целей топографического картографирования и кадастра недостаточен и требует более масштабного и многоцелевого их распространения. На рис. 1 приведена применяемая в настоящее время Росреестром технологическая схема создания единой электронной картографической основы (ЕЭКО), а на рис. 2 – показана предлагаемая перспективная технологическая схема создания продукции с использованием лазерного сканирования, позволяющая получать дополнительные виды продукции в виде ЦМР, цифровой модели поверхности (ЦМП), фотореалистичной модели объекта (местности).

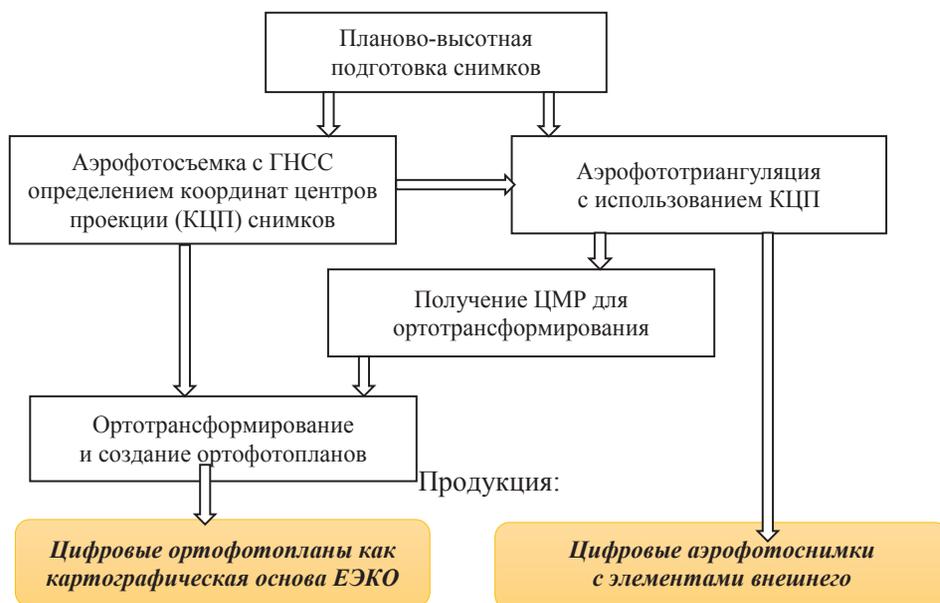


Рис. 1. Базовая технология создания ЕЭКО

Кадастр и землеустройство – это те области, в которые проникновение методов лазерного сканирования происходит наиболее медленно, несмотря на то, что имеется целый ряд задач, в которых эти методы могут найти свое эффективное применение. Это: подготовка межевых и кадастровых планов; составление и актуализация технических планов предприятий, особенно конструктивно сложных объектов; создание карт и планов объектов землеустройства; определение границ и площадей промышленных объектов, объектов землеустройства, охранных зон протяженных линейных объектов.

Исходя из опыта создания 3D-кадастра ряда европейских стран и учитывая, что в настоящее время при проектировании зданий или сооружений (будущих объектов кадастрового учета) широко используются автоматизированные системы трехмерного проектирования, базой для трехмерного кадастра являются трехмерные геоинформационные системы (ГИС), а первым этапом их формирования является создание трехмерных моделей местности, в том числе на основе материалов лазерного сканирования.

Данные лазерного сканирования совместно с ортофотозображениями могут использоваться для координатного описания кадастровых объектов, таких, как здания или элементы инженерной инфраструктуры.

Свою нишу технологии лазерного сканирования могут успешно занять в лесном и водном кадастрах, кадастре объектов придорожной инфраструктуры.



Рис. 2. Технология создания продукции с использованием лазерного сканирования

Особой сферой применения методов лазерного сканирования в ближайшей перспективе может стать так называемый *3D-кадастр*. Эксперименты по созданию 3D-кадастра в России, и тем более за рубежом проводятся не впервые. Изучением проблем, возникающих при регистрации трехмерных объектов недвижимости, занимаются рабочие группы Международной федерации геодезистов (FIG): Комиссия 3 (Spatial Information Management) и Комиссия 7 (Cadastral and Land Management). Регулярно проводятся международные семинары по 3D-кадастру. Поиск путей перехода от 2D-кадастров к 3D-кадастрам интенсивно ведется в целом ряде стран [14]. Из зарубежных стран наибольшие успехи в области 3D-кадастра достигнуты в Австралии, Испании, Италии, Кипре, Нидерландах, Норвегии, Хорватии, Швеции. При этом проблема регистрации в системе 3D-кадастра в большинстве стран вызывает затруднение, так как первоначально системы разрабатывались под двумерные объекты недвижимости. Трудности перехода к трехмерному кадастру, как правило, определяются особенностями государственного законодательства, а также структурными формами и видами действующей кадастровой регистрации. Так как уровень развития кадастра в большинстве стран пока не является совершенным, поэтому до сих пор вряд ли возможно назвать страну, которую можно было бы считать полностью перешедшей к 3D-кадастру.

Что касается России, в стране также уже более десятилетия ведутся разработки в области трехмерного представления пространственных данных, в том числе для кадастра [15]. Технологии на основе использования наземных переносных лазерных систем должны занять в этой сфере свое прочное место. Актуальной проблемой является разработка требований к применению ЛС для трехмерного кадастра.

Важную роль во внедрении технологий лазерного сканирования должна играть техническая стандартизация. В 2021 г. приняты разработанные ФГБУ «Центр геодезии, картографии и ИПД» и ООО «Геоскан» национальные стандарты ГОСТ Р 59328 Аэрофотосъемка топографическая. Технические требования и ГОСТ Р 59562 Съёмка аэрофототопографическая. Технические требования, в которых наряду с фотографическими системами регламентируется использование

систем воздушного лазерного сканирования. Вместе с тем имеется необходимость в разработке и специальных национальных стандартов, в которых детально излагались бы требования к проектированию, выполнению лазерного сканирования для решения различных задач, а также к обработке и использованию получаемых материалов ЛС, в том числе:

- национального стандарта по применению технологии воздушного и наземного мобильного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки при выполнении топографического картографирования и кадастровых работ;
- национального стандарта по применению технологии воздушного, наземного лазерного сканирования и цифровой аэрофотосъемки при выполнении инженерно-геодезических изысканий.

Результаты исследования и рекомендации

Национальные программы лазерного сканирования запущены в целом ряде европейских стран и США. Вместе со всем очевидными традиционными применениями лазерного сканирования требуется говорить и о таких новых перспективных направлениях применения, как создание цифровых двойников, эффекте присутствия, дополненной и виртуальной реальности, умной цифровой реальности, искусственном интеллекте [1, 5–7]. В таких отраслях, как строительство и инфраструктура указанные технологии наряду со специализированными, отраслевыми (BIM-технологии) приводят к почти революционным изменениям, формируя не только новые подходы к созданию объектов, но способствуя формированию целой экосистемы. В частности, такой процесс мы наблюдаем в отношении цифровых двойников, причем как для отдельных объектов и ограниченных территорий, так и для всей поверхности суши земного шара [7].

В этой связи весьма актуальным может оказаться внедрение технологий лазерного сканирования в работы по созданию городов-миллионников в Сибири, о которых говорил в своем недавнем выступлении Президент Российской Федерации В.В. Путин. Бюджет России при этом сможет сэкономить сотни миллионов рублей в процессе проектирования и будущей эксплуатации территорий этих городов и окружающей инфраструктуры, получив для них высокоточные и детальные пространственные данные.

Для всестороннего анализа эффективности использования систем лазерного сканирования в целях топографического картографирования, кадастра и инженерных изысканий необходимо проведение опытно-производственных работ с хронометражными наблюдениями технологических процессов ЛС на основе использования воздушных, мобильных и стационарных систем с анализом временных, трудовых и финансовых затрат, разработки нормативно-технических документов и нормирования технологических процессов производства работ.

При этом необходимы новые подходы к оценке эффективности использования технологий лазерного сканирования, связанные с:

- новыми видами продукции наряду с традиционными;
- многоцелевым применением пространственной информации в различных отраслях хозяйства страны;
- многократным использованием информации по принципу «получил один раз, используй многократно».

Для каждого конкретного проекта необходимо тщательно просчитывать экономическую составляющую работ и их производительность.

С внедрением в производство работ Росреестра технологий лазерного сканирования, безусловно, должна повыситься достоверность и детальность единой электронной картографической основы (ЕЭКО), а, следовательно, и ее потребительские качества.

Другим важным направлением применения методов лазерного сканирования следует рассматривать создание высокоточных ЦМР для уточнения высотной основы зон подтопления на территорию России, так как актуальность этой проблемы с каждым годом все более и более возрастает.

Совершенно особенный вид продукции может быть получен в результате совместного использования цифровой аэрофотосъемки, топографического и батиметрического сканеров [16–17]. Такой вид съемки актуален для государств, имеющих значительную по протяженности и разнообразную по рельефу береговую линию морей и океанов, в том числе и для России.

При этом как одно из направлений важное значение приобретает использование высокоточной топографической лазерной съемки мелководных участков подходов к портам судов класса «река-море» в целях создания инфраструктуры на российском арктическом побережье для проводки торговых международных морских караванов по Севморпути.

Учитывая интенсивное развитие методов воздушного лазерного сканирования, весьма актуальным для топографического картографирования, создания ЕЭКО и кадастра с использованием БВС является создание экономичного отечественного лазерного сканера (аналога зарубежных типа Riegl VUX-240) с весом не более 4 кг и диапазоном рабочих высот 150–3000 м.

Ввиду существенных отличий методов фотограмметрической обработки снимков и результатов ВЛС в виде облака ТЛЮ следует предусмотреть разработку учебных программ или курсов повышения квалификации в профильных отраслевых ВУЗах и колледжах с целью подготовки квалифицированных специалистов в области обработки материалов ЛС.

Нуждаются в нормативном регулировании и технической стандартизации и технологии получения, обработки и использования материалов воздушного и мобильного лазерного сканирования при решении практических задач.

При планировании использования для аэросъемки БВС следует также не упускать из виду тот факт, что в соответствии с действующим законодательством беспилотным воздушным судам не обеспечено равноправное использование воздушного пространства по отношению к пилотируемым. В решении этой проблемы Ассоциацией АЭРОНЕКСТ в Минтрансе необходима соответствующая поддержка со стороны ведомств, активно использующих результаты аэросъемки с БВС.

Увеличение назначенного ресурса (срока безаварийной эксплуатации) БВС – одна из важнейших задач, которую надо решать разработчикам БВС. Это позволит выполнять страхование всего дорогостоящего аэросъемочного комплекса с разумными страховыми взносами, от которого страховые компании в настоящее время отказываются.

Эффективность использования результатов ЛС будет тем выше, чем чаще будут использоваться его материалы государственными органами и частными потребителями. В этих целях целесообразно создание государственной базы метаданных ЛС (например, в Федеральном фонде пространственных данных Росреестра), а с ее развитием и популяризацией (в том числе, путем законодательных мероприятий) в дальнейшем – государственного банка ТЛЮ, как это делается в США [1], Финляндии и Франции [5]. Государственный банк ТЛЮ обеспечит хранение пространственной информации о территории или объекте, которая может периодически актуализироваться с целью мониторинга происходящих во времени изменений.

Заключение

Результаты выполненного исследования и выработанные с их учетом рекомендации должны послужить основой для дальнейших исследований и разработок, направленных на формирование технологических вариантов экономически целесообразного использования материалов лазерного сканирования в области топографического картографирования, кадастра и получения трехмерных моделей местности и объектов, организации и выполнения экспериментальных работ с проведением хронометражных наблюдений, анализом временных и стоимостных затрат по использованию систем лазерного сканирования в целях крупномасштабного картографирования, кадастра, получения пространственной информации для ГИС различного назначения и подготовки проектов, соответствующих нормативно-технических документов.

Литература

1. Алексеенко Н.Н. Применение технологии лазерного сканирования в различных отраслях и на различных этапах жизненного цикла объектов / Н.Н. Алексеенко // Вестник МГСУ. – 2016. – № 2. – С. 62–73.
2. Олейникова Л.А. Обеспеченность нормативной документацией проведения воздушно-лазерного сканирования для кадастровых работ / Л.А. Олейникова, А.Ю. Глушкова // Научные труды КубГТУ. – 2017 – № 4. – С. 260–264.
3. Кадастр недвижимости и мониторинг природных ресурсов // (режим доступа: <http://kadastr.org/conf/2015/pub/kadastr/sovrem-tehnologii-v-kadastr-objektov-nedv.htm>) дата обращения: 03.10.2021.

4. Многоцелевое использование воздушного лазерного сканирования. Ценообразование. Нормирование // (режим доступа: <http://www.geoinfo.ru/includes/periodics/Regulations/2016/0306/000011418/detail.shtml>) дата обращения: 12.10.2021.
5. Егоров А.В., Ядрихинская Ю.С. Применение данных воздушного лазерного сканирования при картографировании городов // Материалы международной научно-технической конференции «Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки». – Иркутск: 2021. – С. 25–26.
6. Петухов М.И. Технологии цифровой реальности Гексагон // Материалы международной научно-технической конференции «Цифровая реальность: космические и пространственные данные, технологии обработки». – Иркутск: 2021. – С. 59.
7. Вопросы и ответы с Кристофером Фишером, Архив Земли. Автор: Вим ван Веген, 12 августа 2021 г. // (режим доступа: <https://www.gim-international.com/content/article/creating-a-digital-twin-of-the-earth>) дата обращения: 01.10.2021.
8. Integrating UAV-based Lidar and Photogrammetry // (режим доступа: <https://www.gim-international.com/content/article/integrating-uav-based-lidar-and-photogrammetry>) дата обращения: 14.09.2021.
9. Morales, A.C., Paez, D., and Arango, C. Multi-criteria analysis of UAVs regulations in 6 countries using the analytical hierarchical process and expert knowledge // *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf., Sci., XL-1 / W4*. – P. 175–181.
10. Eric Andelin. Closing in on 500 Authorizations, Commercial UAS Operations Are Starting to Take Off // *LIDAR Magazine*. – 2015. – Iss. 5, vol. 5. – P. 6–8.
11. James Wilder Young (Jamie). Should I Stay, or Should I Go? Manned LIDAR versus Drone LIDAR // *LIDAR Magazine*. – 2017. – Iss. 7, vol. 8. – P. 4–5.
12. Бабашкин Н.М. Сравнение эффективности аэрофототопографической съемки с использованием беспилотных и пилотируемых авиационных систем / Н.М. Бабашкин, С.А. Кадничанский, С.С. Нехин // *Геопрофи*. – 2017. – № 1. – С. 14–19.
13. He G.B. and Li L.L. Research and application of lidar technology in cadastral surveying and mapping // *Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf., Sci., XLIII-B1-2020*. – P. 33–37.
14. Король В.В., Мельников А.В. Анализ применения 3D-кадастра за рубежом // Социально-экономические и экологические проблемы горной промышленности, строительства и энергетики: сборник материалов 15-ой Международной конференции по проблемам горной промышленности, строительства и энергетики, 29–30 октября 2019 г., Минск – Тула – Донецк: в 4 т. – Минск: БНТУ, 2019. – Т. 2. – С. 392–397.
15. Герасимова С.Г. Перспективы создания 3D кадастра в России / С.Г. Герасимова, М.Б. Ибрагимов, М.В. Петров // *Геопрофи*. – 2013. – № 3. – С. 5–8.
16. Jennifer M. Wozencraft. Mapping Coastal California // *LIDAR Magazine*. – 2021. – Iss. 11, vol. 2. – P. 3–7.
17. Jennifer M. Wozencraft. Addressing Dire Coastal Mapping Needs on The Last Frontier // *LIDAR Magazine*. – 2020. – Iss. 10, vol. 2. – P. 5–9.

References

1. Alekseenko N.N. Primenenie tekhnologii lazernogo skanirvaniya v razlichnyh otraslyah i na razlichnyh etapah zhiznennogo cikla ob'ektov / N.N. Alekseenko // *Vestnik MGSU*. – 2016. – № 2. – С. 62–73.
2. Olejnikova L.A. Obespechennost' normativnoj dokumentaciej provedeniya vozdušno-lazernogo skanirvaniya dlya kadastryh rabot / L.A. Olejnikova, A.YU. Glushkova // *Nauchnye trudy KubGTU*. – 2017. – № 4. – С. 260–264.
3. Kadastr nedvizhimosti i monitoring prirodnyh resursov // (rezhim dostupa: <http://kadastr.org/conf/2015/pub/kadastr/sovrem-tehnologii-v-kadastr-objektov-nedv.htm>) data obrashcheniya: 03.10.2021.
4. Многоцелевое использование воздушного лазерного сканирования. Ценообразование. Нормирование // (режим доступа: <http://www.geoinfo.ru/includes/periodics/Regulations/2016/0306/000011418/detail.shtml>) data obrashcheniya: 12.10.2021.
5. Egorov A.V., YAdrihinskaya YU.S. Primenenie dannyh vozdušnogo lazernogo skanirvaniya pri kartografirovani gorodov // *Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Cifrovaya real'nost': kosmicheskie i prostranstvennye dannye, tekhnologii obrabotki*. – Irkutsk: 2021. – С. 25–26.

6. Petuhov M.I. Tekhnologii cifrovoj real'nosti Geksagon // Materialy mezhdunarodnoj nauchno-tehnicheskoy konferencii «Cifrovaya real'nost': kosmicheskie i prostranstvennye dannye, tekhnologii obrabotki». – Irkutsk: 2021. – S. 59.
7. Voprosy i otvety s Kristoferom Fisherom, Arhiv Zemli. Avtor: Vim van Vegen, 12 avgusta 2021 g. // (rezhim dostupa: <https://www.gim-international.com/content/article/creating-a-digital-twin-of-the-earth>) data obrashcheniya: 01.10.2021.
8. Integrating UAV-based Lidar and Photogrammetry // (rezhim dostupa: <https://www.gim-international.com/content/article/integrating-uav-based-lidar-and-photogrammetry>) data obrashcheniya: 14.09.2021.
9. Morales, A.C., Paez, D., and Arango, C. Multi-criteria analysis of UAVs regulations in 6 countries using the analytical hierarchical process and expert knowledge // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf., Sci., XL-1 / W4. – S. 175–181.
10. Eric Andelin. Closing in on 500 Authorizations, Commercial UAS Operations Are Starting to Take Off // LIDAR Magazine. – 2015. – Iss.5, vol. 5. – P. 6–8.
11. James Wilder Young (Jamie). Should I Stay, or Should I Go? Manned LIDAR versus Drone LIDAR // LIDAR Magazine. – 2017. – Iss. 7, vol. 8. – P. 4–5.
12. Babashkin N.M. Sravnenie effektivnosti aerofototopograficheskoy s'emki s ispol'zovaniem bespilotnyh i pilotiruemyh aviacionnyh sistem / N.M. Babashkin, S.A. Kadnichanskij, S.S. Nekhin // Geoprosfi. – 2017. – № 1. – S. 14–19.
13. He G.B. and Li L.L. Research and application of lidar technology in cadastral surveying and mapping // Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spatial Inf., Sci., XLIII-B1-2020. – S. 33–37.
14. Korol' V.V., Mel'nikov A.V. Analiz primeneniya 3D-kadastra za rubezhom // Social'no-ekonomicheskie i ekologicheskie problemy gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki: sbornik materialov 15-oj Mezhdunarodnoj konferencii po problemam gornoj promyshlennosti, stroitel'stva i energetiki, 29–30 oktyabrya 2019 g., Minsk – Tula – Doneck: v 4 t. – Minsk: BNTU, 2019. – T. 2. – S. 392–397.
15. Gerasimova S.G. Perspektivy sozdaniya 3D kadastra v Rossii / S.G. Gerasimova, M.B. Ibragimov, M.V. Petrov // Geoprosfi. – 2013. – № 3. – S. 5–8.
16. Jennifer M. Wozencraft. Mapping Coastal California // LIDAR Magazine. – 2021. – Iss. 11, vol. 2. – S. 3–7.
17. Jennifer M. Wozencraft. Addressing Dire Coastal Mapping Needs on The Last Frontier // LIDAR Magazine. – 2020. – Iss. 10, vol. 2. – S. 5–9.