

Санкт-Петербургский государственный университет

КУЗЬМИНСКАЯ Вера Дмитриевна

Выпускная квалификационная работа

Применение данных лазерного сканирования при выполнении землеустроительных и кадастровых работ

Уровень образования: бакалавриат

Направление 2.21.03.02 «Землеустройство и кадастры»

Основная образовательная программа бакалавриата «Кадастр недвижимости: оценка и информационное обеспечение»

Профиль (при наличии) _____

Научный руководитель: к.г.н.,
доцент кафедры землеустройства
и кадастров СПбГУ Алиев Тахир
Аскерович

Рецензент: начальник отдела
ОДиОУД№1 филиала
ФГБУ «ФКП Росреестра» по
Санкт-Петербургу Смирнова
Татьяна Николаевна

Научный консультант: к.т.н,
Старший преподаватель кафедры
картографии и геоинформатики
СПбГУ Виноградов Константин
Павлович

Санкт-Петербург
2022

Содержание

Содержание	2
Введение	3
Глава 1. Обзор методов лазерного сканирования	4
<i>1.1. Наземное лазерное сканирование</i>	<i>6</i>
<i>1.2. Мобильное лазерное сканирование</i>	<i>8</i>
<i>1.3. Воздушное лазерное сканирование</i>	<i>10</i>
Глава 2. Особенности съемок при выполнении различных землеустроительных и кадастровых работ	14
2.1. Кадастровые работы	14
2.1.1. Работы в отношении объектов капитального строительства	14
2.1.2. Работы в отношении земельных участков	15
2.1.3. Комплексные кадастровые работы	16
2.2. Землеустроительные работы	18
Глава 3. Оптимизация съемок при выполнении различных землеустроительных и кадастровых работ с использованием методов лазерного сканирования	23
3.1. Кадастровые работы	23
3.1.1. Внутренние обмеры	23
3.1.2. Линейные объекты	24
3.1.3. Площадные объекты капитального строительства	26
3.1.4. Земельные участки	26
3.1.5. Комплексные кадастровые работы	26
3.2. Землеустроительные работы	28
Топографо-геодезические работы	28
Заключение	33
Список использованной литературы:	34

Введение

Тенденции автоматизации всех сфер производственной деятельности человека обусловлены, прежде всего, бурным развитием микропроцессорной техники и цифровых технологий. Разработка компьютерных систем принятия решений позволила в значительной степени сократить влияние человеческого фактора на объемы и качество выпускаемой продукции. В данной ситуации микропроцессорная техника сыграла роль интегрирующего звена между отдельными этапами и технологиями производственных процессов.

В частности, интеграция цифровой техники сбора данных, геодезических и фотограмметрических технологий привела к появлению принципиально новых приборов для сбора пространственной информации о местности – систем лазерного сканирования.

В зависимости от целей и задач кадастровых и землеустроительных работ используют различные геодезические методы, технологии и приборы, при правильном выборе которых эффективность выполнения таких работ повышается. Применение лазерных систем позволяет существенно сократить технологический цикл производства геодезических работ по плано-высотному обоснованию аэрофотосъемки и подготовки по результатам такой фотосъемки различных материалов.

Таким образом, исследование, посвящённое лазерным системам и их применению при выполнении кадастровых и землеустроительных работ, является актуальным. Поэтому целью данной работы является анализ применения лазерных сканирующих систем при производстве кадастровых и землеустроительных работ. Эта цель в работе достигается через решение следующих задач:

- ознакомление с технологией лазерного сканирования;
- рассмотрение кадастровых и землеустроительных работ, их технических требований;
- анализ эффективности применения методов лазерного сканирования, а также возможности оптимизации кадастровых и землеустроительных работ с их помощью.

Глава 1. Обзор методов лазерного сканирования

Сущность технологии лазерного сканирования заключается в измерении дальностей от сканера до множества точек объектов местности и направления распространения сигнала.

С помощью безотражательного дальномера в автоматическом режиме измеряются расстояния до каждой точки объекта съемки. Направление излучаемого дальномером лазерного луча изменяется в параллельных и перпендикулярных плоскостях осей вращения сканера специальной системой, которая называется системой развертки. Таким образом, меняя шаг узлов системы развертки, можно менять плотность сканирования. По углам поворота луча и измеренному расстоянию встроенный в сканер процессор вычисляет трехмерные координаты каждой точки объекта съемки [8].

Лазерная сканирующая система в общем случае состоит из следующих частей [23]:

1. Лазерный дальномер.
2. Система развертки
3. Аппаратное обеспечение - процессор, блок управления и обработки.
4. Программное обеспечение - интерфейс.
5. GNSS-приёмник геодезического класса и инерциальная навигационная система (необходимы для некоторых методов лазерной съемки, о них речь пойдет позже).
6. Устройство цифровой съемки (необязательное дополнение сканирующей системы, цифровая съемка проводится для удобства обработки данных).

По принципу действия дальномера лазерные сканеры подразделяются на две группы: импульсные и фазовые.

Импульсные лазерные сканеры используют принцип расчета времени прохождения лазерным лучом двойного расстояния от сканера до цели.

Для точного измерения времени прохождения лазерного импульса в пространстве используется высокостабильный кварцевый генератор. Измерив время прохождения лазерного импульса, можно вычислить наклонную дальность.

Так как скорость луча известна с достаточно большой точностью, погрешность импульсного метода определяется погрешностью измерения времени. Кроме того, фактическая точность каждого измерения зависит от ряда параметров, каждый из которых может оказать влияние на точность конкретного измерения. Таковыми параметрами, например, являются [23]:

- отражательные характеристики объекта;
- оптические свойства атмосферы;
- текстура и ориентация элементарной поверхности объекта, вызвавшей отражение

зондирующего луча по отношению к линии визирования;

- другие.

В связи с этим импульсный метод отличается сравнительно невысокой (по сравнению с фазовым методом) точностью, которая падает с увеличением расстояния, однако большей дальностью измерений (до нескольких километров).

Принцип работы фазовых сканеров состоит в определении количества целых длин волн между локатором и объектом и разности фаз излученной и принятой волны модулирующего колебания. При этом излучение должно быть непрерывным, что в общем случае значительно повышает требования по выходной мощности излучающего лазера.

В связи с тем, что используются короткие волны - обычно около нескольких мкм, - точность сканера может достигать десятых долей миллиметра. Дальность фазовых сканеров не превышает 100 м [23].

Непосредственным результатом лазерного сканирования являются сканы – данные лазерной съемки, полученные в результате одного сеанса сканирования, связанные одной системой координат.

Сканы далее подвергаются предварительной вычислительной обработке - это переход от физически измеренных величин к соответствующим геометрическим, то есть вычисление пространственных координат и введение разного рода поправок в них (на метеоусловия, инструментальные погрешности, редуцицию и т. п.), а так же приведение данных к заданной или единой условной системе координат и объединение данных нескольких сеансов сканирования. На этом этапе часто выполняется автоматизированная фильтрация, в процессе которой устраняются точки, имеющие ошибочное положение. Метод определения ошибочных точек выбирается исходя из особенностей применяемой модели лазерного сканера, характера территории съемки и погодных условий. Предварительная обработка проходит автоматизировано, с минимальным участием оператора [16].

Результатом предварительной обработки является массив (так называемое облако) точек. Каждая точка в нем имеет пространственные координаты и интенсивность отраженного сигнала, что помогает при дальнейшей классификации. Кроме того, для повышения информационной емкости массива точек, на этапе лазерного сканирования зачастую выполняют цифровую съемку, которая на этапе обработки позволяет получить для каждой точки информацию о реальном цвете объекта. Использование данных лазерного сканирования совместно с материалами цифровой съемки способствует процессу дешифрирования в интерактивном режиме [9].

После «окрашивания» точек в реальные цвета может проводиться классификация (в полуавтоматическом или интерактивном режиме) и фильтрация шумов (полностью в ручном режиме). Зачастую именно ручная фильтрация занимает большую часть времени обработки данных, например, если приходится исключать растительность.

Описанные этапы выполняются, как правило, в программном обеспечении от производителя сканера, а дальнейшая обработка может производиться в других продуктах, поддерживающих работу с 3-D моделями, и сильно различается в зависимости от задачи [16].

Стоит отметить, что погодные условия и факторы окружающей среды могут воспрепятствовать проведению съемки либо ухудшить результаты сканирования. К примеру, со многими приборами рекомендуется работать при температуре выше 0°C, снег или густая растительность препятствуют съемке объектов, а наличие осадков или не такой густой растительности создает дополнительные «шумы», что увеличивает время обработки данных. В целом, лазерную съемку на улице рекомендуется проводить ранней весной или поздней осенью, при отсутствии снега и густой растительности [8].

По методам лазерное сканирование делится на три группы: наземное, мобильное и воздушное. Рассмотрим эти методы сканирования.

1.1. Наземное лазерное сканирование

Наземные лазерные сканеры (НЛС) — это 3-D сканеры, выполняющие съемку небольшого участка местности вокруг собственного статичного положения [8].

Поскольку дальность съемки варьируется, в наземных лазерных сканерах используются как фазовый, так и импульсный методы измерения расстояний. Следовательно, точность измерений может достигать значений менее одного сантиметра.

Здесь стоит заметить, что абсолютная погрешность результатов съёмки складывается из непосредственно погрешности при сканировании и погрешности, с которой определено местоположение точки стояния сканера. Это значит, что абсолютная точность при выполнении наземного лазерного сканирования составляет, как правило, несколько сантиметров в зависимости от точности, с которой выполнено съёмочное обоснование.

Для сканеров, интегрированных с навигационной системой, определять местоположение точки стояния не нужно. Однако навигационные системы могут в хороших условиях обеспечить точность позиционирования порядка 2–3 см в плане, 3–5 см по высоте и порядка 20–50 угловых секунд ориентации. Всё это приводит к тому, что абсолютная точность съёмки без дополнительных мер для точек, удалённых от сканера на 20 м, будет составлять 5–6 см. Существуют, однако, методики дополнительного

уравнивания данных, и только их применение и контроль могут дать в итоге точность порядка 10 мм [15].

Другой особенностью наземных лазерных сканеров является детальность получаемых данных - плотность съемки может достигать десятков тысяч точек на 1 кв. м, что также зависит от расстояния до объекта и пользовательских настроек. В связи с этим важной характеристикой производительности сканеров является скорость съемки - в современных моделях она достигает 2 000 000 точек за 1 с [8].

Работа при выполнении съемки методом НЛС состоит из следующих этапов:

1) составление технического проекта: на этом этапе регламентируются требуемая точность готового продукта, содержание и детализация, необходимый формат (расширение файлов с итоговыми данными), используемое оборудование, стоимость проведения работ и т.д.;

2) рекогносцировка местности: с учетом конкретных условий местности выбирается рациональный способ создания и сгущения съемочного обоснования. Также, во время рекогносцировки намечаются точки расположения сканера, места размещения специальных марок, уточняются сроки проведения работ и т. п.;

3) подготовка плано-высотного обоснования сканерной съёмки.

Для внешнего ориентирования сканов создается основная опорная сеть, точки которой определяются методом спутниковых измерений или геодезических построений (проложением теодолитных или полигонометрических ходов). С пунктов основной опорной сети определяются координаты точек рабочего съемочного обоснования, которые проектируются на расстоянии от 2 до 50 м вокруг точек стояния сканера (в зависимости от пользовательских настроек сканера и расположения соседних точек стояния сканера). Точки рабочего съемочного обоснования представляют собой специальные марки с высоким коэффициентом отражения, которые безошибочно определяются во время обработки данных. Рабочее съемочное обоснование состоит из связующих точек, упрощающих взаимное ориентирование сканов (их координаты не определяются заранее), и контрольных точек, вместе с пунктами опорной сети называемые опорными точками. Опорные точки необходимы, как уже было сказано, для внешнего ориентирования, а также для контроля проведенных измерений и уравнивания сканерного хода. Для внешнего ориентирования хода необходимо иметь хотя бы 3 опорных точки, а для оценки точности внешнего ориентирования опорных точек должно быть не менее шести, и они должны принадлежать разным сканам [18].

В случае, если в приборе предусмотрена интеграция с GNSS-приёмниками, возможно ограничивать подготовку плано-высотного обоснования закладкой полевой

базовой станции либо же обходиться и без нее (при подключении к сети референчных базовых станций), правда, располагать связующие точки рекомендуется в любом случае, однако это можно делать непосредственно во время проведения съемки. В таком случае опорными точками будут являться точки стояния сканера [18];

- 4) трехмерное наземное лазерное сканирование;
- 5) камеральная обработка.

Преимущества наземного лазерного сканирования;

- высочайшая плотность точек лазерных отражений и детальность получаемых материалов;
- автоматический сбор данных и простота применения оборудования;
- самая высокая абсолютная точность данных (до 10 мм);
- возможность проведения съемки внутри помещений или под землей.

Недостатки наземного лазерного сканирования;

- отсутствие геодезической привязки;
- зависимость от условий внешней среды.

1.2. Мобильное лазерное сканирование

Мобильное лазерное сканирование (МЛС) — это непрерывная съемка с автомобиля, с борта судна (вместе с эхолотом), железнодорожного транспорта или иной подходящей платформы [20].

Для мобильного сканирования используются 2D-сканеры, которые перемещаются по некоторой траектории. Таким образом, во время сканирования измеряются расстояние и один угол отклонения луча, а третья координата определяется на этапе обработки, после получения траектории. Поскольку сканирующая система производит съемку вокруг себя, лучи мало отклоняются от горизонтали, в связи с чем МЛС в основном снимает вертикальные поверхности. При съемке горизонтальных поверхностей, например, поверхности земли (рельефа) неровный рельеф будет давать длинные «тени» - мертвые зоны, которые требуют досъемки [17].

Необходимость точного положения и ориентации сканирующей системы в пространстве в момент каждого измерения обусловила использование инерциальных навигационных систем (ИНС), совмещённых с GNSS-приёмником геодезического класса. Инерциальная система позиционирования — это устройство с тремя высокоточными акселерометрами, с большой частотой вычисляющими величины ускорения при поворотах и смещениях системы по каждой из осей и интегрирующими эти показания по времени (для определения смещений). Для определения поворота системы вдоль каждой оси в каждый момент времени используются три высокоточных гироскопа [20].

Неизбежное использование GNSS-приемников обуславливает некоторые особенности лазерного сканирования: поскольку спутниковые измерения выполняются каждый момент времени, потеря сигналов со спутников очень быстро ведет к критическому увеличению погрешности определения местоположения сканирующей системы и, как следствие, абсолютной погрешности. В связи с этим, траекторию движения мобильного лазерного сканера стоит рассчитывать таким образом, чтобы исключить блокировку спутниковых сигналов, например, деревьями; при наличии на пути съемки тоннелей для них, скорее всего, придется проводить досъемку традиционными методами геодезии [19].

Кроме того, стоит учитывать, что в застроенных территориях точность спутниковых измерений снижается (за счет увеличения вклада многолучевости), и применение МЛС в населенных пунктах (и прочих застроенных территориях) может быть затруднено.

В МЛС, как и в НЛС, возможно применение как импульсных, так и фазовых дальномеров, в связи с чем точность измерений не уступает наземному методу. Однако общая погрешность определения координат точек обычно составляет от 20 мм, что объясняется вкладом погрешности при определении траектории.

Сканирование производится, полосой шириной до нескольких сот метров в обе стороны перпендикулярно траектории съемки. Скорость движения составляет, как правило, от 10 до 90 км/ч в зависимости от требуемой плотности облака точек, которая для разных задач составляет от сотен до нескольких тысяч точек на 1 кв. м [20].

Производительность съёмки зависит не только от скорости движения сканирующей системы, но и от числа помех по ходу движения (например, встречных транспортных средств), так как приходится повторять измерения на неудавшихся участках.

Технология выполнения съемки методом МЛС включает следующие этапы:

- 1) составление технического проекта;
- 2) рекогносцировка местности;
- 3) подготовка сети базовых станций.

Для повышения точности в районе работ разворачиваются несколько базовых станций, а также по траектории вводятся идентификационные метки (или опорные объекты). Смысл опорных объектов заключается в том, что они уверенно распознаются в облаке точек лазерного отражения, а их координаты predeterminedены, что позволяет контролировать точность определения траектории;

- 4) мобильное лазерное сканирование;
- 5) камеральная обработка.

Отдельное место занимает совместная пост-обработка базовых станций GNSS, данных инерциальной навигационной системы, ровера и, при наличии, контрольных точек.

Преимущества мобильного лазерного сканирования:

- быстрое и экономичное развертывание оборудования;
- возможность установки на различных транспортных средствах;
- высокая плотность данных, даже при высоких скоростях съемки;
- быстрая и безопасная съемка дороги (железнодорожной) и дорожной инфраструктуры;
- достигаемая общая погрешность - 20 мм;
- меньшая, чем у НЛС и ВЛС зависимость от времен года.

Недостатки мобильного лазерного сканирования:

- помехи (например, в виде проезжающего транспорта), необходимость повторения съемок;
- небольшая зона съемки (вдоль движения платформы);
- требования к наличию возможности проезда платформы со сканирующей системой;
- зависимость от GNSS-приемника;
- низкая детальность при съемке горизонтальных поверхностей.

1.3. Воздушное лазерное сканирование

Воздушное лазерное сканирование (ВЛС) — это непрерывная съемка с борта воздушного судна. Для воздушного, как и для мобильного сканирования, используются 2D-сканеры. Съемка проходит в направлении, перпендикулярном линии полета (вертикально вниз). При этом ширина полосы сканирования зависит от угла обзора сканера и высоты полета и может составлять до 120% от нее. При скорости самолета 150-200 км/ч это позволяет снимать огромные территории за сравнительно небольшое время. [23].

Так же, как и при МЛС, при ВЛС применяются ИНС и GNSS-приёмники геодезического класса, однако такой зависимости от внешних условий не наблюдается.

Из-за того, что высота полета составляет от 500 до 2 000 метров (а иногда и выше), могут применяться только импульсные дальномеры, что отрицательно влияет на точность. Кроме того, из-за большой высоты полета наблюдается небольшая по сравнению с НЛС и МЛС плотность данных, которая заметно падает при увеличении высоты полета (на 1 кв. м): десятки или сотни точек на уровне 50–300 м, десятки точек на уровне 400-1 000 м, более 2 000 м – менее десяти точек, обычно 1–2. По данным ВЛС, выполненного на высоте до 1 000 м, возможно составить топографический план масштаба 1:500 [11].

В идеальных условиях при высоте полета до 1 000 метров и для четко очерченных поверхностей достижима точность 5 см, однако в среднем она составляет 15 см. К примеру, для поверхности под лесным покровом погрешность составляет до 18 см, для травы - до 12 см, а для асфальта - до 10 см (при оптимальных условиях) [11].

Технология выполнения съемки для ВЛС ничем не отличается от МЛС, кроме одного: на этапе составления технического проекта необходимо также получить разрешение на запуск летательного аппарата. Все остальное, вплоть до развертывания сети базовых станций (при необходимости) и обработки данных, совпадает.

Преимущества воздушного лазерного сканирования:

- пригодность для картографирования в масштабах 1:500-1:5000;
- проницаемость для съемки растительности;
- возможность съемки висячих конструкций;
- возможность съемки труднодоступных участков местности;
- большая производительность съемки.

Недостатки воздушного лазерного сканирования:

- сравнительно небольшая точность;
- сравнительно небольшая плотность данных;
- низкая подробность при съемке вертикальных плоскостей (например, стен);
- дорогостоящее оборудование и проведение работ;
- необходимость получения разрешения на проведение полетов.

Беспилотные летательные аппараты

Последнее время активно развивается ВЛС с применением беспилотных летательных аппаратов (БПЛА). Такая съемка непрерывно выполняется с борта БПЛА (как правило, коптера) полностью в автоматическом режиме.

Применение БПЛА несколько важных особенностей: в первую очередь, использование тяжелых (взлетная масса более 20 кг) БПЛА в коммерческих целях в большинстве стран затруднено – по соображениям безопасности, стоимости и организационным причинам. Поэтому подавляющая масса БПЛА относится к легкому и/или среднему классу с полезной нагрузкой до 3-4 кг и весьма незначительным радиусом полета. Из-за таких ограничений высокоточные инерциальные системы и лазерные сканеры не ставятся на подобные носители в силу значительной массы, высокой стоимости и высоких энергетических затрат. Исключения из данного правила единичны и носят некоммерческий, экспериментальный характер [27].

Также, как правило, ограничения полезной нагрузки БПЛА не позволяют поставить высоконадежные системы, обеспечивающие автопилотирование в неблагоприятных

климатических и радиочастотных условиях, и, как следствие, гарантировать безопасные взлет и посадку. Такой риск препятствует установке на БПЛА дорогой аппаратуры [27].

В отличие от ВЛС с применением пилотируемых летательных аппаратов, высота полета составляет, как правило, до 150 метров, скорость - до 50 км/ч. Автономность БПЛА оставляет желать лучшего - время полета составляет обычно около 1 ч. За один полет в возможно снять до 10 - 15 кв. км, однако с очень небольшой плотностью точек. Средняя плотность данных в составляет 60-80 т/кв.м, и при таких условиях получится покрыть территорию площадью до 2-4 кв.км [24].

Погрешность измерений составляет не менее нескольких сантиметров, абсолютная погрешность координат точек - 10-15 см, однако может быть доведена до 2.5 см [25].

Технология выполнения съемки методом ВЛС посредством БПЛА включает следующие этапы:

- 1) составление технического проекта;
- 2) рекогносцировка местности;
- 3) планирование маршрутов: составление траектории полета, подготовка базовой станции;
- 4) полевые работы: загрузка полетного плана в БПЛА с помощью специализированного программного обеспечения, установка базовой станции, запуск и возвращение БПЛА.

При этом стоит учесть, что не все время полета является полезным. В частности, кроме непосредственно съемки, время уходит на [24]:

- разогрев - 0-3 мин;
- взлет - 1 мин;
- полет к месту начала сканирования - 2-5 мин;
- повороты и маневры во время сканирования - 10% времени сканирования;
- возврат на базу 2-5 мин;
- посадка - 1 мин;

Кроме вышперечисленного, следует оставить запас топлива - 10 мин (или запас батареи - 3-5 мин).

Таким образом, для полета в 60 минут полезное время съемки займет в лучшем случае 46 минут, в худшем - 32 минуты, что довольно сильно влияет на производительность съемки.

- 5) Камеральная обработка

Преимущества ВЛС посредством БПЛА:

- возможность съемок для создания с детальностью 1:500-1:5000;

- сравнительно низкая стоимость;
- скорость съемки.

Недостатки ВЛС посредством БПЛА:

- незначительная дальность полета и производительность съемки;
- невозможность установки точных систем на аппараты бюджетного класса;
- необходимость получения разрешения на проведение полетов.

Итак, в этой главе была рассмотрена сущность лазерного сканирования, порядок обработки данных, особенности разных методов лазерного сканирования, методика проведения измерений разными методами. В следующей главе будет дано определение кадастровым и землеустроительным работам, проведена их классификация в зависимости от особенностей проведения съемок, описание технических требований к этим работам, проведен анализ возможности и целесообразности применения методов лазерного сканирования при проведении таких съемок.

Глава 2. Особенности съемок при выполнении различных землеустроительных и кадастровых работ

Землеустроительные и кадастровые работы имеют несколько разную специфику, и требования к их выполнению различаются. В связи с этим землеустроительные и кадастровые работы были рассмотрены по отдельности.

2.1. Кадастровые работы

Согласно Федеральному закону от 24.07.2007 N 221-ФЗ «О кадастровой деятельности», кадастровые работы — это работы в отношении недвижимого имущества, в результате которых обеспечивается подготовка документов, содержащих сведения, необходимые для осуществления государственного кадастрового учета.

Кадастровые работы проводятся в отношении земельных участков, объектов капитального строительства, их частей, помещений, а также иных объектов недвижимости, подлежащих кадастровому учету. Все кадастровые работы можно условно разделить на три категории по объекту кадастровых работ: работы в отношении объектов капитального строительства, работы в отношении земельных участков и комплексные кадастровые работы.

2.1.1. Работы в отношении объектов капитального строительства

К объектам капитального строительства (ОКС) относятся: здания, строения, сооружения, объекты незавершенного строительства, за исключением некапитальных строений, сооружений и неотделимых улучшений земельного участка. Кроме того, к этой группе относятся работы в отношении частей ОКС, в том числе помещений и машино-мест.

Работы в отношении данных объектов проводятся с целью постановки на кадастровый учет, объединения нескольких объектов или раздела, при необходимости внесения изменений в существенные сведения об объекте (например, после перепланировки, реконструкции и т.д.), а также в случае ликвидации объекта капитального строительства, его части, помещения, машино-места и т.д. [2].

Результатом таких работ является технический план (в случае постановки на учет или внесения изменений) или акт обследования (в случае ликвидации объекта).

Одной из задач проведения кадастровых работ является определение местоположения в плане координат поворотных точек контура объекта, а также основной характеристики объекта (чаще всего это площадь). Что касается специфики проведения работ в отношении ОКС и их частей, при составлении технического плана на ОКС или его часть требуются также поэтажные планы, что подразумевает внутренние обмеры помещений без геодезической привязки (за одним исключением - границы машино-места

могут определяться как относительно частей помещения, так и путем определения координат поворотных точек его контура) [3].

Кроме того, среди ОКС можно выделить протяженные линейные объекты как единственные крупные объекты. Линейные объекты можно определить как сооружения, чья длина значительно превышает ширину. В Гражданском кодексе они определены как линии электропередачи, линии связи (в том числе линейно-кабельные сооружения), трубопроводы, автомобильные дороги, железнодорожные линии и другие подобные сооружения. Основной характеристикой линейных объектов является протяженность, а не площадь, и на плане они изображаются, в отличие от прочих ОКС, в виде разомкнутой линии, а не замкнутого контура, соответственно, измерения (определения координат характерных точек) проводятся по центральной осевой линии объекта.

Кроме протяженности (для линейных объектов) и площади (для площадных объектов) основной характеристикой может быть глубина, глубина залегания (для подземных сооружений), объем (для емкостных сооружений, предназначенных для хранения), а также площадь застройки (для всех прочих объектов) [5].

2.1.2. Работы в отношении земельных участков

Работы в отношении земельных участков (или частей земельных участков) проводятся в случае образования нового земельного участка, а также в случае, если характеристики земельного участка изменяются (например, после уточнения площади).

Результатом работ является межевой план. Целью съемок при выполнении кадастровых работ в отношении земельных участков является определение местоположения в плане координат поворотных точек границы участка [2].

Этапы проведения кадастровых работ в отношении земельных участков и ОКС схожи и в общем случае выглядят следующим образом [2,12]:

- 1) организационный этап: на этом этапе изучают имеющуюся документацию по объекту недвижимости, требования к проведению работ, устанавливают землепользователей, согласуют проект с владельцами соседних участков;
- 2) плановый этап: на этом этапе составляют задание, которое утверждается заказчиком работ, а после составляется договор подряда на его выполнение;
- 3) полевой этап, на котором проводятся необходимые измерения, определение характерных точек границ земельного участка (или части земельного участка), контура здания, сооружения, частей таких объектов недвижимости, контура объекта незавершенного строительства, проведение обмеров помещений;
- 4) камеральный этап, на котором проводятся обработка результатов проведенных измерений, определение координат характерных точек границы или контура

объекта, основной характеристики объекта (площади, протяженности), составление межевого плана, технического плана или акта обследования;

5) представление межевого плана, технического плана или акта обследования в орган регистрации прав.

2.1.3. Комплексные кадастровые работы

Комплексные кадастровые работы – это такие работы, которые выполняются одновременно в отношении всех расположенных на одной территории:

- земельных участков, сведения Единого государственного реестра недвижимости (ЕГРН) о которых не соответствуют установленным требованиям к описанию местоположения границ земельных участков;

- земельных участков, занятых зданиями или сооружениями, площадями, улицами, проездами, набережными, скверами, бульварами, водными объектами, пляжами и другими объектами общего пользования, образование которых предусмотрено утвержденным в установленном законодательством о градостроительной деятельности порядке проектом межевания территории;

- зданий, сооружений (за исключением линейных объектов), а также объектов незавершенного строительства, сведения о которых содержатся в Едином государственном реестре недвижимости [2].

При этом повторное выполнение комплексных кадастровых работ на территории кадастрового квартала (кварталов), не допускается. В результате выполнения комплексных кадастровых работ:

1) осуществляется уточнение местоположения границ земельных участков;

2) осуществляется установление или уточнение местоположения на земельных участках ОКС;

3) обеспечивается образование земельных участков, на которых расположены здания, в том числе многоквартирные дома, сооружения, за исключением сооружений, являющихся линейными объектами;

4) обеспечивается образование земельных участков общего пользования, занятых площадями, улицами, проездами, набережными, скверами, бульварами, водными объектами, пляжами и другими объектами;

5) обеспечивается исправление реестровых ошибок в сведениях Единого государственного реестра недвижимости о местоположении границ земельных участков и контуров зданий, сооружений, объектов незавершенного строительства.

В результате выполнения комплексных кадастровых работ обеспечивается подготовка карты-плана территории.

Порядок выполнения комплексных кадастровых работ выглядит следующим образом [2]:

1) разработка проекта карты-плана территории: изучение имеющейся документации; уведомление правообладателей объектов недвижимости, являющихся объектами комплексных кадастровых работ, о начале выполнения таких работ; выполнение необходимых измерений, определение характерных точек земельных участков и ОКС; обработка, составление проекта карты-плана;

2) согласование местоположения границ земельных участков путем проведения заседаний согласительной комиссии по этому вопросу;

3) утверждение карты-плана территории органом, уполномоченным на утверждение карты-плана территории;

4) представление карты-плана территории в орган регистрации прав.

Таким образом, комплексные кадастровые работы отличаются от других видов кадастровых работ исключительно правовым аспектом. Процесс производства полевых работ не отличается.

Требования к точности производства кадастровых работ предъявляются в виде установления допустимой средней квадратической погрешности определения местоположения характерных точек объекта недвижимости. При этом требования предъявляются и к методам определения характерных точек, причем методы лазерного сканирования не упомянуты (только геодезический метод, метод спутниковых геодезических измерений (определений), фотограмметрический метод, картометрический метод, аналитический метод).

Допустимая средняя квадратическая погрешность устанавливается в зависимости от категории земель, к которой принадлежит участок (таблица [6]). При этом для объектов капитального строительства и их частей точность определяется по земельному участку, на котором расположен ОКС. Если же ОКС располагается на участках разных категорий, то требуемая точность устанавливается равной наибольшей среди этих категорий [6].

ТАБЛИЦА

Допустимые средние квадратические погрешности определения местоположения (прямоугольных координат) характерных точек при производстве кадастровых работ

Категория земель и разрешенное использование земельных участков	Средняя квадратическая погрешность (не более, м)
Земельные участки, отнесенные к землям населенных пунктов	0,10

Окончание табл.

Земельные участки, отнесенные к землям сельскохозяйственного назначения и предоставленные для ведения личного подсобного, огородничества, садоводства, индивидуального гаражного или индивидуального жилищного строительства	0,20
Земельные участки, отнесенные к землям сельскохозяйственного назначения, за исключением земельных участков, указанных в предыдущей строке	2,50
Земельные участки, отнесенные к землям промышленности, энергетики, транспорта, связи, радиовещания, телевидения, информатики, землям обеспечения космической деятельности, землям обороны, безопасности и землям иного специального назначения	0,50
Земельные участки, отнесенные к землям особо охраняемых территорий и объектов	2,50
Земельные участки, отнесенные к землям лесного фонда, землям водного фонда и землям запаса	5,00
Прочие земельные участки	2,50

Для определения основной характеристики ОКС предъявляются свои требования: в случае площади точность измеренных расстояний должна составлять не меньше 0,01 м (в случае, если измерения проведены с большей точностью, результат округляется до сотых метра). Протяженность определяется с точностью до одного метра, глубина (глубина залегания) - до десятых метра, объем - до одного кубического метра, площадь застройки, как и площадь для площадных сооружений, с точностью до десятых квадратного метра [5].

2.2. Землеустроительные работы

Согласно Федеральному закону от 18.06.2001 N 78-ФЗ "О землеустройстве", землеустройство - мероприятия по изучению состояния земель, планированию и организации рационального использования земель и их охраны, описанию местоположения и (или) установлению на местности границ объектов землеустройства, организации рационального использования гражданами и юридическими лицами

земельных участков для осуществления сельскохозяйственного производства, а также по организации территорий, используемых общинами коренных малочисленных народов Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации и лицами, относящимися к коренным малочисленным народам Севера, Сибири и Дальнего Востока Российской Федерации, для обеспечения их традиционного образа жизни (внутрихозяйственное землеустройство). Соответственно, землеустроительные работы - мероприятия, проводимые в рамках землеустройства.

Землеустройство проводится в отношении объектов землеустройства, которыми могут выступать территории субъектов Российской Федерации, территории муниципальных образований, а также части таких территорий [1].

Подготовка к проведению мероприятий по землеустройству начинается с определения местоположения объекта землеустройства и изучения плана (карты) этого объекта. В случае, если план (карта) на необходимую территорию отсутствует, проводятся топографо-геодезические работы по созданию подходящих планов (карт). Эти картографические материалы призваны обеспечить топографической основой все последующие землеустроительные работы.

Определение местоположения объекта землеустройства проводится путем определения местоположения поворотных точек границы этого объекта. При этом производится оно в первую очередь аналитическим методом - по имеющимся материалам (с использованием сведений ЕГРН, документов территориального планирования, правил землепользования и застройки, документов государственного фонда данных, полученных в результате проведения землеустройства, сведений и документов государственных картографо-геодезических фондов и иных предусмотренных законодательством документов и сведений): если часть границы объекта землеустройства совпадает с частью границы учтенного в ЕГРН земельного участка, то в качестве описания местоположения такой части границы объекта землеустройства принимается указанная часть границы земельного участка. И только в случае, если границу или часть границы определить аналитически нет возможности, проводятся полевые измерения [22].

Землеустройство начинается с изучения состояния земель. Это делается в целях получения информации об их количественном и качественном состоянии и включает в себя следующие виды работ:

- почвенные, геоботанические и другие обследования и изыскания. Эти изыскания проводятся в целях получения информации о состоянии земель, в том числе почвы, а также в целях выявления земель, подверженных водной и ветровой эрозии, селям, подтоплению, заболачиванию, вторичному засолению, иссушению, уплотнению,

загрязнению отходами производства и потребления, радиоактивными и химическими веществами, заражению и другим негативным воздействиям;

- оценка качества земель. Эти изыскания проводятся в целях получения информации о свойствах земли как средства производства в сельском хозяйстве, в том числе в органическом сельском хозяйстве (целях установления продуктивности оленьих пастбищ и наличия биологических ресурсов, необходимых для обеспечения традиционного образа жизни);

- инвентаризация земель. Эти изыскания проводятся для выявления неиспользуемых, нерационально используемых или используемых не по целевому назначению и не в соответствии с разрешенным использованием земельных участков.

После изучения состояния земель проводится планирование и организация рационального использования земель и их охраны. Целью этой процедуры является совершенствование распределения земель в соответствии с перспективами развития экономики, улучшения организации территорий и определения иных направлений рационального использования земель и их охраны. Планирование и организация рационального использования земель и их охраны включают в себя следующие основные виды работ:

- разработка предложений о рациональном использовании земель и об их охране;
- природно-сельскохозяйственное районирование земель.

Таким образом, при производстве землеустроительных работ геодезические методы применимы только при составлении планов и карт на территорию, занятую объектом землеустройства, а также при определении местоположения объекта землеустройства.

Точность, требуемая при проведении топографо-геодезических работ, предъявляется такая же, как и при составлении топографических планов, чем, собственно, и являются эти работы. Средние погрешности планового положения контуров объектов местности не должны превышать 0,5 мм в масштабе карты (плана) для равнинной и всхолмленной местности, 0,75 мм для горной и высокогорной местности, 0,4 мм для территорий с капитальной и многоэтажной застройкой. Таким образом, для масштаба 1:500, например, необходима точность 20 см (для застроенных территорий, 25 см для равнинных, 37,5 см для горных территорий).

Координаты характерных точек границ объектов землеустройства определяются с точностью не ниже точности картографической основы ЕГРН, принятой на территории, на которой размещается граница объекта землеустройства [4].

Согласно сайту Федеральной службы государственной регистрации, кадастра и картографии (Росреестра) - оператора единой электронной картографической основы (ЕЭКО), масштаб топографических карт и ортофотопланов, составляющих ЕЭКО, варьируется от 1:2 000 (на территории некоторых населенных пунктов) до 1:100 000 (в Магаданской области). Для масштаба 1:2 000 требуемая точность проведения измерений составляет 1м [29].

Итак, в любых кадастровых работах и некоторых землеустроительных работах проводятся геодезические измерения, и технические характеристики лазерного сканирования позволяют применять его методы при производстве этих измерений. Выбор конкретного метода сканирования, однако, будет зависеть от конкретной работы.

Для кадастровых работ в отношении ОКС - линейных объектов разумно применять мобильное и воздушное сканирование. Кроме того, МЛС может применяться только для тех объектов, по которым или вдоль которых есть проезд и не подойдет, например, для съемки линий электропередач, расположенных не вдоль дороги. Наземное сканирование в данном случае также может применяться, однако не рассматривается из-за низкой производительности и очевидного преимущества двух других методов.

Для кадастровых работ в отношении площадных ОКС применяется НЛС. Так как такие объекты имеют небольшие размеры, применение МЛС и ВЛС представляется неоптимальным за счет их ориентированности на большие объемы съемки.

Для внутренних работ может применяться только НЛС, поскольку это единственный метод лазерной съемки, который можно применять в помещении.

Для кадастровых работ в отношении земельных участков могут применяться все виды лазерного сканирования, в зависимости от размеров участка: для участков с небольшим периметром - НЛС, для участков, имеющих протяженную границу - МЛС (при наличии проезда) и ВЛС. Стоит, однако, учитывать, что применение ВЛС невозможно применять для земельных участков и ОКС, расположенных на землях населенных пунктов, так как точность измерений ВЛС не соответствует необходимой точности.

Для комплексных работ наиболее оптимальным методом видится НЛС. Во-первых, поскольку ВЛС обладает низкой подробностью съемки вертикальных поверхностей, и, следовательно, не очень удобен при определении контура ОКС, и во-вторых, потому что МЛС привязано к проездам и, скорее всего, будет давать большое количество мертвых зон. Кроме того, обычно комплексные кадастровые работы проводятся на застроенной территории, где применение МЛС не так удобно.

ВЛС с применением БПЛА несмотря на то, что отвечает всем техническим требованиям, практически не применяется при выполнении кадастровых работ. Это

объясняется тем, что значительно более развита аэрофотосъемка с БПЛА. Принципиальное различие между ними в том, что ВЛС определяет высотную координату значительно точнее, однако, поскольку в кадастр недвижимости заносятся только плановые координаты, эта точность может быть рассмотрена как избыточная. Кроме того, аэрофотосъемка требует более простого (и дешевого) оборудования и значительно меньше время на обработку результатов.

Применение лазерных сканирующих систем в землеустройстве возможно при проведении определения местоположения объектов землеустройства и составлении топографо-геодезической основы.

Определение местоположения объектов землеустройства имеет ту же специфику, что и определение местоположений земельных участков, а составление планов и карт отличается принципиально от всех рассмотренных работ, поскольку требует определение не только границ и контуров, но и поверхности (рельеф). Здесь широкое применение находят НЛС и ВЛС, однако метод МЛС имеет низкую подробность при съемке горизонтальных поверхностей, то есть мало пригоден для съемки рельефа. Наземное сканирование разумно использовать на небольших территориях, на основе его данных можно составить планы самых крупных масштабов. Воздушное сканирование применяется для создания планов на больших территориях масштаба 1:500 и мельче.

Отдельно стоит отметить, что ВЛС активно применяется для некоторых видов геоботанических работ [14], однако они далее рассматриваться не будут.

Таким образом, в этой главе были даны определения землеустроительных и кадастровых работ, проведена их классификация, описаны технические требования и особенности съемки, проведен анализ возможности и целесообразности применения методов лазерного сканирования при производстве землеустроительных и кадастровых работ. В следующей главе будет проведен анализ эффективности методов лазерного сканирования относительно популярных методов проведения этих работ.

Глава 3. Оптимизация съемок при выполнении различных землеустроительных и кадастровых работ с использованием методов лазерного сканирования

Для проведения анализа эффективности применения лазерных методов были рассмотрены несколько примеров проведенного лазерного сканирования и оценены трудозатраты на проведение этих же работ в таких же условиях.

3.1. Кадастровые работы

Были рассмотрены проведение съемок и обработка результатов на различных объектах: внутри здания (внутренние обмеры), на двух линейных объектах, съемки, аналогичные комплексным кадастровым работам, а также было оценено проведение съемок обоими способами на площадных ОКС и земельных участках.

3.1.1. Внутренние обмеры

В работе [26] описывается сравнение традиционных методов и наземного лазерного сканирования для целей кадастра недвижимости в Канаде. По итогам работ были получены 2-D планы и 3-D модели первого этажа здания с тремя помещениями сложной формы. Для исследований использовался лазерный дальномер и наземный фазовый лазерный сканер Trimble TX5 (на настоящий момент не выпускается, то есть является достаточно устаревшей системой). Для проведения работ лазерным сканером авторам потребовалось 18 точек стояния (15 внутри здания и 3 снаружи). Измерения заняли 4 часа, обработка - 8 часов. Съемка лазерным дальномером также заняла 4 часа, однако обработка - всего 5 часов.

Длительность съемки сканером зависит от количества сканов, характеристик производительности сканера и пользовательских настроек; к примеру, на более современном оборудовании можно было бы закончить быстрее, однако на время обработки данных это бы не повлияло. Скорость съемки дальномером, напротив, зависит от количества и конфигурации объектов съемки (в данном случае объекты - стены, полы, потолки). Конфигурация объектов съемки влияет на скорость, поскольку проводятся измерения только простых фигур, а сложные для этого разбиваются на простые. Это существенно увеличивает количество измерений и, как следствие, влияет на время измерений.

В данном случае большой вклад в длительность обработки вносит определение геометрий объектов, которые необходимо извлечь из облака точек. В случае же с дальномером геометрия объекта уже установлена в полевых условиях оператором.

По итогам рассмотрения данного примера можно заключить, что время, затрачиваемое на съемку этими методами, сравнимо, а обработка в случае лазерного

сканирования занимает значительно больше времени. Можно, однако, предположить, что при традиционных методах время обработки будет увеличиваться более-менее пропорционально времени съемки, т.к. и то, и то в конечном итоге зависит от количества измерений. В случае лазерного сканирования стоит ожидать более сложной зависимости. Можно предположить, что при сохранении количества точек стояния усложнение формы снимаемых объектов приводит к тому, что лазерное сканирование себя лучше. С другой стороны, представить себе объект, при котором лазерное сканирование будет настолько же эффективно (как можно меньше точек стояния, как можно сложнее форма), весьма затруднительно. Однако для формулирования уверенных выводов требуются дополнительные исследования.

3.1.2. Линейные объекты

В статье [10] рассмотрена съемка участка автомобильной дороги А-121 «Сортавала» 131+200 – 153+800 км методом мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с БПЛА. Длина исследуемого участка - 22 км. Сканирование объекта выполнялось с использованием оборудования Topcon IP-S2 Compact, установленного на автомобиль Renault Duster (дальность действия системы сканирования – 30 м, точность определения положения точки составляет ± 45 мм). На съемку было затрачено 2 ч, на обработку результатов - 10 ч в общей сложности. Из них первичная обработка результатов съемки заняла 2 ч, уравнивание - 1 ч, создание растра - 4 ч, чистка облаков точек - 3 ч. Таким образом, для определения характерных точек осталось провести классификацию и выделить эти точки. Суммарные временные затраты составили 12 часов (при этом, если рассматривать этот пример как съемку для кадастровых работ, обработка не закончилась).

Для оценки временных затрат методом спутниковых измерений был изучен участок дороги -121 «Сортавала» 131+200 – 153+800 км (рис. 1) [28] и оценено количество характерных точек - 350.

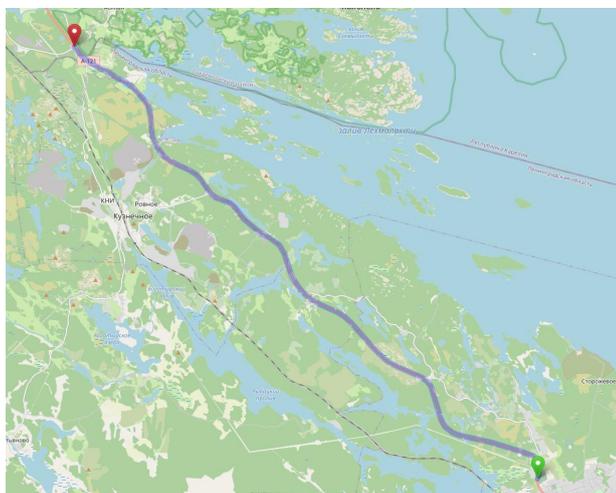


Рис. 1. Участок дороги А-121 «Сортавала» 131+200 – 153+800 км

Так как это линейный объект, допустимо изображать его в виде развернутой, а не замкнутой линии и указывать только протяженность - по центральной оси (то есть идти только в одну сторону). В режиме измерения RTK (Real Time Kinematic) измерения каждой точки требуют, как правило, менее 20 секунд. Таким образом, время съемки складывается из времени, необходимого на пешие перемещения на всю длину измеряемого участка (средняя скорость ходьбы - 4 км/ч) и времени, потраченного на измерения. Оно составляет: $22 \text{ км} / 4 \text{ км/ч} + 20 \text{ сек} * 350 = 5.5 \text{ ч} + 2 \text{ ч} = 7.5 \text{ ч}$.

При этом последующая обработка не требуется.

Таким образом, на данном участке с большей эффективностью себя показали спутниковые измерения за счет избыточности данных лазерного сканирования, и, как следствие, длительной обработки.

В статье [13] рассмотрена съемка нескольких участков железной дороги общей протяженностью 1400 км методами мобильного, воздушного и наземного сканирования. При этом основным было МЛС, ВЛС использовалось, когда ширина полосы сканирования МЛС была недостаточна, а НЛС - для устранения «слепых зон». Съёмочный процесс для МЛС занял 11 рабочих дней, т.е. 88 часов.

Если рассматривать традиционные методы, то только для того, чтобы обойти объект (не считая времени на съемку) со средней скоростью человека 4 км/ч потребуется 350 часов. К сожалению, авторы не указали срок обработки данных или участки съемки, однако, если опираться на предыдущий пример, и предположить, что в данном случае время обработки данных лазерного сканирования также превышает съемку примерно в 5 раз, а так же что плотность пикетов была немного ниже (соотношение времени ходьбы и времени съемки как 3:1), то получим, что суммарно на лазерное сканирование могло быть затрачено 530 часов ($88 \text{ ч} + 88 \text{ ч} * 5$), а на съемку в режиме RTK - 470 часов ($350 \text{ ч} + 350 \text{ ч} / 3$).

Таким образом, для участка дороги лазерное сканирование превышало спутниковые измерения в 1,60 раз, а для железной дороги - всего 1,12 раз.

Это, безусловно, объясняется тем, что на больших расстояниях время на передвижения для спутниковых измерений вносит существенно больший вклад, чем обработка данных лазерного сканирования. Экстраполяцией можно установить, что существует линейный объект, для которого методы лазерного сканирования будут эффективнее методов спутниковых измерений.

При съемке линейных объектов может применяться и воздушное лазерное сканирование - на высоте до 1000 м оно обеспечит необходимую плотность точек. К

сожалению, рассмотреть пример проведения такой съемки не удалось, однако была проведена оценка трудозатрат с опорой на предыдущие рассмотренные примеры.

Для участков железной дороги однократная съемка займет 1400 км / 150 км/ч - 10 ч, прямая и обратная, как в рассмотренной работе - 20 ч. (при этом стоит учитывать, что для самолета это около 4 дней - по 800 погонных км) Поскольку время обработки данных в общей сложности зависит от объемов данных (облаков точек), а те в свою очередь, зависят от скорости съемки, которая сравнима для всех лазерных сканеров, то можно предположить, что обработка результатов займет порядка 100 часов - 13 рабочих дней. В сумме - 120 часов, 17 рабочих дней. Безусловно, поскольку детальность и точность данных позволяют, для протяженных линейных объектов ВЛС за счет высокой скорости съемки и производительности – наиболее эффективный вариант.

3.1.3. Площадные объекты капитального строительства

В целом, для кадастровых работ относительно ОКС методом НЛС можно отметить следующее: для здания простой четырехугольной формы количество точек стояния сканера - 3, спутниковых измерений - 4, время съемки лазерного сканера - 5 минут, в сумме 15 минут. Время съемки GNSS-приемником - 20 секунд, всего 80 секунд, меньше 2 минут (передислокация в данном случае различается незначительно). Поскольку обработка лазерных измерений займет в несколько раз больше, чем сама съемка, очевидно, что спутниковые измерения значительно эффективнее. Исходя из проведенной оценки, условия, в которых лазерная съемка эффективнее - линейный объект. Стоит обратить внимание, что в данном случае не получается даже уменьшить время полевых работ, как в предыдущих рассмотренных случаях, что может объяснить применение лазерного сканирования в некоторых случаях даже при больших трудозатратах.

3.1.4. Земельные участки

Как уже упоминалось, при протяженной границе земельного участка специфика данных работ сходна со спецификой измерения линейных объектов, однако, при том, что в среднем земельные участки имеют значительно меньше поворотных точек, чем линейные сооружения. Соответственно, лазерное сканирование здесь неэффективно (земельные участки с границей, сравнимые с протяженным земельным объектом - редкость, если они в принципе существуют). Случаи же, когда лазерное сканирование (воздушное) дает лучшие результаты, скорее объясняются сложностью передислокации. (труднодоступные территории).

При не слишком длинной границе также разумнее использовать спутниковые методы, так как специфика работ похожа на небольшие ОКС.

3.1.5. Комплексные кадастровые работы

В статье [21] рассматриваются обмеры ОКС и ситуации методами наземного сканирования 3 центральных кварталов г. Пермь, границы которых совпадают с кадастровыми кварталами: 59:01:4410004, 59:01:4410003 и 59:01:4410002 общей площадью 10,7 га (рис. 2) [30]. Результатами съемки были не только 2-D планы, но и 3-D модель местности. В связи с этим можно условиться, что определение земельных участков было произведено вместо подготовки 3-D планов (поскольку и одно, и другое проводится во время обработки данных).

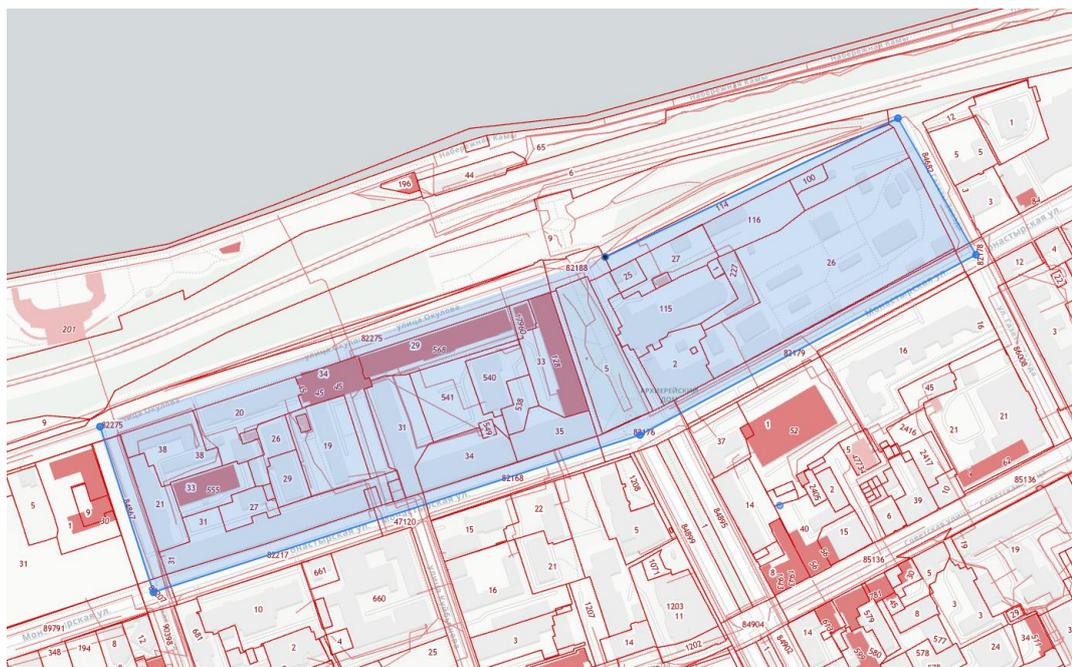


Рис. 2. Рассмотренные кварталы на кадастровой карте

Авторы статьи оценивают объем работ как 75 точек стояния станции сканирования, ориентировочное время сканирования со сферической съемкой 12,5 часов полевых и 56 часов рабочего времени для камеральных работ - суммарно 68,5 часов.

Данные кварталы включают в себя в общей сложности 32 земельных участка, 96 ОКС. Чтобы оценить количество времени для спутниковых измерений, было оценено количество характерных точек: для первого квартала характерные точки по земельным участкам составили 72 штуки, по ОКС - 98; для второго квартала по земельным участкам - 42, по ОКС - 62; для третьего квартала по земельным участкам - 64, по ОКС - 143. Всего получилась 481 точка, и в рамках примерной оценки количество точек можно округлить до 500.

Для упрощения можно считать, что измерения проводились спутниковыми методами; длительность съемки одной точки можно взять за 80 секунд (которые включают в себя сами измерения и переходы между точками), тогда на все измерения потребуется 11 часов. Даже с учетом того, что для спутниковых методов не учтена

обработка данных (для данных лазерного сканирования получены планы), для комплексных кадастровых работ значительно эффективнее оказываются спутниковые измерения, что также объясняется большой избыточностью данных и измерений для методов лазерной съемки. В данном случае так же не происходит выигрыша по времени полевых работ.

3.2. Землеустроительные работы

Определение местоположения границ объектов землеустройства по факту является тем же самым, что и кадастровые работы относительно земельных участков, только выполняются они, как правило, с меньшей точностью.

Топографо-геодезические работы

В статье [18] рассматриваются несколько случаев составления топографического плана масштаба 1:500 для разных территорий. Для расчета трудозатрат традиционными геодезическими методами на этих территориях использовались сметные укрупненные расценки на топографо-геодезические работы СУР-2002, утвержденные приказом Федеральной службы геодезии и картографии России от 24 декабря 2002 года N 196-пр. К сожалению, в них приведены нормативы только для тахеометрической и мензульной съемки, а не для спутниковых измерений. Очевидно, что спутниковые измерения методом RTK будут эффективнее указанных методов, однако степень эффективности оценить не было возможности. В трудозатратах учитываются рекогносцировка участка, составление абриса, съемка ситуации и рельефа, переезды и переходы на участке работ, вычерчивание оригинала плана (полевого оригинала). Время рассчитывалось на 1 специалиста.

В первом случае рассмотрен карьер со сложным рельефом (рис. 3).



Рис. 3. Карьер со сложным рельефом

Трудозатраты на съемку участка площадью в 15 га составили:

- количество сканов — 15;
- продолжительность полевых работ — 1 рабочий день;

- камеральная обработка — 2 рабочих дня.

Согласно сметным укрупненным расценкам для тахеометрической съемки в масштабе 1:500 эту территорию можно отнести к 5 категории сложности (местность открытая, всхолмленная, с часто изрезанными склонами). Для этой категории трудозатраты составляют 122,338 чел.-дней на 1 кв. км, или примерно 18 дней для 15 га. Таким образом, за счет очень простой обработки (нет лишнего «шума» в виде растительности; нет построек и не нужно извлекать геометрии; легкое дешифрирование - практически все полученные точки - земля) наземное лазерное сканирование представляется гораздо более эффективным. На открытых пространствах сложность рельефа не имеет значения для лазерного сканирования в отличие от других методов, где объемы измерений напрямую зависят от сложности рельефа.

Во втором примере это участок с открытым распределительным устройством (ОРУ), служащим для приема и распределения электрической энергии на территории действующего промышленного предприятия с большим количеством контуров (рис. 4).

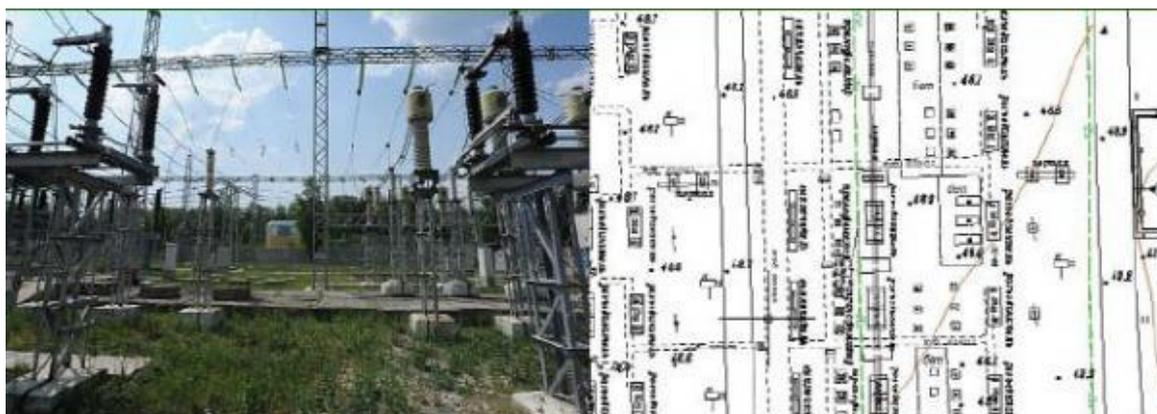


Рис. 4. Участок с открытым распределительным устройством

Трудозатраты на съемку участка площадью в 2 га составили:

- количество сканов — 15;
- продолжительность полевых работ — 1 рабочий день;
- камеральная обработка — 10 рабочих дней.

Согласно СУР-2002 для мензуральной съемки застроенных территорий в масштабе 1:500, эту территорию можно отнести к 6 категории сложности (плотность застройки до 60%. Застройка сложной конфигурации.) Трудозатраты для нее составят - 222,274 чел.-дней на 1 кв. км. В данном случае на 2 га потребуется 4,5 дня. Как видно, в данном случае трудозатраты на лазерное сканирование выше в два раза за счет длительности обработки. При одинаковых объемах сканирования с предыдущим примером в данном случае потребовалось в 5 раз больше времени на обработку: это объясняется большим

количеством сложных геометрий. При этом полевые работы при проведении лазерного сканирования все еще занимают меньше времени.

Третий пример - предгорье с перелесками, с микрорельефом, половина территории которого покрыта лесом (рис 5).

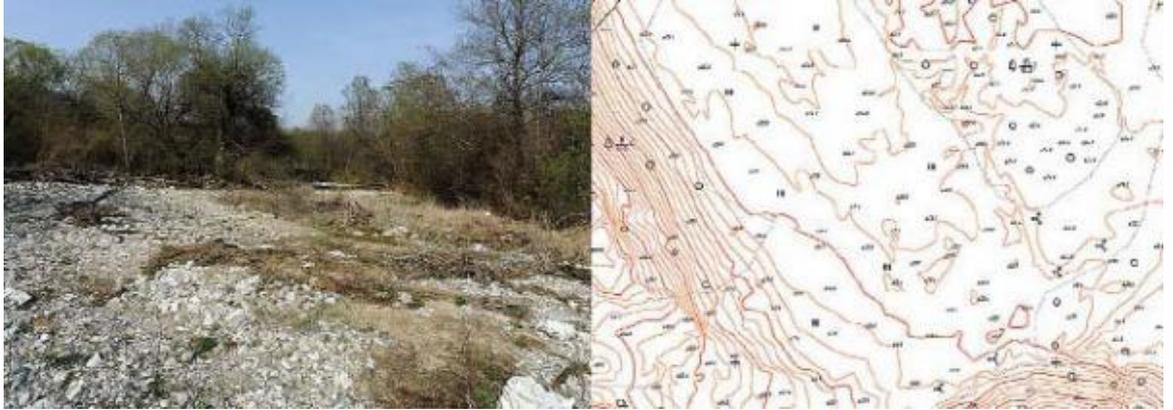


Рис. 5. Предгорье с перелесками, микрорельефом

Трудозатраты на съемку участка площадью в 3 га составили:

- количество сканов — 8;
- продолжительность полевых работ — 1 рабочий день;
- камеральная обработка — 15 рабочих дней.

Согласно тем же сметным укрупненным расценкам для тахеометрической съемки в масштабе 1:500 данная территория относится к 6 категории сложности (местность всхолмленная, слабо расчлененная, залесенная до 50%). Трудозатраты на съемку составляют 148,410 чел.-дней на 1 кв. км., что для 3 га составит, как и в прошлом примере, 4,5 дня. Основной вклад во время обработки данных лазерного сканирования внес процесс «чистки» сканов от точек, принадлежащих растительности, поскольку ее приходится проводить в полностью интерактивном режиме.

Таким образом, наземное лазерное сканирование хорошо себя показывает на открытых, свободных от растительности участках, при этом сложность рельефа почти не влияет на время обработки. При наличии сложных геометрий или растительности время обработки увеличивается в несколько раз, и эффективность лазерного сканирования существенно падает.

Безусловно, при проведении топографо-геодезических работ на больших территориях используется и ВЛС. К сожалению, данных о применении ВЛС в целом и БПЛА в частности для топографирования найти не получилось, в связи с чем была проведена оценка их трудозатрат для рассмотренных участков.

БПЛА может произвести съемку каждого участка за один пролет (меньше 1 часа). Можно предположить, что в первом случае на обработку потребуется минимальное количество времени, и обработка пройдет при минимальном вмешательстве оператора, можно предположить, что и съемка, и обработка данных займут 1 рабочий день.

Несмотря на то, что для второго случая время полета будет еще меньше, наибольший вклад в обработку данных вносит классификация точек и извлечение геометрий, а так как количество геометрий не изменится, общее время на обработку уменьшится (за счет уменьшения общего количества точек), но не очень значительно, и традиционные методы все еще будут эффективнее.

В третьем случае время полета все еще будет составлять значительно меньше часа, а обработка также значительно сократится (за счет сокращения общего количества и плотности точек - в том числе точек растительности, которые необходимо исключить). Впрочем, чтобы лазерное сканирование сравнялось по эффективности с традиционными методами, обработка должна сократиться в 5 раз. Вероятность этого оценить затруднительно.

Если рассматривать ВЛС с борта пилотируемых аппаратов, то изученные участки являются слишком небольшими;

На высоте 1 000 м при угле 90% высоты при скорости 150 км/ч за 1 ч. самолет отснимет 135 кв. км, и эти данные будут пригодны для составления топографических планов в масштабе 1:500. Согласно тем же «Расценкам...», для самой простой территории (местность открытая, с незначительным количеством контуров, рельеф равнинный, плоский) трудовые затраты составляют 68,872 чел.-дней, соответственно, для 135 кв. км потребуется 9298 дней. При этом, если мы рассматриваем открытую территорию, время обработки будет зависеть от количества растительности (травы), и займет в худшем случае несколько рабочих дней. В связи с этим на больших территориях (несколько кв. км) воздушное лазерное сканирование представляется значительно более эффективным методом, и эффективность его только растет с увеличением съемочной территории (это объясняется тем, что трудозатраты на классические методы растут быстрее с увеличением площади, чем трудозатраты на методы лазерного сканирования.)

В целом можно сделать вывод, что лазерное сканирование безусловно эффективно использовать в следующих случаях:

- кадастровые работы в отношении очень протяженных линейных объектов методом МЛС или ВЛС;
- топографическая съемка открытых территорий без большого количества растительности, со сложным рельефом методом НЛС и БПЛА;

- топографическая съемка больших площадей методом ВЛС.

При этом при выполнении следующих работ отмечалось существенное сокращение полевых измерений, что может обусловить применение лазерного сканирования в некоторых условиях:

- съемка линейных объектов методами МЛС;
- топографическая съемка методами НЛС и БПЛА.

Заключение

В данной работе было изучено применение лазерных сканирующих систем при производстве кадастровых и землеустроительных работ. В результате были решены следующие задачи, обозначенные в введении:

- была описана технология лазерного сканирования, порядок обработки данных, виды лазерного сканирования, методика производства измерений;

- были рассмотрены кадастровые и землеустроительные работы, их технических требования, особенности, был проведен анализ возможности применения систем лазерного сканирования при производстве кадастровых и землеустроительных работ;

- был проведен анализ эффективности применения методов лазерного сканирования по сравнению со стандартными методами, а также возможности оптимизации кадастровых и землеустроительных работ с их помощью.

Таким образом, были изучены основные теоретические и практические аспекты вопроса о применении лазерных сканирующих систем при производстве кадастровых и землеустроительных работ

Список использованной литературы:

1. Российская Федерация. Законы. О землеустройстве : Федеральный закон № 78-ФЗ : [принят Государственной Думой 24 мая 2001 года : одобрен Советом Федерации 6 июня 2001 года]. // КонсультантПлюс: справочно-правовая система [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный - (09.03.2022).

2. Российская Федерация. Законы. О кадастровой деятельности : Федеральный закон № 221-ФЗ : [принят Государственной Думой 4 июля 2007 года: одобрен Советом Федерации 11 июля 2007 года]. // КонсультантПлюс: справочно-правовая система [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный – (21.02.2022).

3. Российская Федерация. Законы. О государственной регистрации недвижимости : Федеральный закон № 218-ФЗ : [принят Государственной Думой 3 июля 2007 года : одобрен Советом Федерации 8 июля 2007 года]. // КонсультантПлюс: справочно-правовая система [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный – (11.03.2022).

4. Приказ Министерства экономического развития РФ от 3 июня 2011 года № 267 «Об утверждении порядка описания местоположения границ объектов землеустройства // КонсультантПлюс: справочно-правовая система [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный – (19.03.2022).

5. Приказ Министерства экономического развития РФ от 18 декабря 2015 № 953 «Об утверждении формы технического плана и требований к его подготовке, состава содержащихся в нем сведений, а также формы декларации об объекте недвижимости, требований к ее подготовке, состава содержащихся в ней сведений» // КонсультантПлюс: справочно-правовая система [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный – (12.04.2022).

6. Приказ Министерства экономического развития РФ от 1 марта 2016 г. № 90 «Об утверждении требований к точности и методам определения координат характерных точек границ земельного участка, требований к точности и методам определения координат характерных точек контура здания, сооружения или объекта незавершенного строительства на земельном участке, а также требований к определению площади здания, сооружения и помещения // КонсультантПлюс: справочно-правовая система [Официальный сайт]. Режим доступа: <http://www.consultant.ru/>, свободный – (дата обращения: 24.02.2022).

7. СУР-2002. Сметные укрупненные расценки на топографо-геодезические работы : введены в действие приказом Федеральной службы геодезии и картографии России от «24» декабря 2002 года № 196 : дата введения 2003-01-01. М.: Роскартография, 2003. - 173 с. - Текст : непосредственный.

8. Наземное лазерное сканирование: монография / В.А. Середович, А.В. Комиссаров, Д.В. Комиссаров, Т.А. Широкова. – Новосибирск: СГГА, 2009. – 261 с.

9. Алтынцев М.А. Методика автоматизированной фильтрации данных мобильного лазерного сканирования / М.А. Алтынцев, Х.М.С. Каркокли // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2021. №3. – С. 5-19.

10. Брынь М.Я. Сравнительная оценка эффективности мобильного лазерного сканирования и аэрофотосъемки с беспилотных летательных аппаратов при съемке автомобильных дорог / М.Я. Брынь, Д.Р. Баширова // Вестник СГУГиТ (Сибирского государственного университета геосистем и технологий). 2021. №3. – С. 22-27.

11. Демидов В.Э. Применение воздушного лазерного сканирования для картирования рельефа, поиска следов антропогенного воздействия и изучения растительного покрова на территории приокско-террасного государственного природного биосферного заповедника / М.Я. Брынь // Труды Мордовского государственного природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. №28. – С. 74-82.

12. Затолокина Е.И. Кадастровые работы в отношении земельных участков / Е.И. Затолокина, А.М. Черникова // Вектор ГеоНаук. 2020. №1. – С. 46-50.

13. Ковач Н.С. Картографирование линейных инженерных объектов по данным лазерного сканирования / Н.С. Ковач // Вестник Московского университета. Сер. 5. География. 2013. №1. – С. 47-54.

14. Ковязин В.Ф. Воздушное лазерное сканирование для уточнения таксационных характеристик древостоев / В.Ф. Ковязин, К.П. Виноградов, Е.А. Васильева, А.А. Киценко // Известия ВУЗов. Лесной журнал. 2020. №6. – С. 42-54.

15. Кучинская Г. Применение наземного лазерного сканирования в современных условиях / Г. Кучинская, М. Ставская // Горный информационно-аналитический бюллетень. 2021. № 1. – С. 160-169.

16. Медведев В.И. Предварительная обработка данных мобильного лазерного сканирования в системе IndorCloud / В.И. Медведев, Д.С. Сарычев, А.В. Скворцов // САПР и ГИС автомобильных дорог. 2014. №2. - С. 67-73.

17. Мордас И.С. Применение мобильного лазерного сканирования при изысканиях и проектировании железных дорог / И.С. Мордас // Материалы XII Международной студенческой научной конференции «Студенческий научный форум» / Москва (март 2020 г.) – М., 2020.

18. Морозов И.В. О топографической съемке крупного масштаба методом наземного лазерного сканирования / И.В. Морозов // Геопрофи. 2016. №2. – С. 40-45.

19. Назаров Д.Г. Опыт применения мобильно-навигационно-сканерных систем на объектах железнодорожного транспорта / Д.Г. Назаров // Автоматика на транспорте. 2016. №4. – С. 530-539.
20. Сарычев Д.С. Мобильное лазерное сканирование / Д.С. Сарычев // ООО «ИндорСофт». 2013. №1. – С. 37-41.
21. Шамарина А.А. Подбор оптимальной модели наземного лазерного сканера для анализа городской среды / А.А. Шамарина // Architecture and Modern Information Technologies. 2015. №2. – С. 1-15.
22. Шевченко О.Ю. Основные этапы и особенности проведения геодезических работ при осуществлении землеустроительных мероприятий / О.Ю. Шевченко, В.А. Тимофеева, Е.И. Жидкова, В.С. Морозов // Инженерный вестник Дона. 2021. №3.
23. Shan, J. and C.K. Toth. Topographic Laser Ranging and Scanning: Principles and Processing. CRC Press, 2008. 590 p.
24. Imbach, B. Airborne Laser Scanning with UAVs, Understanding the key factors to generate highest grade LIDAR point clouds. Aeroscout GmbH, Switzerland, 2018.
25. Pilarska, M.; Ostrowski, W.; Bakula, K.; Gorski, K.; Kurczynski, Z. The potential of light laser scanners developed for unmanned aerial vehicles—The review and accuracy. Int. Arch. Photogramm. Remote Sens. Spat. Inf. Sci. 2016, XLII-2/W2, 87–95.
26. Pouliot, J.; Vasseur, M. Terrestrial LiDAR Capabilities for 3D Data Acquisition (Indoor and Outdoor) in the Context of Cadastral Modelling: A Comparative Analysis for Apartment Units. In Proceedings of the 4th International Workshop on 3D Cadastres, Dubai, United Arab Emirates, 9–11 November 2014.
27. Torres, F.M.; Tommaselli, A.M.G. A lightweight uav-based laser scanning system for forest application. Bulletin of Geodetic Sciences, Vol. 24 (3): 318-334, Jul-Sept, 2018.
28. Новости | Федеральное дорожное агентство [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://rosavtodor.gov.ru/press-center/news/42461>, свободный – (18.04.2022)
29. Обеспеченность ЕЖО [Электронный ресурс] – Режим доступа: <https://cgkipd.ru/CECD/maps/>, свободный – (15.03.2022)
30. Публичная кадастровая карта [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://roscadastr.com/map>, свободный – (19.04.2022)